



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Μηχανικών
Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΜΑΝΙΚΑ Π. ΜΑΡΙΑ

(Αρ. Μητ.: 14037)

**ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΙΚΩΝ
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ
ΜΕ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΑΘΗΝΑ**

Επιβλέπουσα: Δρ. Ελισσάβετ Φελώνη

ΑΘΗΝΑ,

Ιούλιος 2021



University of West Attica

School of Engineering

Department of Surveying and Geoinformatics
Engineering

DIPLOMA THESIS

of

MANIKA P. MARIA

(Reg. Num.: 14037)

**STATISTICAL ANALYSIS OF SPATIAL DATA FOR
THE INVESTIGATION OF CHARACTERISTICS
RELATED TO FLOODS IN WESTERN ATHENS
BASIN**

Supervisor: Dr. Elissavet Feloni

**ATHENS,
July 2021**

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΠΟΥ ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ ΜΕ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΑΘΗΝΑ

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/a	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Φελώνη Ελισσάβετ	Διδάσκουσα ΠαΔΑ	
2	Ηλιοπούλου Πολυξένη	Καθηγήτρια ΠαΔΑ	
3	Κάτσιος Ιωάννης	Αναπλ. Καθηγητής ΠαΔΑ	

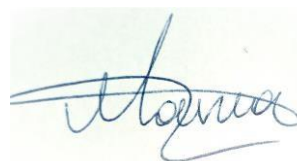
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΜΑΝΙΚΑ ΜΑΡΙΑ του ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ με αριθμό μητρώου 14037 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



ΜΑΝΙΚΑ Π. ΜΑΡΙΑ

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη	ii
Abstract.....	iii
1 Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο εργασίας και παράγοντες εκδήλωσης πλημμύρας.....	1
1.2 Πρωτότυπα σημεία.....	4
1.3 Διάρθρωση τεύχους.....	5
1.4 Γενικά περί πλημμυρών	6
1.5 Πλημμύρες στη Μεσόγειο και στον Ελληνικό χώρο	7
1.6 Ταξινόμηση πλημμυρών	9
1.7 Παράγοντες πλημμυρογένεσης	11
2 Περιοχή μελέτης.....	14
2.1 Θέση - Διοικητική υπαγωγή.....	14
2.2 Χαρακτηριστικά περιοχής.....	16
2.3 Πρόσφατες σημαντικές πλημμύρες στην περιοχή	18
3 Δεδομένα και Μεθοδολογία	27
3.1 Γενική επισκόπηση.....	27
3.2 Περιγραφή και ανάλυση δεδομένων	31
3.2.1 Γεωχωρικά δεδομένα	31
3.2.2 Δεδομένα βροχόπτωσης.....	32
3.2.3 Χαρακτηριστικά κατασκευών.....	33
3.3 Πλαίσιο στατιστικής ανάλυσης.....	34
4 Αποτελέσματα και Συζήτηση	41

4.1	Ανάλυση σε περιβάλλον ΣΓΠ - Προσδιορισμός παραγόντων	41
4.2	Στατιστική ανάλυση στο SPSS	71
4.2.1	Binary.....	72
4.2.2	Linear	79
4.3	Συζήτηση επί των αποτελεσμάτων της παλινδρόμησης	88
4.4	Ανάλυση χαρακτηριστικών κατασκευών.....	89
5	Συμπεράσματα και Μελλοντική έρευνα.....	94
5.1	Συμπεράσματα	94
5.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	95
Βιβλιογραφικές αναφορές.....		97
Ξενόγλωσσες.....		97
Ελληνικές		101
Ιστοσελίδες.....		102
Πηγές εικόνων.....		103

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, Φελώνη Ελισσάβητ, διδάσκουσα του Τμήματος, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε εξ' αρχής αναθέτοντάς μου το συγκεκριμένο θέμα, για την επιστημονική της καθοδήγηση, τις υποδείξεις της, την υπομονή της, τη συμπαράσταση, τη συνεχή υποστήριξη και το αμείωτο ενδιαφέρον που έδειξε από την αρχή μέχρι το τέλος.

Επίσης, ευχαριστώ τους καθηγητές του Τμήματος, κ. Ηλιοπούλου Πολυξένη και κ. Κάτσιο Ιωάννη, για τις υποδείξεις τους και την υποστήριξη της εξεταστικής διαδικασίας της εν λόγω διπλωματικής εργασίας, ως μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Ευχαριστώ ακόμη, τη Διεύθυνση Προϊόντων & Υπηρεσιών του Ελληνικού Κτηματολογίου για την παροχή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) που αιτήθηκα. Ευχαριστώ επίσης τις εταιρίες Marathon Data Systems και ESRI, για την άδεια χρήσης διάρκειας ενός έτους του προγράμματος ArcGIS for Desktop και ArcGIS Pro, και την ευκαιρία να παρακολουθήσω δωρεάν μια σειρά σεμιναρίων για το ArcGIS.

Τέλος, θα ήθελα εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για όλη τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη διερεύνηση της επίδρασης διαφόρων παραγόντων στη χωρική κατανομή των αιφνίδιων πλημμυρών (σ.σ., αστικών συμβάντων πλημμύρας) στη Δυτική Αθήνα. Εξετάζονται τρία σημαντικά γεγονότα βροχόπτωσης που συνέβησαν τον Φεβρουάριο του 2013, τον Οκτώβριο του 2014 και τον Οκτώβριο του 2015, προκαλώντας πλημμύρες και ζημιές σε διάφορα σημεία του Λεκανοπεδίου. Για το σκοπό της εργασίας έγινε συλλογή και επεξεργασία ενός μεγάλου αριθμού χωρικών δεδομένων προκειμένου να εκτιμηθούν μια σειρά από παράγοντες που, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, συνδέονται με την εκδήλωση πλημμυρών και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η στατιστική ανάλυση μέσω της εφαρμογής μοντέλων παλινδρόμησης. Αναφορικά με τη δομή και το περιεχόμενο της εργασίας, στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μία πρώτη εισαγωγή στο ζήτημα της εμφάνισης πλημμυρών στην Ελλάδα. Επίσης, ορίζεται ο σκοπός της εργασίας και τα πρωτότυπα σημεία της. Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύεται η ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Αθήνας και καθορίζεται συγκεκριμένα η περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά τα τρία πλημμυρικά επεισόδια, που λήφθηκαν υπόψη. Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφονται αναλυτικά τα γεωχωρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την έρευνα καθώς και τα δεδομένα των βροχοπτώσεων που αξιοποιήθηκαν. Στη συνέχεια περιγράφεται το μεθοδολογικό πλαίσιο συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) και συγκεκριμένα στο λογισμικό ArcGIS, και της στατιστικής ανάλυσης δεδομένων στο SPSS. Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύονται τα επιμέρους αποτελέσματα, παρουσιάζονται οι εξαρτημένες και ανεξάρτητες μεταβλητές για τα μοντέλα που διερευνώνται, καθώς και τα σχετικά αποτελέσματα. Στο πέμπτο κεφάλαιο, το οποίο είναι και το τελευταίο, συγκεντρώνονται όλα τα συμπεράσματα και οι ειδικότερες παρατηρήσεις που προέκυψαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τέλος, γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα στην διαδικασία ανάλυσης των πλημμυρικών γεγονότων της περιοχής.

Λέξεις-κλειδιά: πλημμύρα, στατιστική ανάλυση, παράγοντες πλημμυρών, Δυτική Αθήνα

Abstract

The purpose of this BSc Thesis is to investigate the effect of various factors on the spatial distribution of urban flooding (i.e., incidents of flooded properties) in Western Athens. Three significant rainfall events that occurred in February 2013, October 2014 and October 2015 are examined, which are linked to extensive flood occurrence and consequential damages in various parts of the Basin. For this work, a several spatial data were collected and processed in order to estimate a number of factors that, according to the literature review, they are related to the occurrence of floods and then a statistical analysis was performed through the application of regression models. Regarding the structure and content of the thesis, the first chapter is the introductory one including the description of flood occurrence regime in Greece. The purpose of the work and its contribution are also defined. In the second chapter, the wider area of Western Athens is analyzed and the study area is specifically defined. This chapter also includes a summary regarding each one of the three floods that are investigated. In the third chapter, the geospatial data used in this research are described in detail as well as the rainfall data, which are taken into account. The methodological framework is also described, including the analysis in a Geographic Information Systems (GIS) environment and specifically in the ArcGIS software, and the statistical analysis of data in the Superior Performance Software System (SPSS) program. In the fourth chapter, the overall results are analyzed, the dependent and independent variables for both models are presented, as well as the regression analysis results. The fifth chapter summarizes the conclusions and any specific remarks that emerged through this research work. Finally, in the context of analyzing the flood events in the study area, suggestions for future research are made.

Keywords: flood, statistical analysis, factors triggering floods, West Athens

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο εργασίας και παράγοντες εκδήλωσης πλημμύρας

Η εν λόγω διπλωματική εργασία με τίτλο: «Στατιστική ανάλυση χωρικών δεδομένων για τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών που συνδέονται με πλημμύρες στη Δυτική Αθήνα» έχει ως αντικείμενο την ανάλυση τριών πλημμυρικών επεισοδίων με σκοπό την αξιολόγηση επιμέρους παραγόντων που σύμφωνα με τη βιβλιογραφία συνδέονται με την πλημμυρογένεση εντός αστικού περιβάλλοντος.

Για το σκοπό της ανάλυσης, αξιοποιήθηκαν διάφορα σύνολα δεδομένων και μεθοδολογίες, τόσο αναφορικά με τη διαχείριση χωρικών δεδομένων σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριακών (ΣΓΠ/GIS), όσο και με την περαιτέρω στατιστική ανάλυση και την εξαγωγή μοντέλων παλινδρόμησης, όπως αυτά παρουσιάζονται αναλυτικότερα σε επόμενο κεφάλαιο, και που αποσκοπούν στον καθορισμό ενός μοντέλου που θα αποτυπώνει το ενδεχόμενο εκδήλωσης πλημμυρικών συμβάντων σε επίπεδο φατνίου (προσέγγιση με λογική binary) και τον αριθμό των συμβάντων (προσέγγιση με τη λογική απλής παλινδρόμησης).

Η συνολική μεθοδολογία που αναπτύχθηκε εφαρμόστηκε στην Δυτική Αθήνα για τρεις σημαντικές πλημμύρες εντός της περιόδου 2013 - 2015. Η επιλογή τριών επεισοδίων έγινε με σκοπό τη διερεύνηση τυχόν διαφοροποιήσεων στα μοντέλα μεταξύ επεισοδίων που έλαβαν χώρα στην ίδια γεωγραφική περιοχή. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση ΣΓΠ έχει μεγάλη σημασία σε ολόκληρη την ανάλυση, τόσο για την απεικόνιση των αστικών συμβάντων πλημμύρας, όσο και για την απεικόνιση των δυνητικά συνδεόμενων παραγόντων.

Η κατανομή των πλημμυρικών συμβάντων στο χώρο συνδέεται εν μέρει με τους αποκαλούμενους «στατικούς» παράγοντες, υπό την έννοια της σταθερής τιμής τους στον χρόνο (π.χ., η κλίση του γήινου αναγλύφου), αλλά και με διάφορους άλλους παράγοντες που χαρακτηρίζονται ως «δυναμικοί», επειδή διαφοροποιούνται σε επίπεδο επεισοδίου βροχής (π.χ., συνολικό ύψος βροχόπτωσης). Ειδικότερα, η εκδήλωση πλημμυρικών γεγονότων οφείλεται αρχικά σε μία σειρά από φυσικούς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την υδρολογική διαδικασία. Οι παράγοντες αυτοί αφορούν τα χαρακτηριστικά των υδρολογικών λεκανών, τις μετεωρολογικές

παραμέτρους, τη γεωλογία κλπ. και χωρίζονται στους δυναμικούς, στους στατικούς και στους βραδέως μεταβλητούς. Οι στατικοί παράγοντες έχουν την ιδιαιτερότητα να παραμένουν σταθεροί καθώς πρόκειται για τα φυσικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής. Στους δυναμικούς συμπεριλαμβάνονται οι παράγοντες που μεταβάλλονται κατά την διάρκεια ενός υδρολογικού συμβάντος. Τέλος, στους βραδέως μεταβλητούς ανήκουν οι παράγοντες που αλλάζουν σταδιακά σε βάθος χρόνου (Diakakis et al., 2012).

Ενδεικτικά, ανάμεσα στους δυναμικούς παράγοντες, σημαντική επίδραση στην πρόκληση πλημμυρών έχει αποδειχθεί ότι έχει η (μέγιστη) ένταση της βροχής για διάφορες διάρκειες και η κατανομή του συνολικού ύψους βροχόπτωσης. Έχει επίσης αποδειχθεί ότι η δυναμική των υδρολογικών διεργασιών, συμπεριλαμβανομένων των πλημμυρών, επηρεάζεται σημαντικά από τη μορφομετρία της λεκάνης απορροής, συμπεριλαμβανομένης της κλίσης στο ανάγλυφο και στα υδατορέματα, της έκτασης της λεκάνης απορροής και των υδρογεωλογικών παραμέτρων (Diakakis, et. al., 2016). Σύμφωνα με τα παραπάνω, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, καθορίστηκαν μια σειρά από τους γεωμορφολογικούς και υδρολογικούς παράγοντες (υψόμετρο, κλίση επιφανείας, απόσταση από υδατορέματα, συγκέντρωση ροής, αδιαπερατότητα εδάφους κλπ), και από τους μετεωρολογικούς, προσδιορίστηκε το συνολικό ύψος βροχής σε επίπεδο επεισοδίου και η μέγιστη ένταση βροχόπτωσης για διάφορες κρίσιμες διάρκειες.

Σε ό,τι αφορά την εκδήλωση αστικών πλημμυρών, πέραν των υποδομών για την αντιπλημμυρική προστασία σημαντικό ρόλο παίζουν εν γένει και τα χαρακτηριστικά των κατασκευών, όπου στο σύνολό τους πρόκειται για τη δεύτερη κατηγορία παραγόντων, τους ανθρωπογενείς. Προηγούμενες εργασίες προτείνουν μια σειρά διαφορετικών ιδιοτήτων στα κτίρια που σχετίζονται με την τάση των κατασκευών να βιώσουν ζημιές λόγω πλημμυρών. Ενδεικτικά, οι Blanco-Vogt and Schanze (2014) δείχνουν την γειτνίαση με άλλα κτίρια, το μέγεθος, το ύψος, την κλίση της οροφής, τον προσανατολισμό προς τη ροή και άλλες γεωμετρικές ιδιότητες να σχετίζονται με την εμφάνιση πλημμυρών σε κατοικίες. Οι Fedeski and Gwilliam (2007) μέσα από σχετική ανάλυση έδειξαν πως η ύπαρξη παραθύρων κάτω από το επίπεδο του εδάφους, τα υπόγεια και την ηλικία των κτιρίων σχετίζονται περισσότερο με το φαινόμενο. Οι Müller et al. (2011) στην ανάλυσή τους λαμβάνουν υπόψη τη θέση του κτιρίου σε σχέση με το επίπεδο του εδάφους και το υλικό κατασκευής, έναν παράγοντα που

αναφέρεται επίσης από τους Stephenson and D'ayala (2014), μαζί με τον αριθμό των ορόφων. Τέλος, η παρουσία ανοιγμάτων (π.χ., διάτρητα τούβλα, αεραγωγοί και άλλοι αγωγοί) μπορεί να προκαλέσει πλημμύρες.

Λόγω της αδυναμίας *in situ* καταγραφής των χαρακτηριστικών του συνόλου των κατασκευών που πλήττονται από πλημμύρες, σύμφωνα με τους Doyle et al. (1998), οι νέες τεχνολογίες εικονικής πραγματικότητας που βασίζονται στο Διαδίκτυο μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο παρακολούθησης, οπτικοποίησης, χαρτογράφησης και εξέτασης αστικών περιβαλλόντων και ειδικότερα του εξωτερικού των κατασκευών. Ενδεικτικά, οι δυνατότητες του Google Street View, μιας διαδικτυακής εφαρμογής ελεύθερης πρόσβασης των Χαρτών της Google που αποθηκεύει εικόνες που έχουν τραβηχτεί από αυτοκίνητα που οδηγούν κατά μήκος του οδικού δικτύου (Anguelon et al., 2010), αξιοποιούνται αντί της έρευνας πεδίου για παρατήρηση και καταγραφή αστικών περιβαλλόντων, ως εναλλακτική πηγή συλλογής δεδομένων. Οι λειτουργίες του Google Street View είναι διαθέσιμες από το 2007, όπου αρχικά περιορίστηκε σε λίγες μόνο πόλεις και επεκτάθηκε σταδιακά σε μεγάλο μέρος των παγκόσμιων οδικών δικτύων. Η εικόνα παρέχει προβολές σε επίπεδο δρόμου που καταγράφονται σε συγκεκριμένες τοποθεσίες όπου ο χρήστης μπορεί να πλοηγηθεί σε έναν δρόμο και να αλλάξει την όψη προβολής, καθώς και μεγέθυνση και σμίκρυνση αυτής. Αναφορικά με την εφαρμογή τους σε επιστημονικές εργασίες, ενδεικτικά οι Hanson et al. (2013) χρησιμοποίησαν το Google Street View για να ελέγξουν μια ποικιλία χαρακτηριστικών των πεζοδρομίων και των οδικών υποδομών και για να αναλύσουν πώς επηρεάζουν τη σοβαρότητα των ατυχημάτων των πεζών. Στην Ελλάδα, οι Diakakis et al. (2017) χρησιμοποίησαν το Google Street View για να εξετάσουν τα χαρακτηριστικά των κτιρίων που αντιμετώπισαν πλημμύρες λόγω σοβαρών καιρικών συνθηκών τον Φεβρουάριο του 2013 στο Λεκανοπέδι Αττικής.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, ορισμένα χαρακτηριστικά των κατασκευών προσδιορίστηκαν μέσω του Google Street View, με τα σχετικά αποτελέσματα να παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4. Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά που αξιολογήθηκαν είναι το ύψος τοποθέτησης του κατώτατου ανοίγματος (σε τρεις κατηγορίες: υπόγειο, ισόγειο ή υπερυψωμένο) και το υλικό του (μέταλλο, ξύλο, γυαλί), η γενική κατάσταση της κατασκευής (φτωχή, μοντέρνα, ημιτελής) και το περιβάλλον της ιδιοκτησίας (ελέγχθηκαν χαρακτηριστικά όπως η ύπαρξη πεζοδρομίου, ο τύπος του δρόμου, η ύπαρξη κήπου κ.λπ.).

Λαμβάνοντας υπόψη το παραπάνω πλαίσιο, η παρούσα διπλωματική εργασία συγκεντρώνει έναν σημαντικό αριθμό παραγόντων και σε συνδυασμό με την αξιοποίηση της χωρικής πληροφορίας που αφορά στην κατανομή των αστικών συμβάντων πλημμύρας διερευνά μοντέλα απλής και λογιστικής παλινδρόμησης για την εξαγωγή του πλέον κατάλληλου μοντέλου που αξιοποιεί μέρος ή/και το σύνολο από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν με σκοπό την αξιολόγηση για τον κίνδυνο εμφάνισης πλημμύρας σε επίπεδο φατνίου ανάλυσης. Τα χαρακτηριστικά των κατασκευών δεν λαμβάνονται υπόψη στα μοντέλα παλινδρόμησης που εφαρμόστηκαν, παρά παρουσιάζεται μια ενδεικτική ανάλυση με την καταγραφή τους σε επίπεδο πλημμυρικού επεισοδίου. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε βασίζεται στην εφαρμογή των Diakakis et al. (2016) και εφαρμόζεται για τρεις πλημμύρες, προκειμένου να συναξιολογηθεί η ενδεχόμενη διαφοροποίηση μεταξύ πλημμυρικών επεισοδίων εντός του ίδιου γεωγραφικού χώρου. Η ανάλυση συνολικά στοχεύει να διερευνήσει ποιοι παράγοντες επηρεάζουν και σε ποιο βαθμό την κατανομή των πλημμυρών στο αστικό περιβάλλον. Προσεγγίζοντας το πρόβλημα εξετάζονται πιθανές στατιστικές σχέσεις μεταξύ των παραγόντων επιρροής και της εμφάνισης πλημμυρών σε γνωστές πλημμυρισμένες περιοχές ενώ τέλος πραγματοποιείται και μια συζήτηση αναφορικά με τις τιμές των παραγόντων που παρατηρούνται εντός των τρωτών περιοχών.

Η όλη ανάλυση συμβάλλει στην αξιολόγηση των πλέον σημαντικών παραγόντων που ελέγχουν την πλημμυρογένεση, όπως και στην εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των κατασκευών που ελέγχουν την εκδήλωση πλημμύρας εντός οικείας. Ακόμα, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για την εκτίμηση πλημμυρικά ευάλωτων περιοχών και εντός αστικού ιστού με εφαρμογή πολυκριτηριακής ανάλυσης σε ΣΓΠ, μιας και οι περισσότεροι από τους παράγοντες μπορούν εύκολα να αποτυπωθούν χωρικά με χρήση ΣΓΠ και με αξιοποίηση, μεταξύ άλλων, ενός σημαντικού αριθμού δεδομένων ελεύθερης πρόσβασης.

1.2 Πρωτότυπα σημεία

Η παρούσα διπλωματική εργασία που βασίζεται στη μεθοδολογία των Diakakis et al. (2016) παρουσιάζει μια εκτενέστερη εφαρμογή, αφενός γιατί προχωρά στη διερεύνηση συνδυασμού παραγόντων κατά την εφαρμογή της ανάλυσης παλινδρόμησης, και αφετέρου γιατί η ανάλυση δεν περιορίζεται σε ένα μεμονωμένο γεγονός, αλλά συλλογή

και επεξεργασία των απαραίτητων δεδομένων για τρία επεισόδια, με σκοπό να συγκριθούν τα αποτελέσματα και να αναδειχθούν πιθανές διαφοροποιήσεις. Τέλος, καθώς η ανάλυση πραγματοποιείται σε επίπεδο φατνίου, όπως περιγράφεται αναλυτικά στο τρίτο κεφάλαιο του παρόντος τεύχους, πραγματοποιείται ακόμα διερεύνηση αναφορικά με την επίδραση του μεγέθους του φατνίου στα αποτελέσματα του μοντέλου. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν χρησιμοποιώντας κανάβο με μέγεθος φατνίου 1000 x 1000m και 200 x 200m.

1.3 Διάρθρωση τεύχους

Το τεύχος της εργασίας αποτελείται από πέντε κεφάλαια, ως εξής:

- Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί το εισαγωγικό μέρος στο οποίο παρουσιάζεται το αντικείμενο της εργασίας και τα πρωτότυπα σημεία που συγκεντρώνει η παρούσα έρευνα. Ακόμη, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η γενική ανάλυση περί των πλημμυρών αλλά και συγκεκριμένα για την πλημμύρες στον Ελλαδικό χώρο. Τέλος, σε αυτό το κεφάλαιο ταξινομούνται οι πλημμύρες σε κατηγορίες και παρουσιάζονται οι παράγοντες που τις προκαλούν.
- Το δεύτερο κεφαλαίο αποτελεί το μέρος στο οποίο παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης και αναλύεται η γεωγραφική της θέση, όπως και ακόμη γίνεται μία περιγραφή στα χαρακτηριστικά της περιοχής και πως αυτά επιδρούν στις πλημμύρες. Τέλος, περιλαμβάνεται η περιγραφή αυτών των τριών γεγονότων πλημμύρας που αναλύονται στο πλαίσιο εκπόνησης της εργασίας.
- Το τρίτο κεφάλαιο, το οποίο είναι και το μεγαλύτερο σε έκταση, αποτελεί το μεταίχμιο από το εισαγωγικό στο πρακτικό σκέλος της διπλωματικής εργασίας. Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται αρχικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, συμπεριλαμβανομένου του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, των πλημμυρισμένων θέσεων – κτισμάτων (αστικά συμβάντα πλημμυρών), το ψηφιακό αρχείο της αδιαπερατότητας του εδάφους, τα δεδομένα βροχόπτωσης κ.λπ.. Αναφέρονται ακόμη τα χαρακτηριστικά των κατασκευών που λαμβάνονται υπόψη, όπως και παρουσιάζεται όλη η συνολική μεθοδολογία της έρευνας, όπως αυτή περιγράφεται στην ανάλυση σε περιβάλλον GIS και στη στατιστική ανάλυση στο SPSS.
- Ακολουθεί το τέταρτο κεφάλαιο στο οποίο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και γίνεται η συζήτηση επί αυτών. Συγκεκριμένα προσδιορίζονται οι ανεξάρτητες μεταβλητές και οι εξαρτημένες για τα μοντέλα παλινδρόμησης που εξετάζονται.

Ακόμα, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων παλινδρόμησης (γραμμική και δυαδική προσέγγιση) αναλυτικά σε πίνακες, καθώς και η ανάλυση των παραγόντων που σχετίζονται με τις κατασκευές των πλημμυρισμένων θέσεων στις κατασκευές, παρουσιάζοντας γραφήματα.

- Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η σύνοψη των σημαντικότερων στοιχείων και παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν με το πέρας της εργασίας. Ακολουθούν οι αναφορές, όπου παρατίθεται το σύνολο των ελληνικών και ξενόγλωσσων βιβλίων, άρθρων και ιστοσελίδων που χρησιμοποιήθηκαν ως πηγές για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

1.4 Γενικά περί πλημμυρών

Η έννοια της πλημμύρας ορίζεται ως μια ασυνήθιστα μεγάλη υπερχειλίση των ρεμάτων νερού ή άλλων υδατικών συστημάτων που το νερό απλώνεται πάνω στα πεδία, τις πόλεις και επιμέρους περιοχές, προκαλώντας καταστροφές, ακόμα και το θάνατο, στο πέρασμά του. Μια πλημμύρα είναι στην πραγματικότητα μια φυσιολογική ροή του μεγάλου κύκλου του νερού που συντηρεί τη ζωή στον πλανήτη μας. Τα γεγονότα που προκαλούν αυτές τις πλημμύρες και τον τρόπο που συμπεριφέρονται μπορεί να εξηγηθούν από τους φυσικούς νόμους και από διάφορους υπολογισμούς (Πανούσης, 2015).

Το πρόβλημα των πλημμυρών - Εννοιολογικές αποσαφηνίσεις: Τα πλημμυρικά φαινόμενα αποτελούν μέρος της φυσικής υδρολογικής διεργασίας και συμβαίνουν όταν τμήμα του υδρογραφικού δικτύου αδυνατεί να αποστραγγίσει τον όγκο των υδάτων που απορρέουν, με αποτέλεσμα να υπερχειλίζει τις όχθες και τα ύδατα αυτά να καταλαμβάνουν εφήμερα, τμήματα χέρσου (Diakakis, 2012).

Ειδικότερα, ως *πλημμύρα* εννοούμε την προσωρινή κατάκλιση του εδάφους από νερό το οποίο, υπό κανονικές συνθήκες, δεν είναι καλυμμένο από νερό. Αυτή περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους και υδατορεύματα εφήμερης ροής, υπερχειλίσεις λιμνών, και πλημμύρες από υπόγεια ύδατα και τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές. Ακόμη, περιλαμβάνει πλημμύρες από καταστροφές μεγάλων υδραυλικών έργων, όπως θραύσεις αναχωμάτων και φραγμάτων (Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας, 2016; Υπουργεία Εσωτερικών, Οικονομικών, Ναυτιλίας, Περιβάλλοντος, Μεταφορών, 2010, με τροποποιήσεις από Ραλλάτου, 2019).

Το *πλημμυρικό πεδίο* (floodplain) ενός ποταμού είναι το φυσικό χαρακτηριστικό της κοιλάδας του, το οποίο δύναται να προσδιοριστεί με μεγάλη ακρίβεια και πρόκειται ουσιαστικά για μία σχεδόν επίπεδη περιοχή η οποία περιβάλλει το ποτάμι. Στις ορεινές περιοχές υπάρχει ένα μεγάλο σύνθετο σύστημα ρευμάτων τα οποία συγκλίνουν σε μία χαμηλή περιοχή, πιθανού πλάτους έως και εκατοντάδων χιλιάδων χιλιομέτρων (Diakakis, 2017).

Πλημμυρική διακινδύνευση (Flood Risk) είναι η δυνητική απειλή για τον άνθρωπο (Smith and Ward, 1998), ή πιο συγκεκριμένα ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται με αυτή την πλημμύρα (Υπουργεία Εσωτερικών, Οικονομικών, Ναυτιλίας, Περιβάλλοντος, Μεταφορών, 2010, με τροποποιήσεις από Παλλάτου, 2019).

Πλημμυρική επικινδυνότητα (Flood Hazard) είναι η συνολική πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας σε ένα συγκεκριμένο χώρο (ποσοτικοποιούμενη μέσω του βάθους νερού, της ταχύτητας ροής ή άλλου χαρακτηριστικού υδρολογικού ή υδραυλικού μεγέθους) που αντιστοιχεί σε δεδομένη πιθανότητα υπέρβασης, και άρα ορίζεται ως πιθανή συνέπεια πρόκλησης απώλειας (Smith and Ward, 1998).

Τρωτότητα (Vulnerability) είναι ο βαθμός επιδεκτικότητας ή το πόσο ευάλωτο είναι ένα σύστημα του φυσικού ή ανθρωπογενούς περιβάλλοντος σε έναν κίνδυνο, καθώς επίσης σύμφωνα με τους Wisner and Blaikie (2004) και της ικανότητας του συστήματος αυτού να προβλέψει, να αντιμετωπίσει, να ανακάμψει και να αντισταθεί στις επιπτώσεις μίας καταστροφής.

1.5 Πλημμύρες στη Μεσόγειο και στον Ελληνικό χώρο

Στο χώρο της Μεσογείου καταγράφονται ιδιαίτερες συνθήκες στο καθεστώς των πλημμυρών δεδομένης της επίδρασης του κλίματος, των ιδιαίτερων γεωλογικών, γεωμορφολογικών και κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών της περιοχής. Οι περισσότερες υδρολογικές λεκάνες των παραλίων της Μεσογείου είναι επιδεκτικές σε αιφνίδιες πλημμύρες (flash floods), οι οποίες αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά καταστροφικά φαινόμενα στην περιοχή και στον Ελληνικό χώρο (Ανδρεαδάκης και Φουντούλης, 2007). Κατά κύριο λόγο οι υδρολογικές λεκάνες έχουν μικρό έως μέσο μέγεθος και αποστραγγίζονται από εφήμερους χειμάρρους με ελάχιστο ή καθόλου νερό

κατά τη διάρκεια του έτους. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η εκδήλωση έντονων βροχοπτώσεων τους χειμερινούς μήνες, φαινόμενο τυπικό του Μεσογειακού κλίματος, το οποίο κατά κύριο λόγο αποτελεί σημαντικό τμήμα του μηχανισμού εκδήλωσης ξαφνικών πλημμυρών (flash floods). Οι πλημμύρες αυτές έχουν μικρή διάρκεια και παρουσιάζουν μεγάλες απορροές. Κατά τη διάρκεια των φαινομένων αυτών παρουσιάζονται εκτεταμένα φαινόμενα διάβρωσης και μεταφοράς εδαφικού υλικού, τα οποία δημιουργούν επιπρόσθετους κινδύνους όπως λασπορροές και κατολισθήσεις. Στην ιδιαιτερότητα αυτή συμβάλλει το ιδιαίτερο γεωτεκτονικό καθεστώς της περιοχής, που περιλαμβάνει ενεργό τεκτονική, μεγάλες μορφολογικές κλίσεις και ιδιαίτερες λιθολογίες. Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η συγκέντρωση μεγάλων πληθυσμών σε αστικά κέντρα σε παραποτάμιες και παραλιακές περιοχές, η οποία, συνδυαζόμενη με την αξιοσημείωτη οικιστική πίεση και την ταχεία τουριστική ανάπτυξη, συμβάλλει συχνά στην παρεμπόδιση της ομαλής λειτουργίας των ποτάμιων συστημάτων. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στη ραγδαία αύξηση των οικονομικών επιπτώσεων των πλημμυρών τις τελευταίες δεκαετίες (Ganoulis, 2003).

Οι πλημμύρες είναι μια από τις πιο σημαντικές κατηγορίες φυσικών καταστροφών και στον Ελληνικό χώρο, τόσο από οικονομικής πλευράς όσο και από πλευράς κόστους σε ανθρώπινες ζωές. Σύμφωνα με τις Νικολαΐδου και Χατζηχρήστου (1995) τα θύματα στον Ελληνικό χώρο μεταξύ 1887-1994 ανήλθαν στα 216. Εκτός από τις ανθρώπινες ζωές οι πλημμύρες έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε περιουσίες (οικίες, καταστήματα, βιομηχανίες), στην γεωργία, στην κτηνοτροφία, στις υποδομές (τεχνικά έργα, οδικό δίκτυο) και στα δίκτυα κοινής ωφελείας. Σημαντικά είναι επίσης τα επακόλουθα στον τομέα του περιβάλλοντος αν και το εύρος των επιπτώσεων δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς. Την περίοδο 1980-2002, κατά τον Stathis (2004), 114 από τις 150 πλημμύρες έλαβαν χώρα σε εφήμερα χειμαρρικά ρεύματα που διέρχονται από οικιστικές περιοχές, ενώ τα υπόλοιπα γεγονότα συνέβησαν σε πιο εκτεταμένα υδρογραφικά δίκτυα, όπως ο Σπερχειός, ο Έβρος ή ο Πηνειός. Ο Λέκκας (2000) επισημαίνει την αύξηση των πλημμυρών στα όρια οικιστικών περιοχών κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Κύρια αίτια της τάσης αυτής είναι κατά τον Λέκκα (2000) και τον Stathis (2004) ο περιορισμός της κοίτης των ρεμάτων, ο φραγμός των κοιτών, η μείωση των δασικών εκτάσεων λόγω των πυρκαγιών και η μείωση της κατεΐσδυσης εντός του αστικού περιβάλλοντος. Ο Stathis (2004) υποστηρίζει ότι υπάρχει σημαντική συμβολή του ανθρώπινου παράγοντα στην εκδήλωση πλημμυρών αλλά και στα αποτελέσματά

τους, δηλαδή στις μικρότερες ή μεγαλύτερες αρνητικές συνέπειες πλημμυρών στο περιβάλλον και τον άνθρωπο.

1.6 Ταξινόμηση πλημμυρών

Τα τελευταία χρόνια η διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου εστιάζει σε προσεγγίσεις όπως η πρόγνωση πλημμυρών (flood forecasting), η έγκαιρη προειδοποίηση (early warning), ο σχεδιασμός των χρήσεων γης και η αποτύπωση της επικινδυνότητας σε χάρτες. Παράλληλα, τα δομικά και μηχανικά μέτρα (φράγματα, κανάλια και άλλα) έχουν περιβληθεί από σκεπτικισμό λόγω των οικονομικών και περιβαλλοντικών τους μειονεκτημάτων (Golian et al., 2010).

Οι μεθοδολογίες και τα μέτρα που ακολουθούνται για τη μείωση του κινδύνου πλημμυρών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο της πλημμύρας. Οι κύριοι τύποι πλημμυρών σύμφωνα με μία από τις πιο ευρέως διαδεδομένες ταξινομήσεις συνοψίζεται στον Πίνακα 1, όπου καταγράφεται ο τύπος της πλημμύρας, όπως και τα ενδεικτικά αίτια και οι επιπτώσεις που συνδέονται με αυτόν.

Στην περιοχή της Μεσογείου οι αιφνίδιες (ή ξαφνικές) πλημμύρες (flash floods) είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος πλημμυρών καθώς ευνοείται ιδιαίτερα από τη γεωμορφολογία, τη γεωλογία και τις κλιματικές παραμέτρους.

Πίνακας 1: Αίτια πλημμυρών και επιπτώσεις τους. (Sene, 2012)

ΤΥΠΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΑΙΤΙΑ	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ
Ποτάμιες Πλημμύρες	Έντονη βροχόπτωση, βροχόπτωση μάκρας διαρκείας, λιώσιμο χιονιού, αστοχία αντιπλημμυρικών έργων	Πλημμυρικά ύδατα κατά μήκος πλημμυρικών πεδίων (στάσιμα ή ρέοντα)
Παράκτιες Πλημμύρες	Υψηλές παλίρροιες, καταιγίδες, τσουνάμι, συνδυασμός των παραπάνω με έντονη βροχόπτωση	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα κοντά στην ακτή, υποχώρηση της ακτής, υφαλμήρηση της αγροτικής γης κοντά στο παραλιακό μέτωπο
Πλημμύρες ορεινών χειμάρρων	Καταιγίδες, αστάθεια πρανών	Λασπορροές, έντονη διάβρωση, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα και μεταφερόμενο υλικό, δημιουργία αλλουβιακού ριπιδίου
Αιφνίδιες πλημμύρες (flashfloods) σε εφήμερους χειμάρρους	Ιδιαίτερα έντονη βροχόπτωση	Έντονη διάβρωση, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα πολλές φορές εμπλουτισμένα με εδαφικό υλικό, λασπορροές
Πλημμύρες που συνδέονται με το υπεδαφικό νερό	Υψηλή στάθμη υπεδαφικού νερού, κορεσμός υδροφόρου ορίζοντα	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στο πλημμυρικό πεδίο
Πλημμύρες λιμνών	Ταχεία αύξηση των υδατικών αποθεμάτων	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα πέραν της ακτής

1.7 Παράγοντες πλημμυρογένεσης

Η εκδήλωση πλημμυρών εξαρτάται από μία σειρά από παράγοντες που σχετίζονται με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των υδρολογικών λεκανών, τις μετεωρολογικές παραμέτρους, τα χαρακτηριστικά των καταιγίδων, τη γεωλογία και τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Ορισμένα από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι σχετικά στατικά (π.χ. τοπογραφία, σχήμα υδρολογικής λεκάνης), ενώ άλλα διαφοροποιούνται με το χρόνο (π.χ. βαθμός κορεσμού εδάφους, ένταση βροχόπτωσης κ.ά.) (Διακάκης, 2013; Feloni, 2019).

Ένας από τους πιο σημαντικούς δυναμικούς παράγοντες στην εκδήλωση πλημμυρών είναι η ένταση της βροχόπτωσης (Georgakakos, 2006; Norbiato et al., 2008). Οι Martin-Vide et al. (1999) υποστηρίζουν ότι οι καταιγίδες υψηλής έντασης και μικρής διάρκειας καταιγίδες τείνουν να δημιουργούν πολύ μεγαλύτερους όγκους απορροής από ότι οι καταιγίδες μεγάλης διάρκειας ή οι καταιγίδες μεγάλου συνολικού ύψους βροχής. Με αυτό τον τρόπο έδειξαν τη σημασία του μεγέθους της έντασης της βροχόπτωσης στο φαινόμενο των πλημμυρών. Εξάλλου, οι Wilbanks et al (2007) υποστηρίζουν ότι ένας από τους πιο άμεσους κινδύνους που μπορεί να προκύψει από μια ενδεχόμενη αλλαγή του κλίματος είναι η αύξηση των πλημμυρών που συνδέεται με την αύξηση της έντασης της βροχόπτωσης.

Οι βαθύτερες αιτίες των πλημμυρών (βροχόπτωση και στάθμη της θάλασσας) είναι φυσικά φαινόμενα τα οποία δεν μπορούν κατ' ουσίαν να ελεγχθούν. Παρόλα αυτά, εάν μία βροχόπτωση προκαλέσει ζημιές λόγω πλημμύρας, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό όχι μόνο από φυσικούς παράγοντες (Ward and Robinson, 2000), αλλά και από ανθρωπογενείς (Smith and Ward, 1998), όπως η αποδάσωση στο άνω τμήμα της λεκάνης απορροής, η ευθυγράμμιση του ρου ποταμών και η εξάλειψη των φυσικών πεδίων κατάκλυσης, η ανεπαρκής αποστράγγιση και, κυρίως, η εκτενής οικοδόμηση κτιρίων σε επικίνδυνα πεδία κατάκλυσης, οι οποίοι επιδρούν άμεσα, μειώνοντας την παροχτευτικότητα ικανότητα των υδατορεμάτων, ή έμμεσα, επιδρώντας στην υδρολογική λειτουργία μιας λεκάνης (European Union, 2004).

Επομένως, οι παράγοντες που επηρεάζουν τις υδρολογικές διεργασίες και κατ' επέκταση την εκδήλωση πλημμυρών, δύναται να ταξινομηθούν στους *στατικούς*, ως τους εννοούμενους σταθερούς, οι οποίοι συνοψίζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά μίας λεκάνης και, αφετέρου, στους *δυναμικούς*, οι οποίοι περιλαμβάνουν όλες εκείνες τις

παραμέτρους που διαφοροποιούνται κατά την διάρκεια ενός υδρολογικού συμβάντος, όπως για παράδειγμα τα χαρακτηριστικά των κατακρημνισμάτων (Διακάκης, 2012).

Κατά συνέπεια, οι πλημμύρες, ως φυσικά φαινόμενα, αποτελούν συνισταμένη όχι μόνο των όγκων και των ποσοστών βροχής, αλλά και της τοπογραφίας της εκάστοτε περιοχής, της χρήσης γης, του τύπου του εδάφους στην λεκάνη απορροής και τις ήδη υπάρχουσες συνθήκες υγρασίας (Ashley and Ashley, 2008).

Αναλυτικότερα, οι σταθεροί παράγοντες της πλημμυρογένεσης είναι (Διακάκης, 2012):

- Η έκταση της υδρολογικής λεκάνης, η οποία καθορίζει τον όγκο των υδάτων που απορρέει μετά από μία βροχόπτωση.
- Το σχήμα της υδρολογικής λεκάνης, καθώς σχετίζεται με τον τρόπο και τον χρόνο με τον οποίο συνεισφέρουν τα διάφορα τμήματα της λεκάνης στην απορροή στην έξοδό της.
- Ο προσανατολισμός της λεκάνης σε σχέση με τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, διότι επηρεάζει την μορφή του υδρογραφήματος, την συχνότητα και την ποσότητα των βροχοπτώσεων.
- Η μέση κλίση της υδρολογικής λεκάνης, καθώς καθορίζει την ταχύτητα με την οποία απορρέουν τα επιφανειακά ύδατα, η οποία είναι αντιστρόφως ανάλογη με τον χρόνο συρροής των υδάτων και τον όγκο απορροής τους, καθώς μειώνει την κατείσδυση όταν είναι αυξημένη στα χαμηλότερα σημεία του ανάγλυφου.
- Η υδατοπερατότητα των σχηματισμών (εξαρτώμενη από το είδος του πετρώματος, την φυτοκάλυψη, την εδαφική κάλυψη), ως ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις υδρογεωλογικές και υδρολογικές διεργασίες μιας λεκάνης, καθώς συμβάλλει στην αύξηση της ποσότητας του νερού που απορρέει και διεισδύει στο έδαφος.

Ακολούθως, οι δυναμικοί παράγοντες της πλημμυρογένεσης είναι:

- Η ένταση της βροχόπτωσης ως δυναμικός παράγοντας, καθώς οι καταιγίδες μικρής διάρκειας και μεγάλης έντασης δημιουργούν μεγάλους όγκους απορροής.
- Η κίνηση της καταιγίδας, η οποία καθορίζει την μορφή του υδρογραφήματος, λόγω του ότι επηρεάζει τον χρόνο στον οποίο αποστραγγίζονται τα διάφορα τμήματα της λεκάνης.

- Η χωρική κατανομή της βροχόπτωσης και της έντασής της, διότι καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο κάθε τμήμα της λεκάνης συνεισφέρει στην απορροή στην έξοδό της.
- Η διάρκεια της βροχόπτωσης.

Τέλος οι ανθρώπινες παρεμβάσεις, οι οποίες θα αναλυθούν εκτενέστερα παρακάτω, συνιστούν παράγοντες μείζονος σημασίας στην εκδήλωση πλημμυρών μέσα από την ανάπτυξη τεχνικών έργων, την μείωση της παροχετευτικότητας ενός υδατορεύματος, των δασικών πυρκαγιών, της ρύπανσης των ρεμάτων και της έντονης αστικής ανάπτυξης γύρω από μία υδρολογική λεκάνη.

2 Περιοχή μελέτης

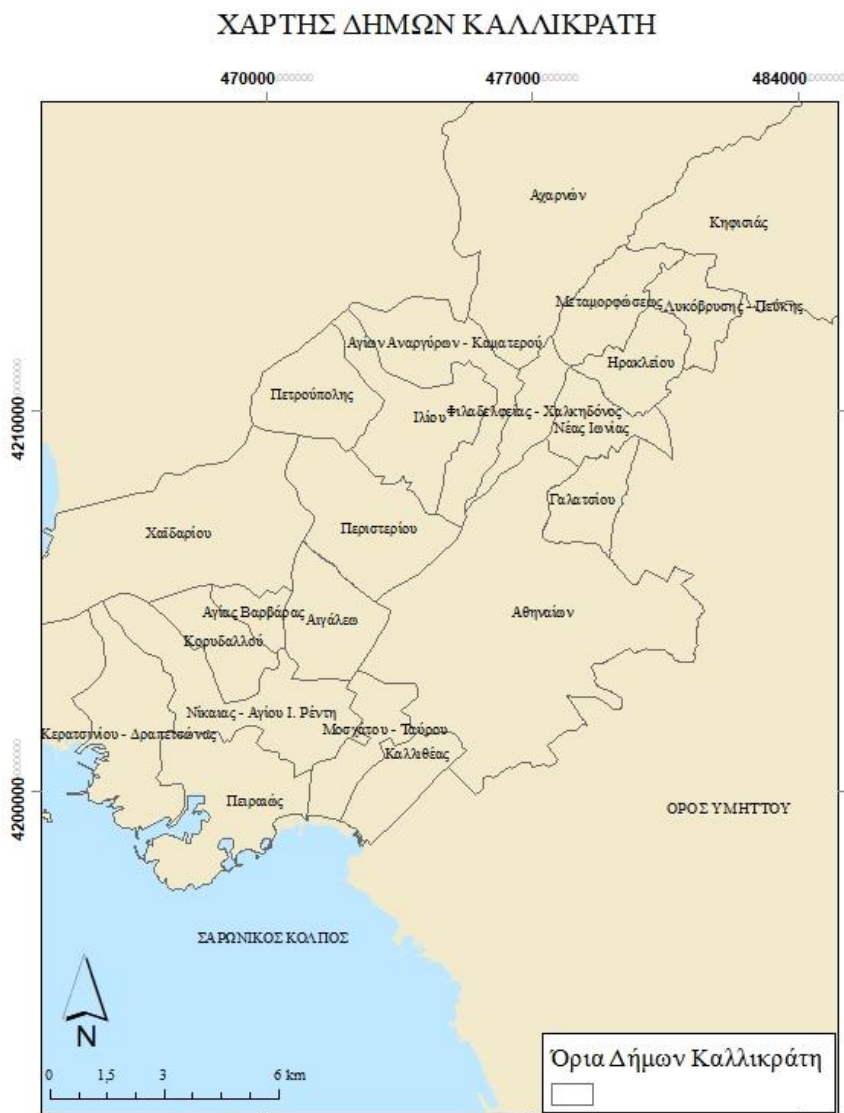
Αυτή η ενότητα παρουσιάζει μια λεπτομερή περιγραφή της περιοχής μελέτης, η οποία είναι εντός της Περιφέρειας Αττικής και συγκεκριμένα η περιοχή της Δυτικής Αθήνας που στο παρελθόν έχει πληγεί από πολυάριθμα πλημμυρικά γεγονότα. Παρουσιάζεται η διοικητική υπαγωγή, τα γεωμορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, ενώ γίνεται περιγραφή ορισμένων ειδικών χαρακτηριστικών, όπως, το κλίμα, η κάλυψη γης κ.λπ. και μια αναφορά σχετικά με τις πρόσφατες σημαντικές πλημμύρες της περιοχής.

2.1 Θέση - Διοικητική υπαγωγή

Η Περιφέρεια Αττικής είναι μια διοικητική περιοχή της Ελλάδας που περιλαμβάνει ολόκληρη τη μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας, η οποία είναι η μεγαλύτερη πόλη και πρωτεύουσα της χώρας. Η ευρύτερη περιοχή της Αθήνας περιλαμβάνει το λιμάνι του Πειραιά και πολλά προάστια. Ακόμη, είναι ένας κόμβος μεταφορών, που εξυπηρετείται από αεροπορικές εταιρείες, έχει σημαντική δραστηριοποίηση στο χώρο της ναυτιλίας, και σε επίπεδο χερσαίων μεταφορών, μεγάλους δρόμους και σιδηροδρομικές γραμμές. Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από εκτεταμένες ανθρώπινες παρεμβάσεις, από πυκνό οδικό δίκτυο και έντονη αστικοποίηση. Επιπλέον, τα δυτικά, βόρεια και τα ανατολικά τμήματα της Αττικής περιλαμβάνουν μικρότερες γεωργικές δραστηριότητες, ενώ οι πυκνές, ανεξέλεγκτες οικοδομικές κατασκευές μπλοκάρουν το δίκτυο αποχέτευσης προκαλώντας πολλές πλημμύρες (Karymbalis et al., 2012; Skilodíμου et al., 2003) που έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικές ζημιές και σε πολλές περιπτώσεις απώλειες σε ανθρώπινες ζωές. Ως προς τα διοικητικά όρια της έκτασής της, η Αττική εκτός από την Αθήνα και τον Πειραιά, περιλαμβάνει τις πόλεις Ελευσίνα και Μέγαρα δυτικά, και το Λαύριο και Μαραθώνα στα ανατολικά, καθώς και ένα μικρό τμήμα της χερσονήσου της Πελοποννήσου στα νότια και τα νησιά του Σαρωνικού Σαλαμίνα, Αίγινα, Αγκίστρι, Πόρος, Ύδρα, Σπέτσες και τα Κύθηρα και Αντικύθηρα. Περίπου 3.750.000 άνθρωποι ζουν στην περιοχή, εκ των οποίων άνω του 95% είναι κάτοικοι της περιοχής της Αθήνας. Η περιοχή ιδρύθηκε στη διοικητική μεταρρύθμιση του 1987, και μέχρι το 2010 περιλάμβανε τέσσερις νομούς: Αθηνών, Ανατολικής

Αττικής, Πειραιά και Δυτικής Αττικής. Σύμφωνα με το Πρόγραμμα Καλλικράτης (2010), έγιναν σημαντικές διοικητικές μεταρρυθμίσεις στην Ελλάδα, οι αρχές της περιοχής επαναπροσδιορίστηκαν και επεκτάθηκαν πλήρως. Από 1η Ιανουαρίου του 2011, η περιφέρεια αντιπροσωπεύει το δεύτερο επίπεδο τοπικής διοίκησης.

Σε αυτή την εργασία η περιοχή μελέτης περιορίζεται στη Δυτική Αθήνα, περιλαμβάνοντας στο σύνολό τους ή μέρος των δήμων της Περιφερειακής Ενότητας του Δυτικού Τομέα Αθήνας. Πιο αναλυτικά η ανάλυση εκτείνεται στα γεωγραφικά όρια των δήμων Αγίας Βαρβάρας, Αγίων Αναργύρων – Καματερού, Αιγάλεω, Ιλίου, Περιστερίου, Πετρούπολης, Χαϊδαρίου, Ασπρόπυργου, Ελευσίνας, Μάνδρας, Μεγάρων, Φυλής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Χάρτης με τα όρια των Δήμων Καλλικράτη στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Αθήνας.

2.2 Χαρακτηριστικά περιοχής

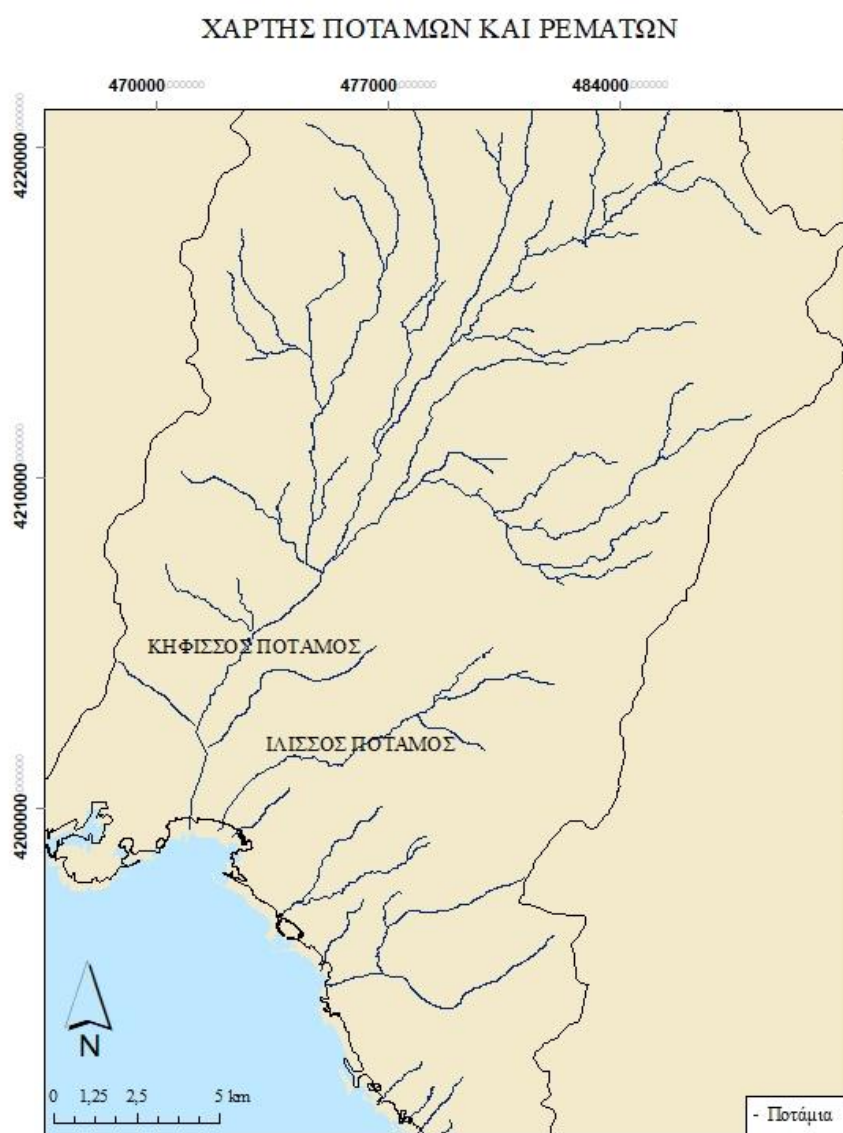
Το λεκανοπέδιο: Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με τον αστικό ιστό της περιοχής της Αττικής επηρεάζει την επιδεκτικότητα σε πλημμύρες. Το Λεκανοπέδιο Αττικής οριοθετείται στο Βόρειο τμήμα με το όρος Πάρνηθα, μια πυκνή δασική έκταση και το μεγαλύτερο όρος της Αττικής σε μέγιστο υψόμετρο (1413m.), το Όρος Πεντελικόν (1109m.) στα Ανατολικά και το όρος Αιγάλεω (468 m.) στα δυτικά - βορειοδυτικά. Έτσι, σχηματίζεται μια κλειστή περιοχή σε σχήμα πετάλου που εκβάλλει στα νότια - νοτιοανατολικά, στον Σαρωνικό Κόλπο. Το μέσο υψόμετρο της ηπειρωτικής χώρας είναι 115 m. Η λεκάνη διαμορφώνεται κυρίως από τον Κηφισό και τον Ιλισσό, ένα δίκτυο ρεμάτων που είναι σχετικά ξηρά, με μέση ετήσια βροχόπτωση περίπου τα 390 mm και ένα ανεπαρκώς ανεπτυγμένο δίκτυο ρεμάτων που κυριαρχείται από ρυάκια με μικρές ποσότητες νερού για τους περισσότερους μήνες του έτους (Diakakis et. al., 2017).

Ο Κηφισός ποταμός: Θεωρείται χρήσιμο, για την αποτύπωση μίας συνολικής εικόνας της αντιπλημμυρικής κατάστασης του λεκανοπεδίου, να γίνει αναφορά στον Κηφισό ποταμό, δεδομένου μάλιστα ότι συνιστά τελικό αποδέκτη πολλών ρεμάτων που συμβάλλουν σε αυτόν, όπως και το ρέμα της Εσχατέας το οποίο βρίσκεται εντός της περιοχής μελέτης της παρούσας εργασίας.

Ο Κηφισός ποταμός πηγάζει από τις βορειοδυτικές πλαγιές της Πεντέλης και τις νοτιοανατολικές της Πάρνηθας, τον ορεινό όγκο της οποίας περικλείουν τα όρια του Εθνικού Δρυμο, περιοχής που εντάσσεται στο δίκτυο «Natura 2000». Διασχίζει το Λεκανοπέδιο συλλέγοντας ύδατα από το όρος Αιγάλεω και μέρος του Υμηττού και εκβάλλει στον Φαληρικό Όρμο. Η λεκάνη απορροής του έχει έκταση 381.10 km² και αποτελεί το σημαντικότερο σύστημα συλλογής ομβρίων του Λεκανοπεδίου της Αττικής. Είναι 6ης τάξης ποτάμι και το μήκος του, από το Κρυονέρι έως το Φάληρο, είναι περίπου 33.7 km (Bathrellos et al., 2016) εκ των οποίων 25 km περίπου βρίσκονται εντός αστικής περιοχής και τα 8 km εκτός, ενώ το συνολικό μήκος των πολλών παραχειμμάτων του υπερβαίνει τα 150 km (Ιτιά - ΕΜΠ, 2008).

Οι χρήσεις γης στη λεκάνη του Κηφισού ποικίλλουν. Στις ανάντη ορεινές περιοχές κυριαρχούν τα δάση και οι θαμνώδεις εκτάσεις και στα κατάντη οι αστικές περιοχές με την δομημένη έκταση σήμερα να ξεπερνάει το 70% και να αυξάνεται διαρκώς, ενώ οι ορεινές και ημιορεινές περιοχές της λεκάνης στην Πάρνηθα και την Πεντέλη έχουν

κατά καιρούς πληγεί από πυρκαγιές, με καταστρεπτικότερη εκείνη το καλοκαίρι του 2007. Επίσης, υπάρχουν καλλιεργημένα εδάφη και περιοχές βιομηχανικής χρήσης. Η μορφολογία των κατοικημένων περιοχών της λεκάνης Κηφισού χαρακτηρίζεται στο μεγαλύτερο μέρος της από ομαλό ανάγλυφο. Στην ορεινή και ημιορεινή λεκάνη συναντώνται κυρίως ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, σχιστόλιθοι και προσχώσεις, ενώ οι πεδινές ελεύθερες περιοχές έχουν γίνει αδιαπέρατες από την αστικοποίηση, ήτοι την οικοδόμηση και τα αστικά οδικά δίκτυα (Νικολόπουλος, 2018). Τα ρέματα που συμβάλλουν στον Κηφισό είναι πολλά (Σχήμα 2), από τα οποία άλλα έχουν μπαζωθεί σε κατοικημένες περιοχές και άλλα έχουν διευθετηθεί με κλειστές ή ανοικτές διατομές.



Σχήμα 2: Χάρτης με το υδρογραφικό δίκτυο του Κηφισού και Ιλισού ποταμού.

Ειδικότερα, ο Κηφισός στην πορεία του είναι αποδέκτης ενός σημαντικού αριθμού συμβαλλόντων κλάδων, τα κυριότερα των οποίων είναι, από την μεν δυτική πλευρά: το ρέμα Νίκαιας (Καναπιτσερή), το ρέμα Χαΐδαρίου, το ρέμα Μάσχα, τα ρέματα Μιχελή και Λιοσίων, τα οποία συμβάλλουν στο ρέμα Εσχατιάς ή Φλέβας (που διατρέχει περιοχές που χαρακτηρίζονται υψηλού πλημμυρικού κινδύνου (Bathrellos et al., 2016) με κοινό έργο συμβολής στον Κηφισό, το ρέμα Αχαρνών και το ρέμα Βαρυμπόμπης, από δε την ανατολική πλευρά το ρέμα Προφήτη Δανιήλ, ο Ποδονίφτης στον Περισσό και η Πύρνα. Ορισμένα εξ αυτών, όπως το ρέμα Λιοσίων και ο Ποδονίφτης αποχετεύουν σημαντικό μέγεθος υπολεκάνες και έχουν επίσης σημαντικούς συμβάλλοντες κλάδους, όπως το ρέμα Φυλής, το ρέμα Ευπυρίδων και αντίστοιχα το ρέμα Αμαρουσίου και Χαλανδρίου. Αξιόλογα ρέματα συμβάλλουν επίσης στα ανάντη της κοίτης του Κηφισού τμήματα των ρεμάτων Φασίδερι και Χελιδονούς. Ο σχεδιασμός και η διευθέτηση του Κηφισού ποταμού ξεκίνησε το 1900 σε τμήμα κατάντη της οδού Πειραιώς, μήκους 1 km έπειτα από την καταστροφική πλημμύρα της 18ης Νοεμβρίου mm, γνωστής και ως «βροχής του Αγ. Φιλίππου», που είχε ημερήσιο ύψος 150.02 χιλιοστά (Σάρρος, 2004). Τα έργα ανάντη της οδού Πειραιώς άρχισαν το 1935 και ολοκληρώθηκαν το 1956, με την διευθέτηση του Κηφισού έως τις «Τρεις Γέφυρες». Έπειτα από τις καταστροφικές πλημμύρες του 1961 και του 1977 κατασκευάστηκαν μεγάλα υδραυλικά και αντιπλημμυρικά έργα στις πιο επιρρεπείς περιοχές, όπως στον Κηφισό και στα μεγαλύτερα συμβάλλοντα ρέματα σε αυτόν, το ρέμα της Εσχατιάς και τον Ιλισό (Mazi and Koussis, 2006).

2.3 Πρόσφατες σημαντικές πλημμύρες στην περιοχή

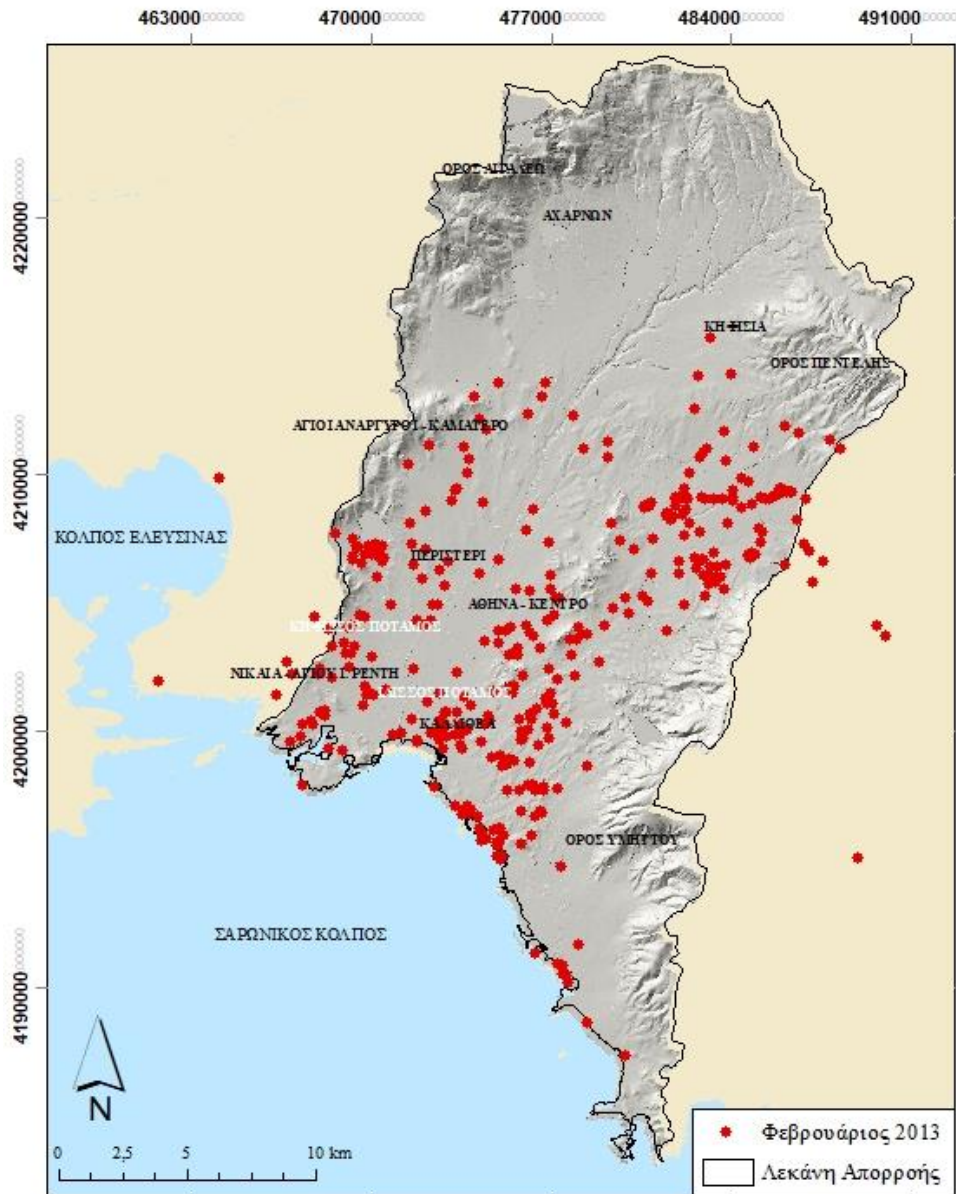
Παρόλο που η περιοχή έχει πληγεί από πολυάριθμες πλημμύρες τις τελευταίες δεκαετίες, στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι τρεις σημαντικότερες πλημμύρες της περασμένης δεκαετίας που αποτελούν και τα υπό εξέταση πλημμυρικά επεισόδια. Παράλληλα, παρατίθενται και οι σχετικοί χάρτες με την κατανομή των αστικών συμβάντων (δηλ. τις κατοικίες στις οποίες προκλήθηκαν ζημιές λόγω του φαινομένου).

Φεβρουάριος 2013: Στις 21 Φεβρουαρίου του 2013, το δυτικό τμήμα της Ελλάδας επηρεάστηκε από ένα χαμηλό βαρομετρικό που κινήθηκε από τις ακτές της Βόρειας Αφρικής προς τα νότια τμήματα του Ιονίου. Το σύστημα κινήθηκε ανατολικά πάνω από την ηπειρωτική Ελλάδα και τελικά πάνω από την Αθήνα κατά τη διάρκεια της νύχτας της 21ης Φεβρουαρίου. Μετά την πρώτη ώρα της καταιγίδας (λίγο πριν από τις

5:00 π.μ.), οι ψυχρές αέριες μάζες περιορίστηκαν στα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα, δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για ισχυρές ανοδικές κινήσεις που προκάλεσαν περισσότερες βροχοπτώσεις. Το σύστημα παγιδεύτηκε πάνω από το λεκανοπέδιο της Αθήνας για παρατεταμένο χρονικό διάστημα, οδηγώντας σε φαινόμενο-επανατροφοδότηση, με αποτέλεσμα αυξημένα ποσά βροχόπτωσης. Παρόλο που καταγράφηκαν αρχικά βροχοπτώσεις στο δυτικό τμήμα της πόλης, το σύστημα επεκτάθηκε σχετικά γρήγορα προς τα ανατολικά, επηρεάζοντας ακόμα τα κεντρικά και βορειοανατολικά τμήματα του λεκανοπεδίου της Αθήνας, τα οποία συγκέντρωσαν τα μεγαλύτερα ποσά βροχόπτωσης. Η επακόλουθη πλημμύρα είχε τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά μιας αιφνίδιας πλημμύρας, συμπεριλαμβανομένων των υψηλών ροών που υπερχείλισαν εφήμερους χείμαρρους.

Η πλημμύρα προκάλεσε σημαντικές ζημιές σε περιουσίες και υποδομές, ανέτρεψε και παρέσυρε πολυάριθμα οχήματα και πλημμύρισε κατοικίες και επιχειρήσεις. Ακόμη, προκάλεσε σημαντικές επιπτώσεις στο οδικό δίκτυο, στην κυκλοφορία των οχημάτων και τον θάνατο ενός επιβάτη οχήματος. Τα μοτίβα των πλημμυρισμένων θέσεων στο χάρτη του Σχήματος 3 δείχνουν ότι επλήγησαν διαφορετικά μέρη της λεκάνης με διαφορετικά γεωμορφολογικά, μετεωρολογικά και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά, γεγονός που δείχνει ότι ποικίλοι παράγοντες επηρέασαν τη χωρική κατανομή των πλημμυρών (Diakakis, et. al., 2016). Στα Σχήματα 4 και 5 αποτυπώνεται ενδεικτικά η ένταση του φαινομένου, όπως δημοσιεύτηκε στον ημερήσιο τύπο.

ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ - ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013



Σχήμα 3: Θέσεις ιδιοκτησιών όπου εκδηλώθηκαν πλημμυρικά φαινόμενα (επεισόδιο Φεβρουαρίου 2013).



Σχήμα 4: Η πλημμύρα της 22ης Φεβρουαρίου 2013. (Πηγή: meteo24news, 2020)



Σχήμα 5: Η πλημμύρα της 22ης Φεβρουαρίου 2013. (Πηγή: meteo24news, 2020)

Οκτώβριος 2014: Την Παρασκευή 24 Οκτωβρίου 2014, ένα βαθύ βαρομετρικό χαμηλό, το οποίο σχηματίστηκε πάνω από την Αδριατική Θάλασσα, μετακινήθηκε μέσω του Ιονίου πελάγους προς την Πελοπόννησο και στη συνέχεια την Αττική. Ταυτόχρονα με το πέρασμα του πάνω από την Αθήνα, το σύστημα ανέπτυξε μια σειρά από καταιγίδες. Μεγάλες ήταν οι καταστροφές που προκάλεσε η καταιγίδα, η οποία ξεκίνησε το μεσημέρι εκείνης της μέρας και συνεχίστηκε έως το βράδυ. Πολλές περιοχές μετατράπηκαν σε λίμνες, δρόμοι θύμιζαν σε πολλές περιπτώσεις χειμάρρους, ενώ

εκατοντάδες υπόγεια καταστημάτων και οικιών πλημμύρισαν. Δεν υπήρξαν θύματα, ενώ σε πολλές περιπτώσεις παρασύρθηκαν πεζοί, και οδηγοί εγκλωβίστηκαν στα αυτοκίνητά τους. Τα περισσότερα προβλήματα σημειώθηκαν στο Περιστερί, στο Ίλιον, το Μενίδι, το Καματερό, τη Νέα Φιλαδέλφεια, το Κερατσίνι, στον Πειραιά, το Αιγάλεω και τον Κορυδαλλό, όπου σε κάποιες περιπτώσεις τα νερά, εκτός από αυτοκίνητα, παρέσυραν και ανθρώπους. Οι λεωφόροι είχαν πλημμυρίσει με νερά, με συνέπεια πολλά αυτοκίνητα να ακινητοποιηθούν και οι οδηγοί τους να εγκλωβιστούν σε αυτά (Diakakis, et. al., 2017).

Στο Ίλιον, στις 22-24 Οκτωβρίου 2014, παρουσιάστηκαν έντονα πλημμυρικά φαινόμενα μόνο στα τμήματα όπου το ρέμα είχε σκεπαστεί, καθώς πριν την κάλυψή του τα όμβρια ύδατα της περιοχής εκατέρωθεν του ανοικτού ρέματος κατέληγαν με επιφανειακή ροή σε αυτό χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα πλημμύρας. Επιπλέον δεν είχαν γίνει τα έργα σύνδεσης των όμβριων υδάτων των γύρω δήμων με τον βασικό αγωγό από την Αττική οδό έως το Ίλιον (5 km). Στο Καματερό αντίθετα δεν σημειώθηκαν μεγάλες ζημιές (News.gr, 2014). Στα Σχήματα 6-8 παρουσιάζονται ενδεικτικές συνέπειες τις πλημμύρας και στον χάρτη του Σχήματος 9, η κατανομή των αστικών συμβάντων.



Σχήμα 6: Σημείο υποχώρησης του οδοστρώματος στο σημείο όπου γίνονται εργασίες στο ρέμα της Εσχατιάς στο Καματερό. Πηγή: (Espresso, 2017)

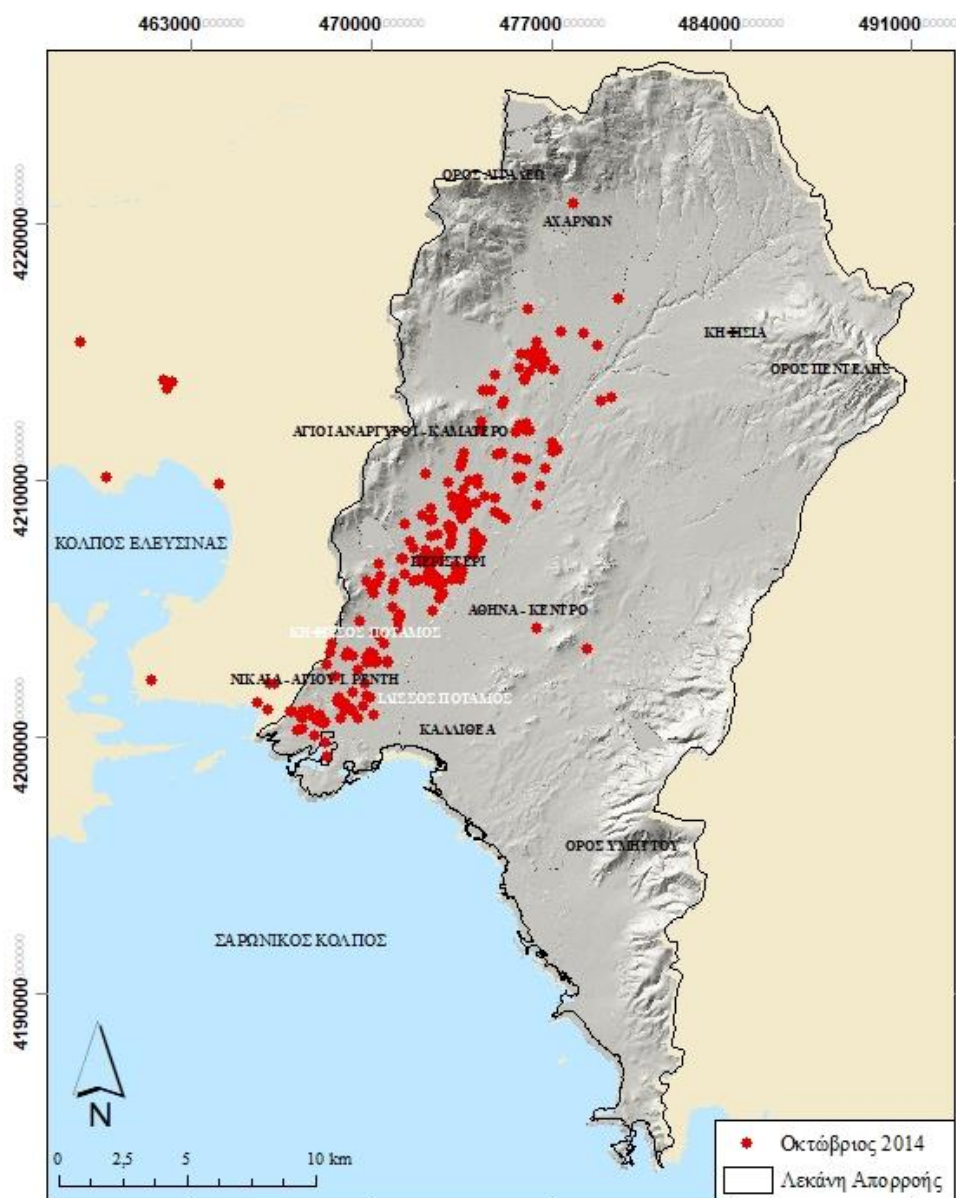


Σχήμα 7: Εικόνες καταστροφής από την κακοκαιρία στην Δυτική Αττική (Πηγή: Naftemporiki, 2014).



Σχήμα 8: Εικόνες καταστροφής από την κακοκαιρία στην Δυτική Αττική (Πηγή: Naftemporiki, 2014).

ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014



Σχήμα 9: Θέσεις ιδιοκτησιών όπου εκδηλώθηκαν πλημμυρικά φαινόμενα (επεισόδιο Οκτωβρίου 2014).

Οκτώβριος 2015: Στις 22 Οκτωβρίου 2015, η Αθήνα επηρεάστηκε από μία καταγίδα δύο φάσεων. Η πρώτη ήταν μια νυχτερινή καταγίδα και κράτησε πάνω από τρεις ώρες. Το δεύτερο κύμα ξεκίνησε το πρωί μέχρι νωρίς το απόγευμα και προκάλεσε σοβαρά προβλήματα. Το τελευταίο προηγούμενο συμβάν βροχόπτωσης που καταγράφηκε στην περιοχή ήταν στις 11 Οκτωβρίου, επομένως το έδαφος ήταν ξηρό για περισσότερο από 10 ημέρες. Η καταγίδα προκάλεσε εκτεταμένα περιστατικά πλημμύρας, ιδίως στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής των προαστίων της Αθήνας, όπου σημειώθηκαν

θάνατοι από πλημμύρες και πραγματοποιήθηκαν πάνω από 1300 επιχειρήσεις από την Πυροσβεστική Υπηρεσία. Η πλημμύρα άφησε πίσω της τεράστιες καταστροφές με τρείς νεκρούς (Diakakis et. al., 2017).

Στην πλημμύρα μεταξύ 22-24 Οκτωβρίου 2015 οι υλικές ζημιές έφτασαν το 1.000.000€. Έπειτα από καταγραφή σημειώθηκαν συνολικά καταστροφές σε 580 ακίνητα και 168 οχήματα σε 25 δήμους σε όλη την Αττική (Newsbomb, 2014). Στις 24-10-2015, η Αυτοτελής Δ/νση Πολιτικής Προστασίας της Περιφέρειας Αττικής κήρυξε σε «κατάσταση Έκτακτης Ανάγκης Πολιτικής Προστασίας» τους Δήμους α) Αχαρνών, β) Αγίων Αναργύρων – Καματερού και γ) Χαϊδαρίου, αντίστοιχα, προκειμένου να «αντιμετωπιστεί η υπάρχουσα δυσμενής κατάσταση, λόγω των ακραίων καιρικών φαινομένων που έπληξαν την περιοχή την 22-10- 2015», η οποία ίσχυσε έως τις 22-01-2016. Στα Σχήματα 10 και 11 αποτυπώνεται ενδεικτικά το φαινόμενο κατά θέσεις και στον χάρτη του Σχήματος 12, η κατανομή των αστικών συμβάντων.

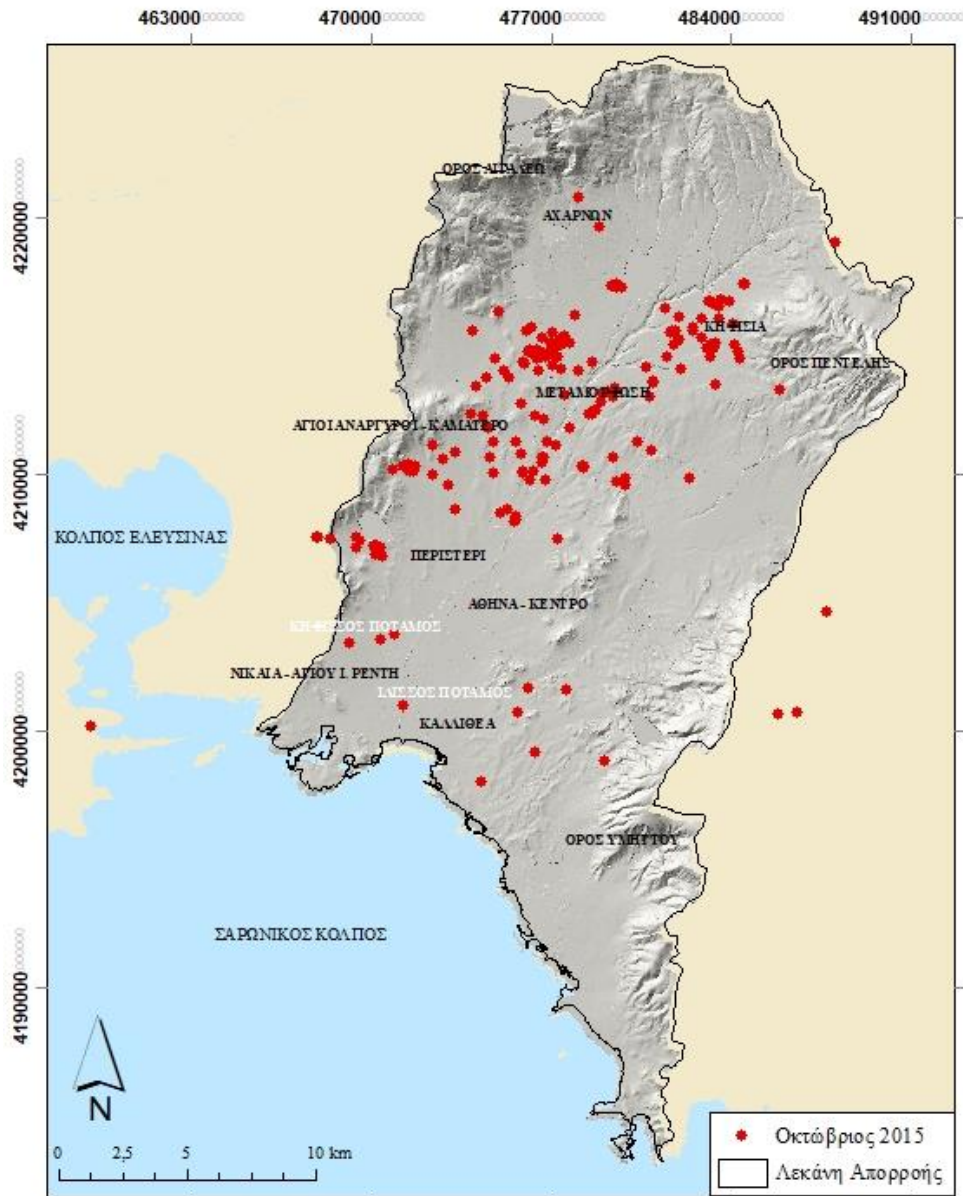


*Σχήμα 10: Ένας νεκρός και μία αγνοούμενη από τις πλημμύρες στη Δυτική Αθήνα.
(Πηγή: Naftemporiki, 2014)*



*Σχήμα 11: Ένας νεκρός και μία αγνοούμενη από τις πλημμύρες στη Δυτική Αθήνα.
(Πηγή: Naftemporiki, 2014)*

ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015



Σχήμα 12: Θέσεις ιδιοκτησιών όπου εκδηλώθηκαν πλημμυρικά φαινόμενα (επεισόδιο Οκτωβρίου 2015).

3 Δεδομένα και Μεθοδολογία

3.1 Γενική επισκόπηση

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιείται ανάλυση των παραγόντων που ελέγχουν την χωρική κατανομή των πλημμυρών στο αστικό περιβάλλον με εφαρμογή σε τμήμα της Αττικής και για τρία πλημμυρικά επεισόδια. Επομένως, είναι σημαντική η περιγραφή των 12 παραγόντων στο πλαίσιο παρουσίασης της προσέγγισης για την διερεύνηση της επίδρασης αυτών, εξετάζοντας τη δική τους πιθανή στατιστική συσχέτιση με την εμφάνιση πλημμυρών.

Οι παράγοντες που επιλέχθηκαν και αναλύθηκαν για την περιοχή της Δυτικής Αθήνας αναπαραστάθηκαν μέσω αρχείων raster στο GIS. Κάθε ένας από τους παράγοντες που παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια αποτελεί και μια ανεξάρτητη παράμετρο, ενώ κατά την ανάλυση παλινδρόμησης εξετάζεται τόσο ένα σενάριο με συνυπολογισμό του συνόλου των παραγόντων, όσο και επιμέρους συνδυασμοί έξι έως επτά εξ αυτών, όπως επιλέχθηκαν με βάση τις συσχετίσεις με τις εξαρτημένες παραμέτρους.

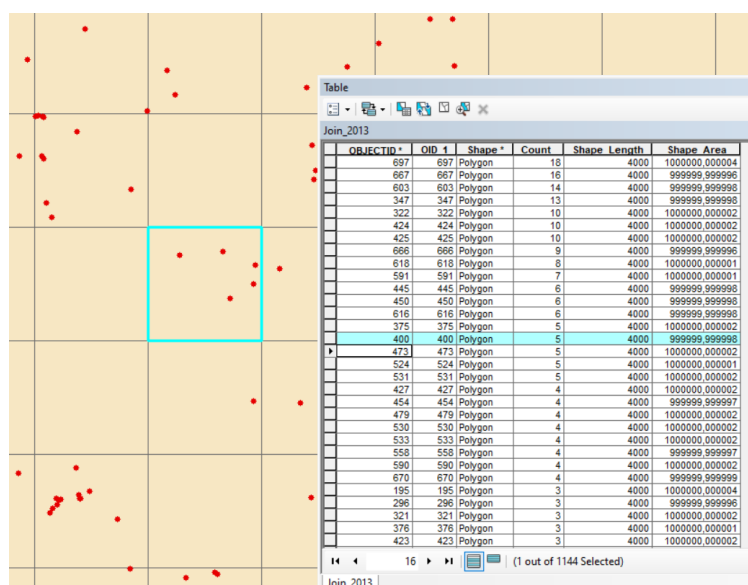
Αναφορικά με τις εξαρτημένες παραμέτρους που επίσης αναλύονται στη συνέχεια, αυτές είναι δύο στον αριθμό και εκφράζουν δύο συνθήκες: (α) την εμφάνιση ή όχι τουλάχιστον ενός αστικού συμβάντος πλημμύρας εντός φατνίου ανάλυσης, δηλαδή με τιμή μηδέν ή ένα (προσέγγιση binary) και (β) τον αριθμό των συμβάντων, δηλαδή μια τιμή μεγαλύτερη ή ίση του μηδενός (προσέγγιση linear regression).

Για τη σωστή αναπαράσταση των τριών πλημμυρικών επεισοδίων για τα έτη 2013, 2014 και 2015, η περιοχή διαιρέθηκε σε πλέγματα με τη βοήθεια του εργαλείου Fishnet του ArcGIS. Στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν μεγέθη κελιών 1000x1000m και 200x200m για τη διερεύνηση και σύγκριση δύο διαφορετικών μοντέλων.

Η δημιουργία των παραπάνω εξαρτημένων μεταβλητών στο GIS βασίζεται σε ένα αρχείο που προέκυψε από τη γεωκωδικοποίηση των κλήσεων έκτακτης ανάγκης που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των γεγονότων πλημμύρας κατά τα έτη 2013, 2014 και 2015, στοιχεία που αντλήθηκαν από την Πυροσβεστική Υπηρεσία. Κατόπιν της απαραίτητης επεξεργασίας, οι θέσεις εισήχθησαν στο GIS αντιπροσωπεύοντας τις πραγματικές πλημμυρισμένες τοποθεσίες ως σημεία (Σχήμα 13) και έπειτα

υπολογίστηκαν οι δύο εξαρτημένες μεταβλητές για τα πλέγματα διαφορετικής ανάλυσης ξεχωριστά. Έτσι, σε κάθε κελί αποδόθηκε μία τιμή που περιγράφει δύο διαφορετικές συνθήκες:

- εάν υπάρχουν πλημμυρισμένες θέσεις εντός ή εκτός του κελιού παίρνοντας την τιμή 1 ή 0, αντίστοιχα, και
- η τιμή των πλημμυρισμένων θέσεων που υπάρχουν σε κάθε κελί (τιμή μεγαλύτερη ή ίση του μηδενός).



Σχήμα 13: Πλημμυρισμένες θέσεις εντός ενός κελιού.

Αυτές οι δύο τιμές χρησιμοποιούνται ως ουσιαστικά ως δείκτες για την αστική πλημμύρα, καθώς αντιπροσωπεύουν ουσιαστικά τη χωρική κατανομή στην περιοχή μελέτης με βάση τον κάναβο.

Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας χωρικής ανάλυσης, σε κάθε κελί και στις δύο περιπτώσεις των δύο πλεγμάτων εκχωρείται μια τιμή για κάθε ένα από τους 12 παράγοντες που δύνανται να συνδέονται με τις δύο παραπάνω παραμέτρους. Αυτή η τιμή σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (π.χ., Diakakis et al, 2016) προσδιορίζεται από τον μέσο όρο των φατνίων του αρχικού αρχείου raster κάθε παράγοντα, που εμπίπτουν σε κάθε κελί του πλέγματος ανάλυσης.

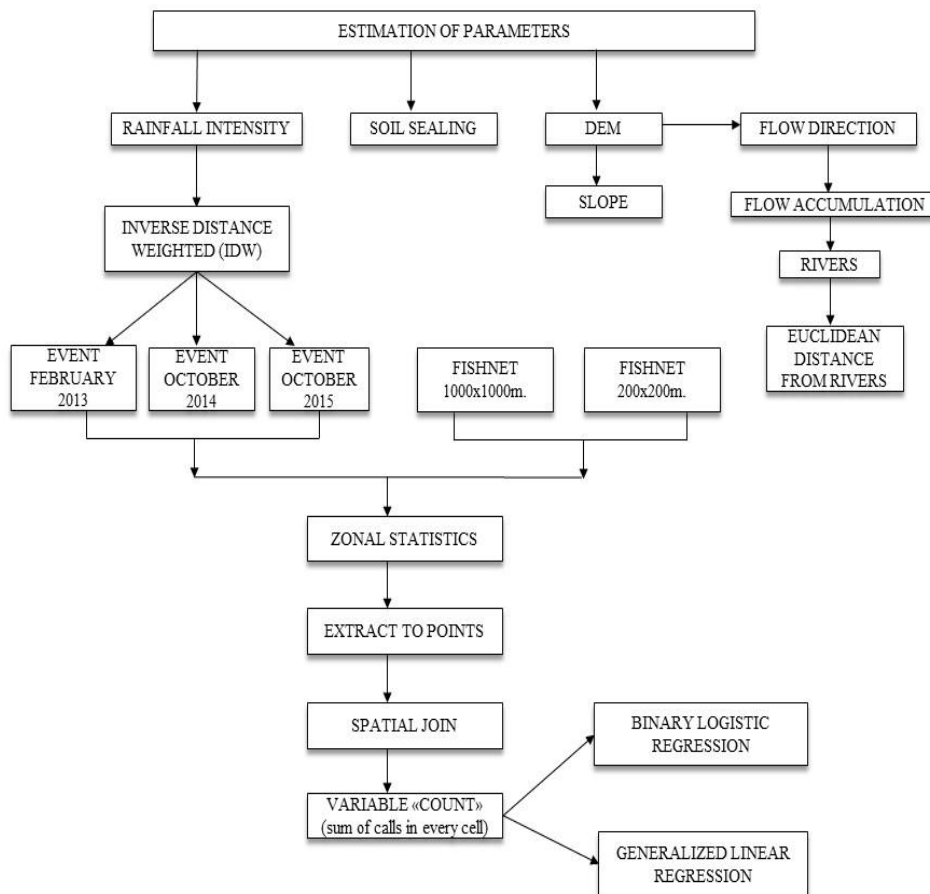
Προκειμένου να μελετηθεί η πιθανή επίδραση της κάθε παραμέτρου, θεωρήθηκε ότι η υψηλότερη στατιστική συσχέτιση μεταξύ της κατανομής της πλημμύρας και της τιμής ενός παράγοντα, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση (θετική ή αρνητική) στην εμφάνιση πλημμυρών.

Η στατιστική συσχέτιση μεταξύ αυτών των 12 παραγόντων και του ενδεχομένου εμφάνισης πλημμυρών μπορεί να διερευνηθεί χρησιμοποιώντας μια δυαδική λογιστική παλινδρόμηση, έχοντας ως ανεξάρτητες μεταβλητές τους 12 παράγοντες και ως εξαρτώμενη μεταβλητή με τιμή '1' ή '0', που δηλώνει εάν πλημμυρισμένες θέσεις βρίσκονται ή όχι εντός του φατνίου (ναι=1, όχι=0). Αυτή η παράμετρος χρησιμοποιείται ως δείκτης της χωρικής κατανομής της πλημμύρας.

Ακόμη, εφαρμόστηκε και ένα μοντέλο γενικευμένης γραμμικής παλινδρόμησης, λαμβάνοντας ως δεδομένα επίσης τους 12 παράγοντες που επηρεάζουν δυνητικά την εμφάνιση πλημμύρας, ως ανεξάρτητες μεταβλητές, και τον αριθμό των πλημμυρισμένων τοποθεσιών σε ένα κελί ως εξαρτημένη μεταβλητή. Αυτή η παράμετρος χρησιμοποιείται ως δείκτης της έντασης της πλημμύρας.

Τέλος, πέραν της ανάλυσης παλινδρόμησης για το σύνολο της περιοχής μελέτης, για να εξεταστεί επιπλέον η πιθανή επίδραση ορισμένων χαρακτηριστικών των κτιρίων στην εκδήλωση αστικών συμβάντων πλημμύρας, αξιοποιήθηκαν οι δυνατότητες του Google Street View (GSV) και προσδιορίστηκαν τα χαρακτηριστικά για κάθε περιστατικό ξεχωριστά. Για το εν λόγω στοιχείο, παρουσιάζονται διαγράμματα συχνότητας. Ωστόσο, στο πλαίσιο μελλοντικής έρευνας, μπορεί να δημιουργηθεί ένα δεύτερο σύνολο δεδομένων με θέσεις ιδιοκτησιών στις οποίες δεν κατεγράφη πλημμύρα, και αφού αποτυπωθούν τα χαρακτηριστικά τους, δύναται η εφαρμογή ενός τρίτου τεστ Δυαδικής Λογιστικής Παλινδρόμησης (binary logistic regression, BLR) που πραγματοποιείται συνυπολογίζοντας χαρακτηριστικά πλημμυρισμένων και όχι κτιρίων και όχι σε επίπεδο πλέγματος. Σε αυτή την περίπτωση η εφαρμογή της BLR γίνεται θεωρώντας τους 12 παράγοντες ως ανεξάρτητες μεταβλητές και ως εξαρτημένη μεταβλητή το γεγονός εάν ένα κτίριο πλημμύρισε λόγω ισχυρής βροχόπτωσης ή όχι (ναι=1, όχι=0).

Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα ροής με κωδικοποιημένα τα βήματα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε.



Σχήμα 14: Διάγραμμα ροής εργασιών εντός ΣΓΠ για την δημιουργία του πίνακα με τις μεταβλητές που θα εισαχθούν στο SPSS.

Αρχικά προσδιορίστηκαν οι παράγοντες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης. Στη συνέχεια έγινε επεξεργασία δεδομένων που εισάγονται ως παράγοντες απευθείας, όπως η αδιαπερατότητα του εδάφους (soil sealing) και το υψόμετρο (DEM), και μέσω του τελευταίου παρήχθησαν και εκείνοι που σχετίζονται με τη μορφολογία. Παράλληλα, δημιουργούνται τα δύο πλέγματα ανάλυσης και υπολογίζονται οι δύο εξαρτημένες μεταβλητές με τη βοήθεια του σημειακού αρχείου αστικών συμβάντων πλημμύρας. Κατόπιν για κάθε παράγοντα (βλ. ανεξάρτητες μεταβλητές) προσδιορίζεται η μέση τιμή του σε επίπεδο φατνίου ανάλυσης (κάναβος fishnet, για 200 και 1000 m). Γίνεται τέλος σύνδεση των παραπάνω παραγόντων στο χώρο και εξαγωγή του συγκεντρωτικού πίνακα για την εφαρμογή των δύο μοντέλων παλινδρόμησης.

3.2 Περιγραφή και ανάλυση δεδομένων

3.2.1 Γεωχωρικά δεδομένα

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, συλλέχθηκαν, αναλύθηκαν και υποβλήθηκαν σε επεξεργασία διάφορα γεωγραφικά δεδομένα. Όλες οι οντότητες έχουν αποθηκευτεί σε κατάλληλα σχεδιασμένη γεωβάση, συμπεριλαμβανομένης μιας σειράς χαρακτηριστικών και περαιτέρω ποιοτικών και ποσοτικών πληροφοριών, καθώς και των αντίστοιχων μεταδεδομένων. Τα δεδομένα αυτά εξυπηρετούν διάφορα στάδια της εργασίας, όπως: (i) τη διερεύνηση διάφορων στατικών παραγόντων, κυρίως γεωμορφολογικών (π.χ. κλίσεων εδάφους), οι οποίοι συνδέονται με την εμφάνιση πλημμυρών, (ii) την εκτίμηση του βαθμού ευπάθειας σε πλημμύρα για την περιοχή της Αττικής, με χρήση συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) και (iii) την απεικόνιση πολλών αποτελεσμάτων που παρέχονται χωρικά καταναμημένα. Ένα από τα βασικά σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιούνται για πολλαπλούς σκοπούς είναι το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) 5m, το οποίο παραχωρήθηκε στο πλαίσιο εκπόνησης της παρούσας εργασίας από την εταιρία «Κτηματολόγιο Α.Ε.» (Copyright © 2012, National Agency for Cadastre & Mapping S.A.).

Ακόμη, λαμβάνεται υπόψη η πληροφορία ενός θεματικού επιπέδου υψηλής χωρικής ανάλυσης (HRL) με το ποσοστό της αδιαπερατότητας του εδάφους (HRL-Imp., 2012). Άλλα γεωγραφικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη έρευνα παρέχονται από το geodata.gov.gr. Ορισμένα ενδεικτικά στοιχεία είναι τα αρχεία: i) των ορίων των δήμων, ii) των ορίων των διοικητικών περιφερειών που χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρα για την χαρτοσύνθεση.

Τέλος, στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας δημιουργήθηκε και μια σειρά γεωγραφικών δεδομένων. Μερικά ενδεικτικά δεδομένα είναι: αρχεία παράγωγα του DEM, όπως η κλίση του εδάφους σε μοίρες και επί τοις εκατό, η λεκάνη απορροής, η ευκλείδεια απόσταση από τις διαδρομές νερού, το σημειακό αρχείο με τις θέσεις των βροχομετρικών σταθμών και το αρχείο που προέκυψε από τη γεωκωδικοποίηση των κλίσεων έκτακτης ανάγκης που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των τριών γεγονότων πλημμύρας από την Πυροσβεστική Υπηρεσία.

Το αρχείο που περιλαμβάνει τις κλήσεις έκτακτης ανάγκης πρόκειται για ένα σύνολο δεδομένων που περιλαμβάνει τις κλήσεις προς την Πυροσβεστική Υπηρεσία που έκαναν οι ιδιοκτήτες ακινήτων κατά τη διάρκεια των γεγονότων πλημμύρας, και

αποτελεί έναν τρόπο να προσδιοριστεί ποσοτικά ο αντίκτυπος των πλημμυρών, ιδίως εντός αστικού ιστού. Αυτά τα δεδομένα είναι ένας τύπος «παραδεδομένων» που αντιστοιχεί ουσιαστικά σε συναγερμό που εκδίδουν οι ιδιοκτήτες ακινήτων στις Εθνικές Πυροσβεστικές Υπηρεσίες ή σε άλλες αρμόδιες υπηρεσίες για παρέμβαση (κυρίως άντληση νερού) εξαιτίας των πλημμυρών που προκαλούνται από έντονες βροχοπτώσεις. Σύμφωνα με τους (Feroni et al., 2018), τα στοιχεία αυτά φαίνεται να είναι μια ρεαλιστική προσέγγιση ως ποσοτική απόδειξη για γεγονότα πλημμύρας, καθώς και για τον αντίστοιχο προσδιορισμό των επιπτώσεων λόγω του γεγονότος ότι περιλαμβάνουν τον ακριβή χρόνο και την ταχυδρομική διεύθυνση κάθε κλήσης. Η γεωκωδικοποίηση ολόκληρης της βάσης των κλήσεων των πολιτών επιτρέπει τη συνδυασμένη ανάλυση της χωρικής και χρονικής κατανομής των περιστατικών, κάτι που μπορεί να συμβάλει και τον σχεδιασμό ενός εργαλείου έγκαιρης προειδοποίησης για την περιοχή (Feroni, 2019).

3.2.2 Δεδομένα βροχόπτωσης

Καθώς η βροχόπτωση είναι ένας από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες κατά τη μελέτη των φαινομένων των πλημμυρών και καθώς οι πλημμύρες προκαλούνται κυρίως από ισχυρές βροχοπτώσεις, ένα πυκνό δίκτυο μετρητών βροχόπτωσης έχει μεγάλη σημασία για τον ακριβή προσδιορισμό παραμέτρων, όπως η αθροιστική βροχόπτωση, η μέγιστη ένταση βροχής για διάφορες διάρκειες και οι προηγούμενες συνθήκες υγρασίας. Υπό αυτό το πρίσμα, έγινε συλλογή, επεξεργασία και ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων 10λεπτης, 20λεπτης, 30λεπτης, 60λεπτης, 120λεπτης, 180λεπτης βροχόπτωσης από 18 σταθμούς, προκειμένου να εκτιμηθεί καλύτερα μια σειρά μεταβλητών. Αυτοί οι σταθμοί ανήκουν στα δίκτυα NOANN (Lagouvardos et al., 2017) και METEONET (Grammatikogiannis et al., 2005) και οι χρονοσειρές που αξιοποιήθηκαν αποτελούν επεξεργασμένα στοιχεία στο πλαίσιο προηγούμενης ανάλυσης (βλ. Feroni (2019)). Οι συντεταγμένες των σταθμών περιλαμβάνονται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Σταθμοί δικτύου NOANN και METEONET.

A/A	Όνομα Σταθμού	X	Y
1	Αμπελόκηποι	478631,09	4203530,13
2	Πάρνηθα	475188,53	4223648,00
3	Αθήνα	474860,82	4203169,98
4	Εκάλη	484311,42	4215491,17
5	Νέα Σμύρνη	474804,77	4200123,04
6	Πατήσια	476133,97	4207997,67
7	Περιστερί	473844,70	4205768,02
8	Φάληρο	472874,58	4197735,36
9	Μαρούσι	483450,06	4211275,92
10	Ψυχικό	480592,96	4207502,95
11	Μενίδι	475926,10	4216968,01
12	Άγιος Κοσμάς	475083,62	4193648,10
13	Ηλιούπολη	478688,99	4196224,58
14	Γαλάτσι	478415,04	4208515,96
15	Πεντέλη	487663,81	4214862,43
16	Άνω Λιόσια	470818,79	4213630,63
17	Γλυφάδα	480097,67	4194519,49
18	Ζωγράφου	480344,59	4203018,48

3.2.3 Χαρακτηριστικά κατασκευών

Για την επιθεώρηση των κτηρίων και των εντοπισμό συγκεκριμένων χαρακτηριστικών σε αυτά χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες του Google Street View, αξιοποιώντας τη διεύθυνση του κτηρίου που έκανε κλήση στην Πυροσβεστική Υπηρεσία. Με αυτή τη μέθοδο εξετάστηκε η ύπαρξη των κατώτερων ανοιγμάτων σε κάθε κατασκευή όπως για παράδειγμα πόρτες, παράθυρα, πόρτες γκαράζ ή γενικά παράγοντες που επιτρέπουν στο νερό να εισέλθει στο εσωτερικό της κατασκευής. Ακόμη ένας παράγοντας που καταγράφηκε, είναι το υλικό (material) των ανοιγμάτων/ εισόδων (π.χ. γυαλί/glass, μέταλλο/metal, ξύλο/wood). Επιπλέον, λήφθηκε υπόψιν το επίπεδο του κατώτερου ανοίγματος (lower opening) σε σχέση με το περιβάλλοντα επίπεδο του εδάφους, καθώς αυτό επηρεάζει άμεσα την ευαισθησία ενός κτιρίου προς πλημμύρα. Από τις εικόνες του Google Street View, παρατηρήθηκε και το εξωτερικό περιβάλλον, ώστε να καταγραφεί εάν ο δρόμος (type of road) που έχει πρόσωπο το ακίνητο είναι ασφαλτόδρομος (asphalt) ή χωματόδρομος (dirt) καθώς και αν υπάρχει πεζοδρόμιο στην είσοδο του κτηρίου (existence of pavement). Τέλος, για λόγους στατιστικής ανάλυσης, σημειώθηκε και η κατάσταση του κτηρίου (σύγχρονη/modern, πτωχή/poor,

ημιτελής/incomplete) και η ύπαρξη κήπου (garden) σε αυτό. Έτσι, για κάθε περιστατικό καταγράφηκαν οι παραπάνω πληροφορίες δημιουργώντας μια βάση με τα πεδία του Πίνακα 3.

Πίνακας 3: Ενδεικτικός πίνακας καταγραφής χαρακτηριστικών των κτηρίων.

A/A	phi	lamda	Lower opening	Material	General condition of the structure	Garden	Existence of pavement	Type of road
1	XXX	XXX	ground - floor	metal	modern	no	yes	asphalt
2	XXX	XXX	ground - floor	glass	modern	no	yes	asphalt

3.3 Πλαίσιο στατιστικής ανάλυσης

Η προτεινόμενη προσέγγιση διερευνά την επίδραση των 12 παραγόντων (Πίνακας 4) στις πλημμύρες που συμβαίνουν στην περιοχή μελέτης, εξετάζοντας την πιθανή στατιστική συσχέτισή τους με την εμφάνιση πλημμυρών. Οι παράγοντες αυτοί επιλέγονται με βάση τη σχετική βιβλιογραφία και που αναφέρονται ως οι παράμετροι που επηρεάζουν τις διαδικασίες πλημμύρας σε μια αστική περιοχή.

Για την αντικειμενική αναπαράσταση της χωρικής κατανομής των πλημμυρών, η περιοχή μελέτης μπορεί να διαιρεθεί με τη χρήση πλεγμάτων προσαρμοσμένου μεγέθους κελιών. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε πλέγμα (fishnet) 200m x 200m και 1000m x 1000m μεγέθους κελιών για δύο διαφορετικές δοκιμές. Με την αναπαράσταση των πραγματικών πλημμυρισμένων θέσεων ως σημείων στο GIS και στη συνέχεια την επικάλυψή τους σε αυτά τα πλέγματα, κάθε κελί λαμβάνει δύο τιμές, που περιγράφουν:

- I. Εάν υπάρχουν ή όχι πλημμυρισμένες θέσεις εντός του κελιού (ναι=1, όχι=0).
- II. Τον αριθμό των πλημμυρισμένων θέσεων (σημείων) σε κάθε κελί (0, 1,...,n).

Οι δύο αυτές τιμές χρησιμοποιούνται ως δείκτες πλημμύρας στο χώρο, αντιπροσωπεύοντας στην ουσία τη χωρική κατανομή των πλημμυρών στην περιοχή μελέτης, με βάση ένα πλέγμα. Σε κάθε κελί των δύο διαφορετικών πλεγμάτων αποδίδεται επίσης μια τιμή για κάθε έναν από τους 12 παράγοντες επιρροής. Η τιμή

αυτή δίνεται με τον μέσο όρο των αντίστοιχων φατνίων του κάθε raster αρχείου που εμπίπτουν σε κάθε (μεγαλύτερο) φατνίο του πλέγματος. Προκειμένου να μελετηθεί η πιθανή επιρροή κάθε παραμέτρου, θεωρήθηκε ότι όσο υψηλότερη είναι η στατιστική συσχέτιση μεταξύ της κατανομής των πλημμυρών και της τιμής ενός παράγοντα, τόσο μεγαλύτερη είναι η επιρροή (θετική ή αρνητική) που ασκεί στην εμφάνιση πλημμυρών.

Συνολικά σαν 12 παράγοντες που αναφέρονται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων στις παλινδρομήσεις και όχι μόνο είναι οι παρακάτω:

1. Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους.
2. Η κλίση του Εδάφους.
3. Το Ποτάμια – Ρέματα.
4. Η Ευκλείδεια απόσταση από τα Ποτάμια – Ρέματα.
5. Η συσσώρευση ροής.
6. Η αδιαπερατότητα του Εδάφους.
7. Η ένταση της βροχόπτωσης για 10/20/30 λεπτά, 1/2/3 ώρες για το επεισόδιο του 2013.
8. Η ένταση της βροχόπτωσης για 10/20/30 λεπτά, 1/2/3 ώρες για το επεισόδιο του 2014.
9. Η ένταση της βροχόπτωσης για 10/20/30 λεπτά, 1/2/3 ώρες για το επεισόδιο του 2015.
10. Το συνολικό ύψος βροχής για το επεισόδιο του 2013.
11. Το συνολικό ύψος βροχής για το επεισόδιο του 2014.
12. Το συνολικό ύψος βροχής για το επεισόδιο του 2015.

Πίνακας 4: Ομάδες αρχικών δεδομένων και παράγωγα αρχεία για τους παράγοντες.

ΟΜΑΔΕΣ	ΣΥΝΟΛΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΠΗΓΕΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ
Παράγοντες που σχετίζονται με τη γεωμορφολογία του εδάφους	Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM)	National Agency for Cadastre & Mapping S.A. (5m. resolution)
	Κλίση (SLOPE)	Προκύπτει από ψηφιακό μοντέλο εδάφους
	Απόσταση από ποτάμια (Distance to rivers)	Προκύπτει από ψηφιακό μοντέλο εδάφους
	Αδιαπερατότητα του εδάφους (degree of soil sealing with artificial surfaces)	High resolution layers – Copernicus land monitoring service (2012)
	Κάναβος συγκέντρωσης ροής (Συσσωρευμένη ροή, Flow accumulation)	Σύνολο δεδομένων Raster που προέρχονται από ανάλυση στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους σε περιβάλλον GIS
Μετεωρολογικοί παράγοντες	Εντάσεις βροχόπτωσης διαφορετικής διάρκειας (rain intensity) και συνολική βροχόπτωση επεισοδίου	Επεξεργασμένες χρονοσειρές από σταθμούς εντός της περιοχής που ανήκουν στα δίκτυα NOANN / METEONET
Παράγοντες που σχετίζονται με την κατασκευή των κτηρίων	Θέση του κατώτερου «ανοίγματος» στα κτήρια κ.λπ. (ανάλυση εκτός ΣΓΠ)	Με βάση εικόνες που έχουν ληφθεί μέσω του εργαλείου Google Street View

Σύμφωνα με την ανάλυση των Diakakis et al. (2016), η στατιστική συσχέτιση μεταξύ αυτών των 12 παραγόντων και της εμφάνισης πλημμυρών μπορεί να διερευνηθεί χρησιμοποιώντας:

Μια **Binary logistic regression (BLR)** ανάλυση, με παραμέτρους:

- I. Τους 12 παράγοντες επιρροής ως ανεξάρτητες μεταβλητές
- II. Την τιμή του εάν υπάρχουν ή όχι πλημμυρισμένες θέσεις εντός ενός κελιού (ναι=1, όχι=0) ως εξαρτημένη μεταβλητή. Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται ως δείκτης υποκατάστασης της χωρικής κατανομής της πλημμύρας.

Όταν θέλουμε να δούμε μια σχέση εξάρτησης, μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και ένα σύνολο εξηγηματικών μεταβλητών (μία ή περισσότερες), μπορούμε να

χρησιμοποιήσουμε την εν λόγω λογιστική παλινδρόμηση (Binary logistic regression).

Στην περίπτωση της Binary logistic regression, η εξαρτημένη μεταβλητή συνδέεται με τις ανεξάρτητες μεταβλητές μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

$$Y = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n, \text{ όπου:}$$

Y: η εξαρτημένη μεταβλητή,

p: είναι η πιθανότητα εμφάνισης,

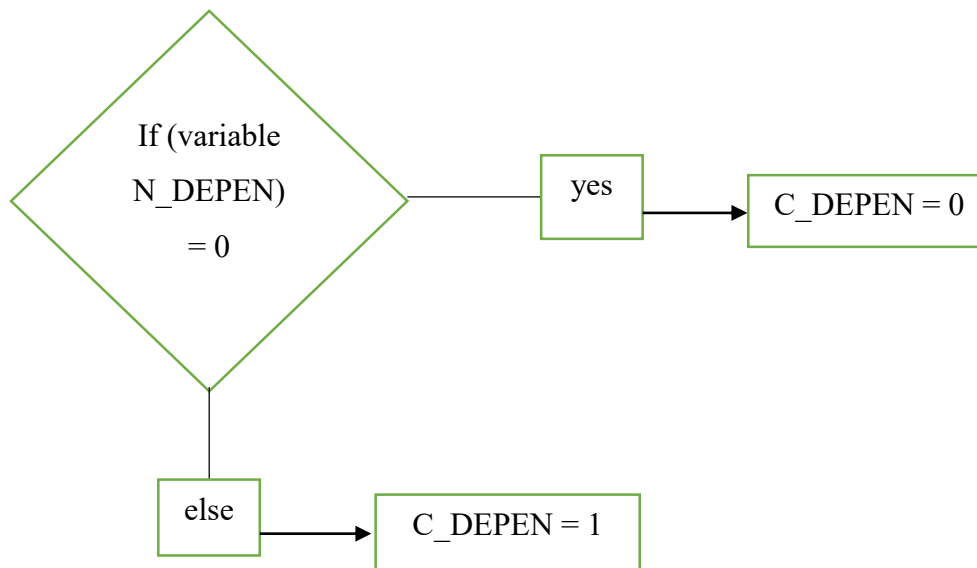
p/(1-p): αντιπροσωπεύει τις πιθανότητες (πιθανότητα εμφάνισης στο πιθανότητα μη εμφάνισης),

b₀: η σταθερά της εξίσωσης,

b₁, b₂, ..., b_n: οι συντελεστές παλινδρόμησης που υποδεικνύουν τη σχετική επίδραση μιας συγκεκριμένης ανεξάρτητης μεταβλητής (x₁, x₂, ...x_n) στο αποτέλεσμα.

Σε περίπτωση που ο παραπάνω συντελεστής b για έναν παράγοντα είναι θετικός, η λογαριθμική τιμή του θα είναι μεγαλύτερη από τη μονάδα, πράγμα που σημαίνει ότι η ανεξάρτητη μεταβλητή επηρεάζει θετικά (αυξάνει) την πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας σε ένα κελί. Εάν ο συντελεστής b είναι αρνητικός, η λογαριθμική τιμή του θα είναι μικρότερη από τη μονάδα, καθιστώντας την εμφάνιση πλημμύρας λιγότερο πιθανή (Ηλιοπούλου, 2015; Ρούσσος και Ευσταθίου, 2008).

Στη δική μας έρευνα η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η στήλη C_DEPEN, η οποία προέκυψε από την παρακάτω υπόθεση, έχοντας πρώτα υπολογίσει τον αριθμό των συμβάντων (N_DEPEN):εντός κάθε φατνίου ανάλυσης (Σχήμα 15).



Σχήμα 15: Διάγραμμα υλοποίησης εξαρτημένης μεταβλητής C.

Η σημαντικότερη διαφοροποίηση μεταξύ λογιστικής και γραμμικής παλινδρόμησης βασίζεται στη φύση της επιλεγμένης μεταβλητής απόκρισης, η οποία στην μεν πρώτη μπορεί να είναι κατηγορική (τακτική ή ονομαστική), στη δε δεύτερη αποκλειστικά ποσοτική. Η δίτιμη ή δυαδική ή διχοτομική (binary) ή διμερής εξαρτημένη μεταβλητή συνίσταται από δύο κατηγορίες, όπως π.χ. είναι οι εκβάσεις επιτυχία/αποτυχία, ΝΑΙ/ΟΧΙ, γεγονός παρόν/απόν (Πετρίδης, 2015).

Η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ μιας συνεχούς εξαρτώμενης μεταβλητής, όπως εισόδημα, αρτηριακή πίεση ή βαθμολογία εξέτασης. Σε πολλές περιπτώσεις η έρευνα επικεντρώνεται σε μοντέλα όπου η εξαρτημένη μεταβλητή είναι κατηγορηματική. Η εξαρτημένη μεταβλητή μπορεί να είναι τύπου «ναι» ή «όχι» (Tranmer and Elliot, 2008), ενώ στην περίπτωσή μας αξιοποιείται για τη δημιουργία μοντέλου για την μεταβλητή N_DEPEN.

Επομένως, εφαρμόζεται η **Generalized Linear Regression Model (GLM)** ανάλυση, με παραμέτρους:

- I. Τους 12 παράγοντες επιρροής ως ανεξάρτητες μεταβλητές.
- II. Τον αριθμό των πλημμυρισμένων θέσεων σε ένα κελί (N_DEPEN) ως εξαρτημένη μεταβλητή.

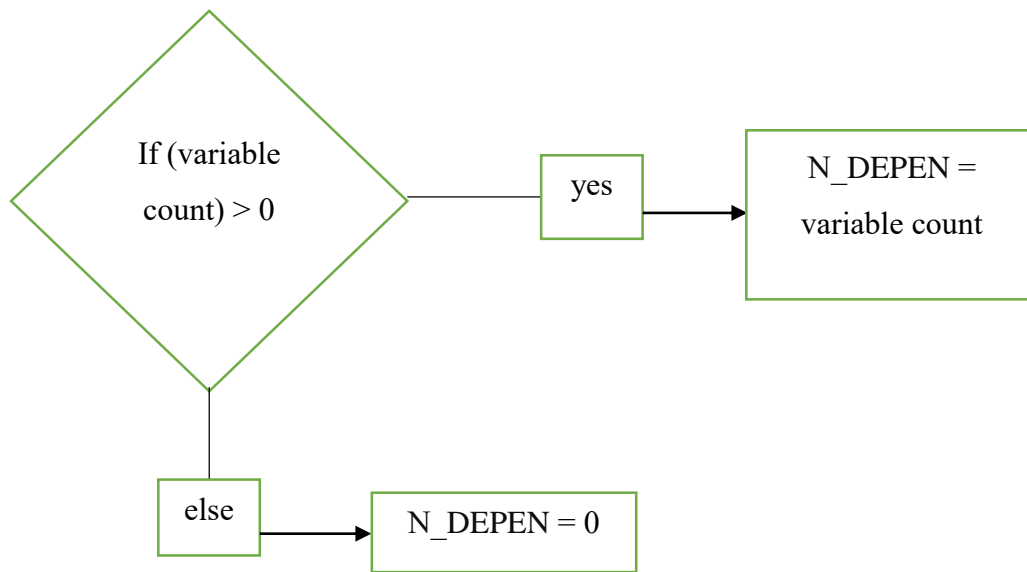
Το γενικευμένο γραμμικό μοντέλο (GLM) ανήκει στη δημοφιλή οικογένεια της στατιστικής ανάλυσης. Το μοντέλο GLM μπορεί να είναι χρήσιμο για την αξιολόγηση

της πρακτικής σημασίας των προγνωστικών και για σύγκριση, για παράδειγμα, μοντέλων με διαφορετικές λειτουργίες ζεύξης ή με διαφορετικούς γραμμικούς προγνωστικούς παράγοντες. Σε μια συνηθισμένη παλινδρόμηση για μια φυσιολογική απόκριση, η πολλαπλή συσχέτιση R και ο παράγοντας του προσδιορισμού R^2 (Goldberger, 1962). Τα Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα είναι μια φυσική γενίκευση των κλασικών γραμμικών μοντέλων τα οποία περιλαμβάνουν σαν ειδική περίπτωση την γραμμική παλινδρόμηση, την ανάλυση διασποράς, τα logit και probit μοντέλα, τα log-linear και τα πολυωνυμικά μοντέλα, καθώς και κάποια μοντέλα της Ανάλυσης Επιβίωσης. Αποδεικνύεται ότι αυτά τα μοντέλα μοιράζονται κάποιες κοινές ιδιότητες, ενώ έχουν κοινή μέθοδο εκτίμησης παραμέτρων. Αυτές οι κοινές ιδιότητες μας επιτρέπουν να μελετήσουμε μέσω των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων μια ευρεία ομάδα στατιστικών μοντέλων παρά το καθένα από αυτά ξεχωριστά. Η θεματολογία των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων, στο μεγαλύτερο μέρος της, δεν αποτελεί κάτι νέο στην στατιστική, αλλά ουσιαστικά ομαδοποιεί έννοιες και τεχνικές που προϋπάρχουν δημιουργώντας ένα ενοποιημένο θεωρητικό και εννοιολογικό πλαίσιο. Το 1972 οι McCullagh και Wedderburn παρουσίασαν μια ενοποιημένη θεωρία για γραμμικά μοντέλα που δεν απαιτεί την υπόθεση της κανονικότητας για τη μεταβλητή απόκρισης.

Στο Γραμμικό Μοντέλο μία σημαντική υπόθεση που ξέρουμε, είναι η κανονικότητα της μεταβλητής απόκρισης, δηλαδή να ακολουθεί την Κανονική κατανομή. Μια δημοφιλής πρακτική, πλέον, που χρησιμοποιείται ακόμα και σε περιπτώσεις που η υπόθεση της κανονικότητας δεν ισχύει ούτε προσεγγιστικά είναι η χρήση των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων (Generalized Linear Models, GLM) όταν οι μεταβλητές ακολουθούν κατανομές τύπου Poisson και Γάμμα. Έτσι, το Γενικευμένο γραμμικό μοντέλο αποτελείται από τρεις συνιστώσες:

- 1) Τη κατανομή που ακολουθεί η μεταβλητή απόκρισης Y .
- 2) Μία γραμμική παράμετρο πρόβλεψης που περιέχει τις μεταβλητές x_i
- 3) Τη συνάρτηση σύνδεσης η οποία ενώνει τη γραμμική παράμετρο πρόβλεψης με τη μέση τιμή της απόκρισης.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, στη δική μας έρευνα η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η στήλη N_DEPEN , η οποία προέκυψε από την παρακάτω υπόθεση:



Σχήμα 16: Διάγραμμα υλοποίησης εξαρτημένης μεταβλητής N.

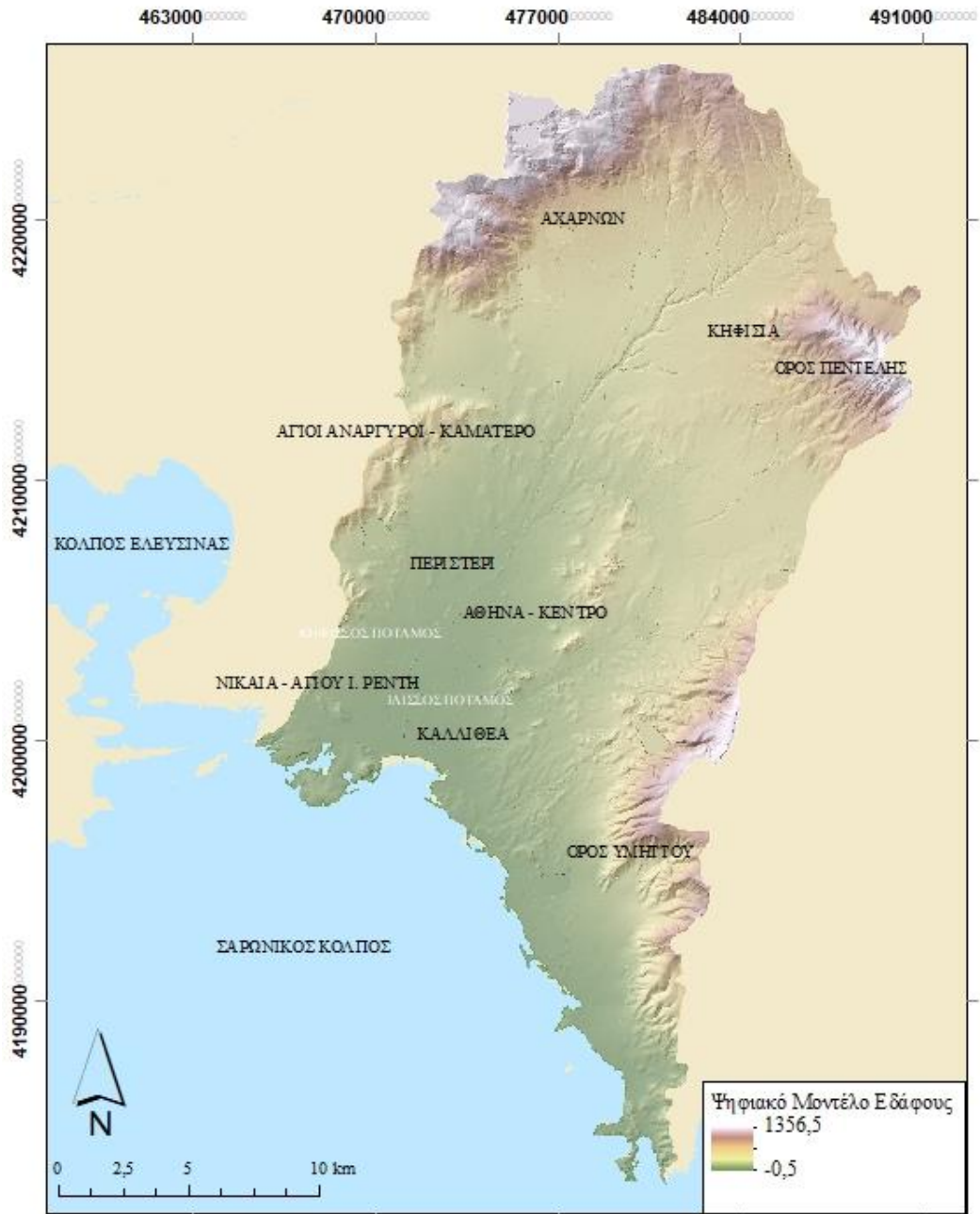
4 Αποτελέσματα και Συζήτηση

4.1 Ανάλυση σε περιβάλλον ΣΓΠ - Προσδιορισμός παραγόντων

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), της περιοχής αποτελεί το απαραίτητο αρχικό σύνολο δεδομένων για την προσέγγιση διαφόρων χαρακτηριστικών που αφορούν την τοπογραφία. Είναι δηλαδή μία ψηφιακή αναπαράσταση τμήματος της φυσικής γήινης επιφάνειας και καταγράφει υψόμετρα αυτής σε ένα τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς (X, Y, Z), το οποίο περιγράφει με ακρίβεια την πραγματική επιφάνεια του εδάφους (Χαλκιάς και Γκούσια, 2015). Το DEM που αξιοποιήθηκε απεικονίζεται στον χάρτη του Σχήματος 17. Όπως διακρίνεται, οι περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο είναι το όρος Υμηττού, το όρος του Αιγάλεω και το Πεντελικό όρος. Το μεγαλύτερο υψόμετρο που καταγράφεται είναι στα 1356.5 m. Στο ίδιο σχήμα οι περιοχές με χαμηλό υψόμετρο συμβολίζονται με πράσινο χρώμα και καθώς το υψόμετρο αυξάνει, η χρωματική παλέτα απεικόνισης συνεχίζει με χρώμα καφέ έως λευκό.

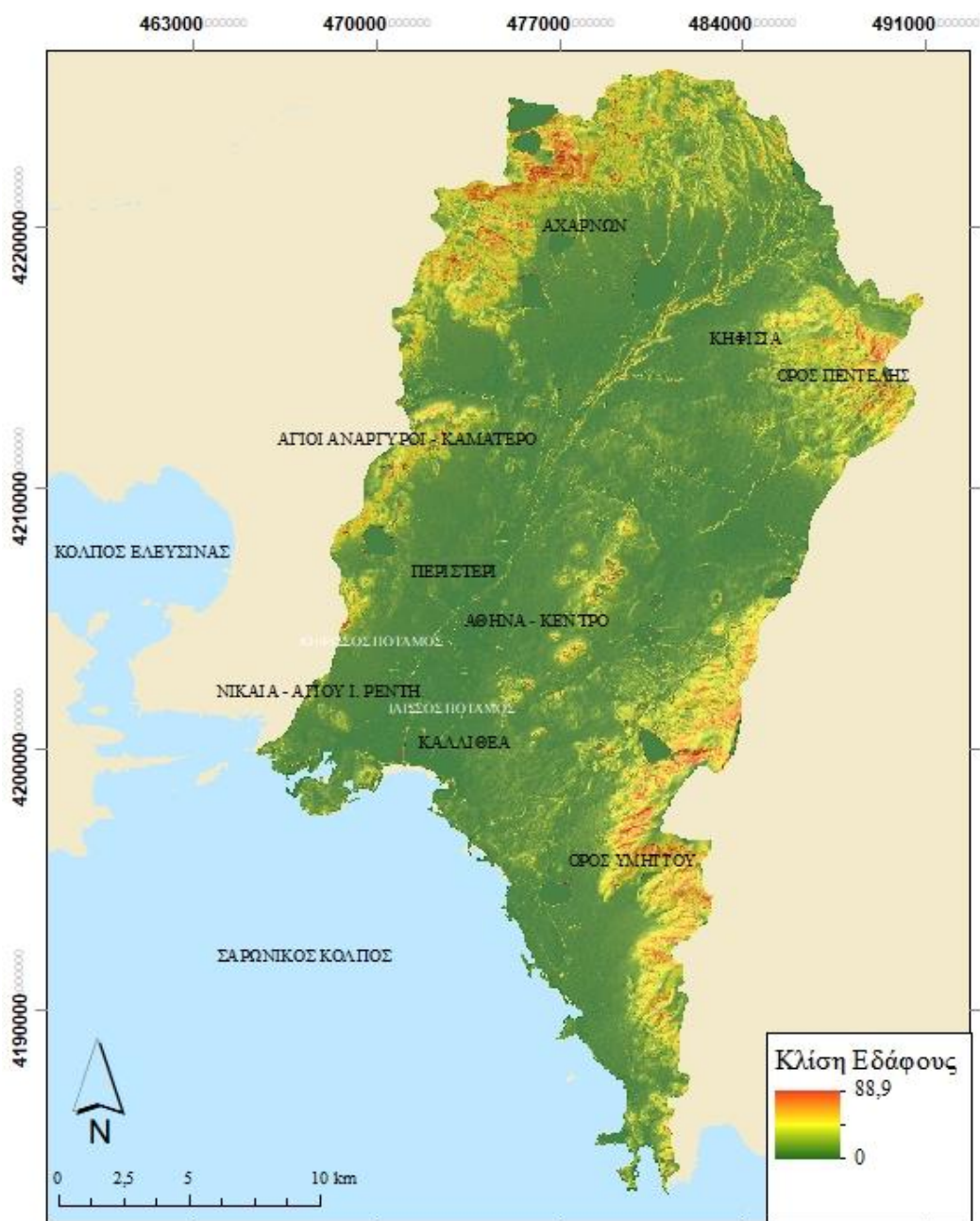
Έχοντας ως δεδομένο το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, έγινε η παραγωγή του raster μοντέλου κλίσεων/slope, όπου αναγνωρίστηκε η απόκλιση σε κάθε κελί της raster επιφάνειας του DEM. Φαίνεται ότι, όσο χαμηλότερη είναι η τιμή της κλίσης, τόσο πιο επίπεδο είναι το έδαφος και όσο υψηλότερη είναι η τιμή της κλίσης, τόσο πιο απότομο είναι το έδαφος. Οι απότομες πλαγιές τείνουν να μειώνουν την ποσότητα διείσδυσης νερού στο έδαφος, αυτό το νερό μπορεί στη συνέχεια να ρέει γρήγορα προς τα ποτάμια. Επιπλέον, οι απότομες πλαγιές μπορούν να αυξήσουν τα επίπεδα νερού στους ποταμούς (Nurhamida et al., 2018). Από την πλευρά τους οι περιοχές με χαμηλές κλίσεις επιφανείας συνδέονται με αυξημένη τρωτότητα για τον κίνδυνο εμφάνισης πλημμύρας.

ΧΑΡΤΗΣ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ



Σχήμα 17: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους.

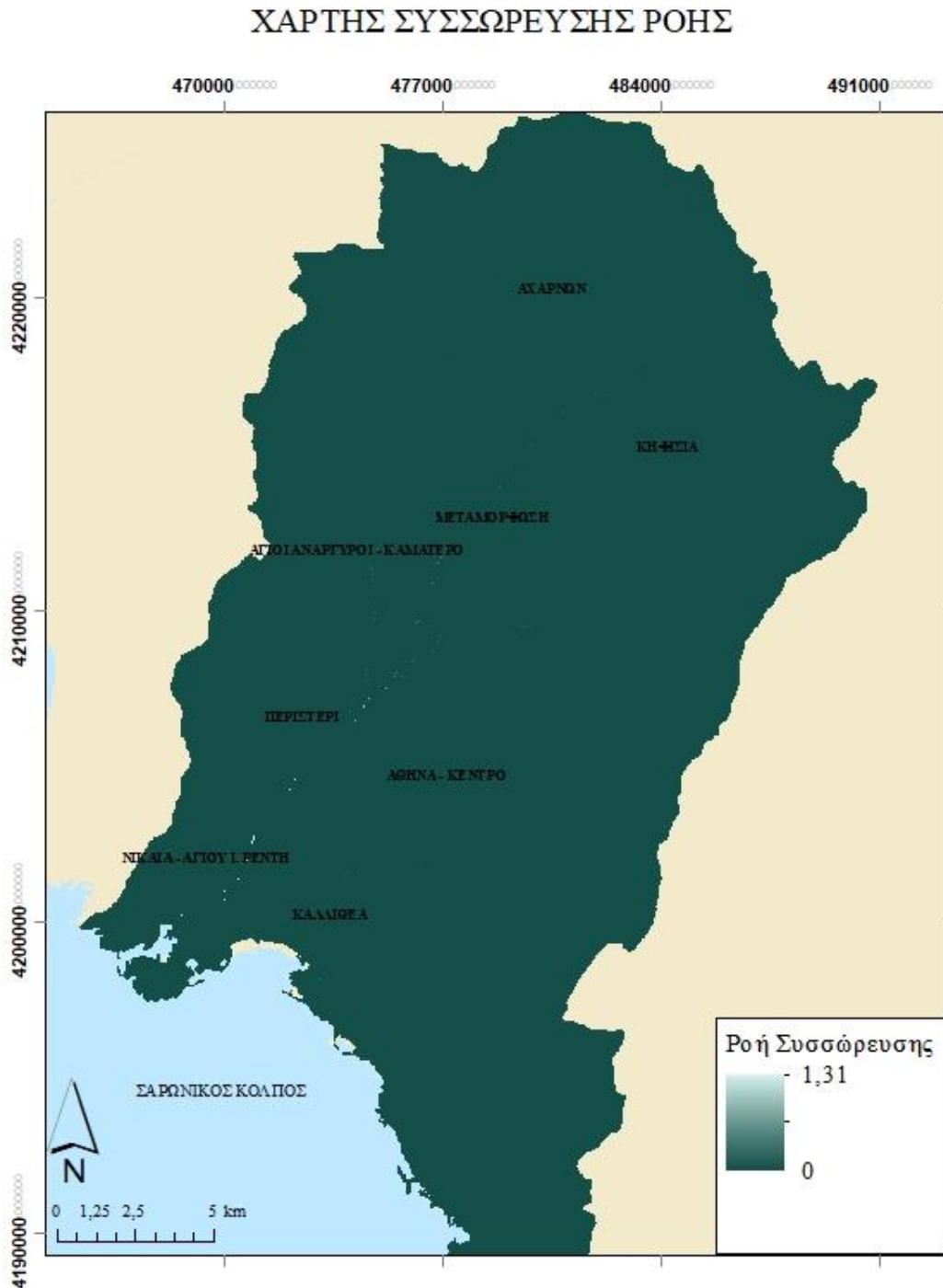
ΧΑΡΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ



Σχήμα 18: Raster μοντέλο κλίσης εδάφους.

Ένα από τα κλειδιά για την αποτύπωση των υδρογραφικών-υδρολογικών χαρακτηριστικών μιας επιφάνειας είναι η ικανότητα προσδιορισμού της κατεύθυνσης της ροής από κάθε κελί του raster. Αυτό γίνεται με το εργαλείο Flow Direction, το οποίο, παίρνει μια επιφάνεια ως είσοδο και εξάγει ένα raster που δείχνει την κατεύθυνση της ροής από κάθε κελί. Δημιουργείται ένα raster εξόδου που δείχνει μια αναλογία της μέγιστης μεταβολής της ανύψωσης από κάθε κελί κατά την κατεύθυνση

της ροής προς το μήκος διαδρομής μεταξύ των κέντρων των κελιών και εκφράζεται σε ποσοστά. Κατόπιν ανάλυσης, προκύπτει ο κάρταβος συγκέντρωσης ροής του Σχήματος 19. Τα φατνία με τις μεγαλύτερες τιμές υποδεικνύουν τις υδάτινες διαδρομές.



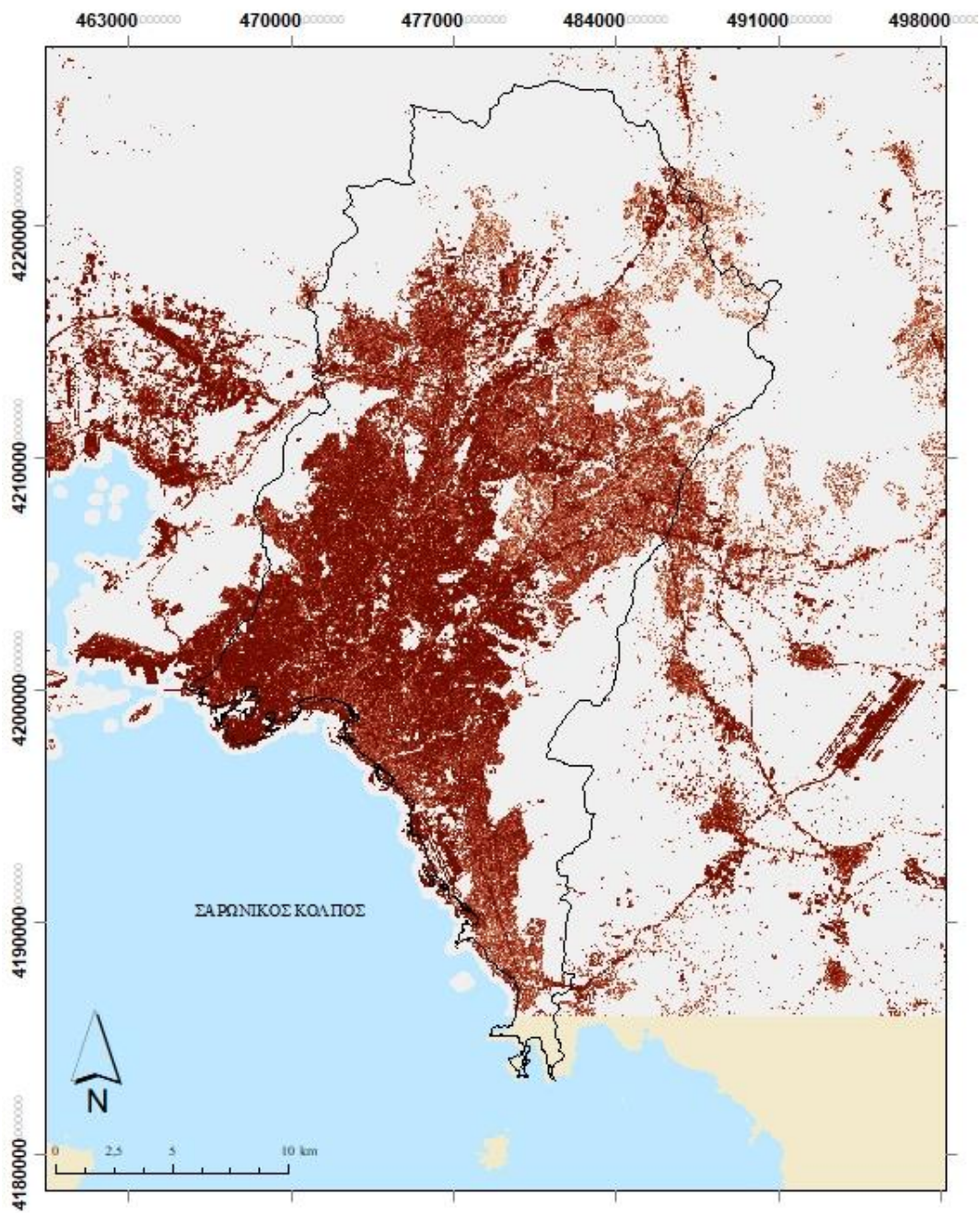
Σχήμα 19: Raster μοντέλο flow accumulation.

Γενικά, οι πλημμύρες προκαλούνται από υψηλές βροχοπτώσεις. Κατά τη διάρκεια μιας έντονης βροχής, τα συστήματα ομβρίων καθίστανται ανεπαρκή. Αυτή η κατάσταση δημιουργεί τη συσσώρευση επιφανειακής ροής και έπειτα την εκδήλωση πλημμύρας σε ορισμένες περιοχές. Το εργαλείο συσσώρευσης ροής υπολογίζει τη συσσωρευμένη ροή ως το συσσωρευμένο βάρος όλων των κελιών που ρέουν στο raster εξόδου. Εάν δεν παρέχεται raster βάρους, εφαρμόζεται ένα βάρος 1 σε κάθε κελί και η τιμή των κυψελίδων στο raster εξόδου είναι ο αριθμός των κελιών που ρέουν σε κάθε κελί. Τα αποτελέσματα της συσσώρευσης ροής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός δικτύου ροής εφαρμόζοντας μια τιμή κατωφλίου για την επιλογή κελιών με υψηλή συσσωρευμένη ροή.

Ανάμεσα στους στατικούς παράγοντες πέραν της κλίσης του εδάφους, και η ποσοστιαία αδιαπερατότητα (Σχήμα 20) των επιφανειών κρίνεται γενικά ως ιδιαίτερα καθοριστικός παράγοντας για την εκδήλωση πλημμύρας.

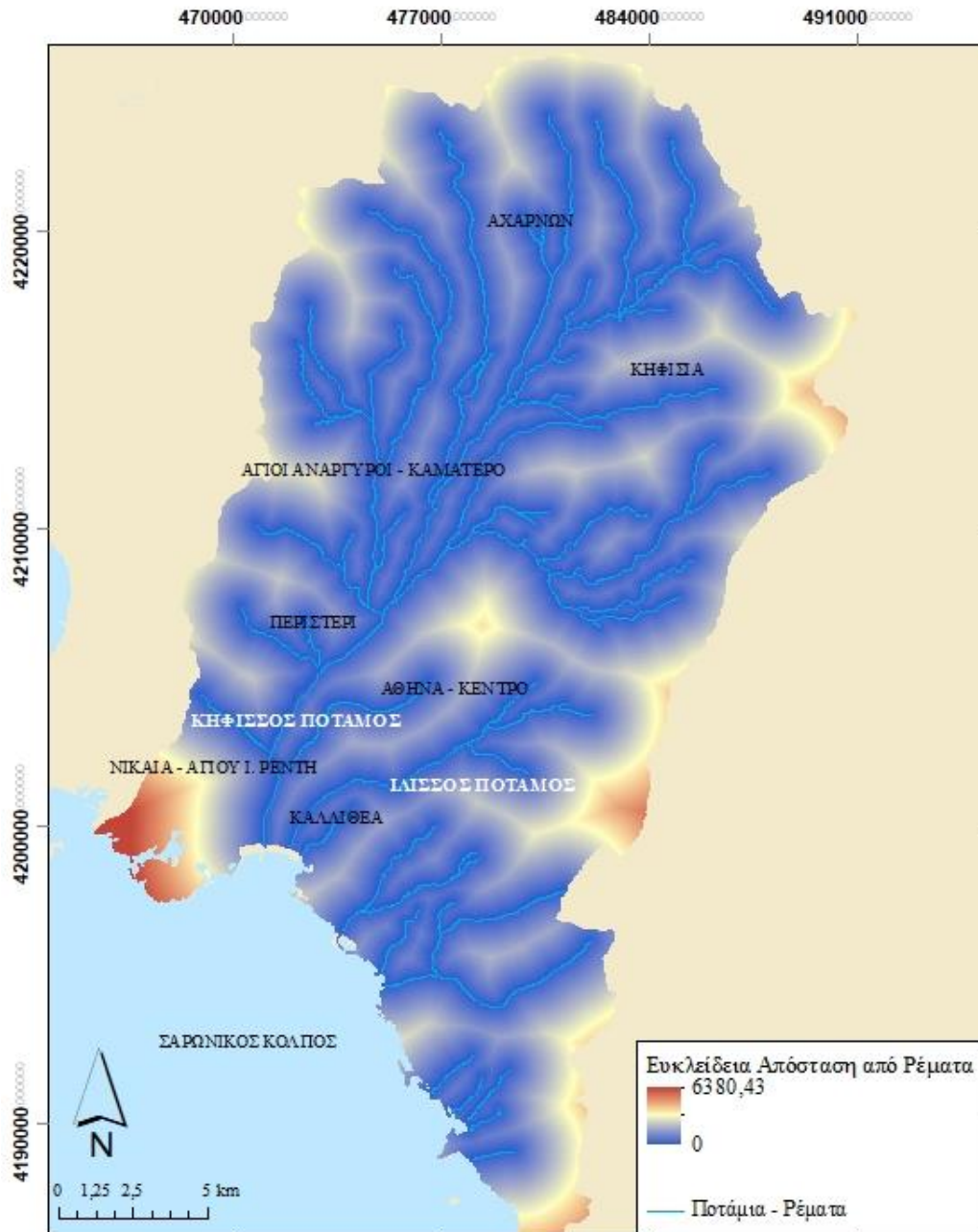
Με τον παράγοντα ευκλείδεια απόσταση από τις υδάτινες διαδρομές (ρέματα) υπολογίστηκε για κάθε κελί η ευκλείδεια απόσταση από το πλησιέστερο ρέμα (Σχήμα 21). Ο συντελεστής της ευκλείδειας απόστασης από τις υδάτινες διαδρομές φαίνεται να εμφανίζει γενικά υψηλότερη συχνότητα για χαμηλή απόσταση, ωστόσο παρουσιάζει πολύ ευρύ φάσμα τιμών για να διακριθούν κρίσιμα όρια για τον εν λόγω παράγοντα.

ΧΑΡΤΗΣ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ



Σχήμα 20: Raster μοντέλο soil sealing.

ΧΑΡΤΗΣ ΕΥΚΛΕΙΔΕΙΑΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΑ ΡΕΜΑΤΑ



Σχήμα 21: Ευκλείδεια Απόσταση από ρέματα.

Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι δυναμικοί παράγοντες, δηλαδή εκείνοι που διαφοροποιούνται μεταξύ επεισοδίων και είναι:

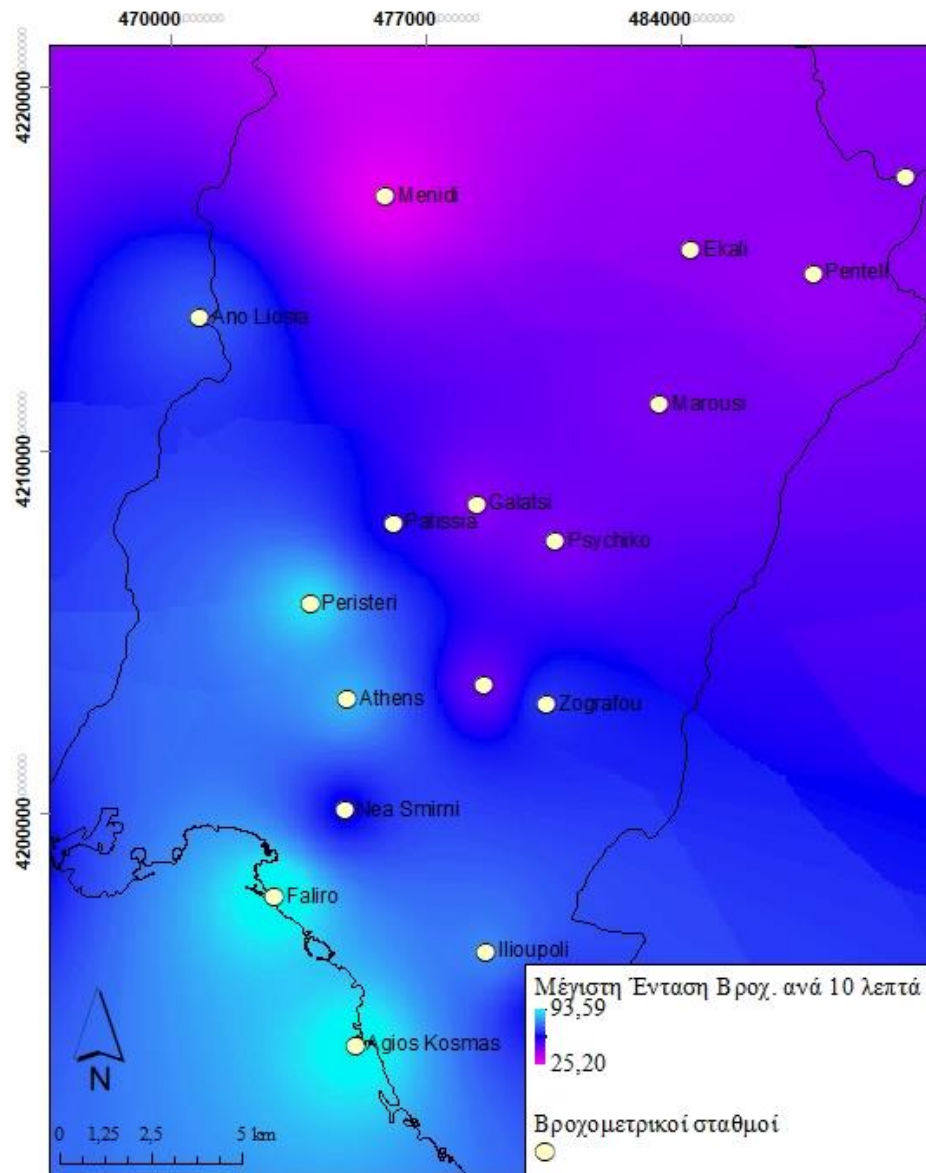
- οι μέγιστες εντάσεις βροχοπτώσεις στις διάφορες διάρκειες και
- το συνολικό ύψος βροχής σε επίπεδο επεισοδίου.

Αυτές οι εντάσεις σε [mm/h] υπολογίζονται αναλυτικά για κάθε σταθμό και για διάρκεια 10, 20, 30 λεπτών, και 1, 2, 3 ωρών, ενώ προσδιορίζεται σημειακά και το

συνολικό ύψος βροχής για τα τρία επεισόδια του 2013, 2014, 2015. Η δημιουργία των αντίστοιχων αρχείων raster γίνεται αξιοποιώντας το σημειακό αρχείο με τα παραπάνω υπολογισμένα μεγέθη στις θέσεις των σταθμών και με την αξιοποίηση κάποιας μεθόδου παρεμβολής, που παράγει ένα αρχείων raster δεδομένης ανάλυσης με εκτίμηση των ενδιάμεσων τιμών. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας εφαρμόστηκε η παρεμβολή αντίστροφης σταθμισμένης απόστασης (IDW) που κάνει ρητά την υπόθεση ότι οι γνωστές τιμές που είναι κοντά η μία στην άλλη είναι πιο όμοιες από αυτές που βρίσκονται πιο μακριά. Για να προβλέψει μια τιμή για οποιαδήποτε μη μετρημένη τοποθεσία, η μέθοδος IDW χρησιμοποιεί τις μετρημένες τιμές που περιβάλλουν τη θέση πρόβλεψης. Οι μετρημένες τιμές που βρίσκονται πλησιέστερα στην τοποθεσία πρόβλεψης επηρεάζουν περισσότερο την προβλεπόμενη τιμή από αυτές που βρίσκονται πιο μακριά. Η IDW υποθέτει ότι κάθε μετρημένο σημείο έχει τοπική επιρροή που μειώνεται με την απόσταση. Δίνει μεγαλύτερα βάρη σε σημεία που βρίσκονται πλησιέστερα στην τοποθεσία πρόβλεψης και τα βάρη μειώνονται σε συνάρτηση με την απόσταση, εξού και το όνομα της αντίστροφης απόστασης (ArcGIS Help, 2021). Η διαδικασία αυτή υλοποιήθηκε για τα δεδομένα βροχόπτωσης και των τριών πλημμυρών που εξετάστηκαν.

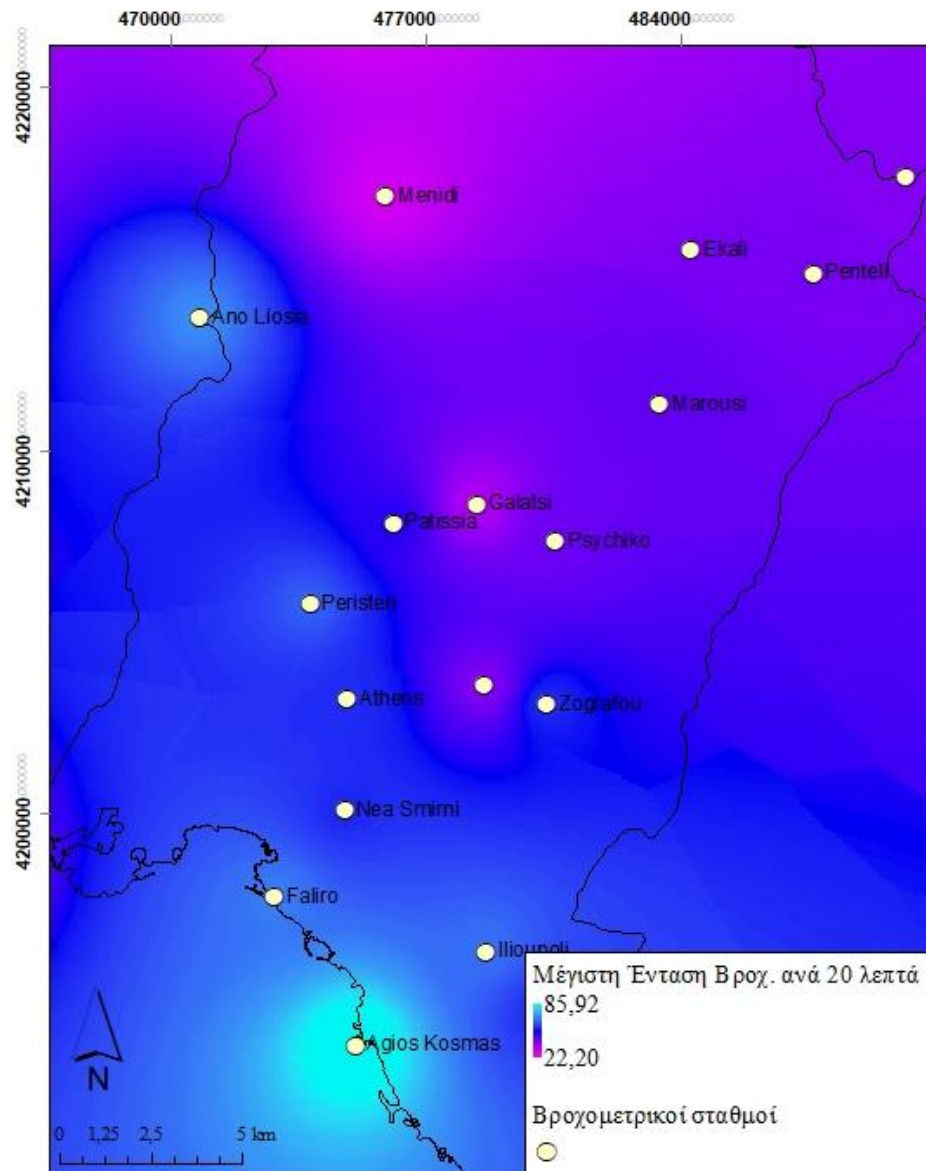
Το Σχήμα 22 απεικονίζει ένα μοντέλο μετά την υλοποίησης της παρεμβολής που αναπαριστά τη μέγιστη βροχόπτωση δεκαλέπτου, ενώ στο Σχήμα 23, το αντίστοιχο μέγεθος προσδιορισμένο αθροίζοντας ανά δύο διαδοχικά δεκάλεπτο (δηλ. μέγιστη ένταση προσδιορισμένη ανά 20λεπτο). Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αφορούν το επεισόδιο πλημμύρας του 2013. Η παρεμβολή έχει γίνει λαμβάνοντας υπόψη και τους βροχομετρικούς σταθμούς οι οποίοι εκτείνονται σε όλη τη λεκάνη απορροής και συμβολίζονται με έναν κίτρινο κύκλο. Για τη διάρκεια των 10 λεπτών η μέγιστη βροχόπτωση συμβολίζεται με ανοιχτό γαλάζιο χρώμα και είναι πιο υψηλή στους σταθμούς του Περιστερίου, του Αγίου Κοσμά και του Φαλήρου με αριθμό που φτάνει στα 93.59 mm/h βροχής, ενώ η πιο χαμηλή τιμή (25.20mm/h) φαίνεται στους σταθμούς του Μενιδίου. Τα αποτελέσματα της μέγιστης έντασης 20λεπτου δεν φαίνεται να διαφοροποιούνται αρκετά καθώς μέγιστη τιμή φαίνεται αν είναι ακόμη στον Άγιο Κοσμά και να έγινε πιο έντονη και στο σταθμό των Άνω Λιοσίων με τιμή 85.92 mm/h. Τέλος η μικρότερη ένταση παραμένει στο σταθμό Μενίδι και γίνεται πιο υψηλή στο σταθμό του Γαλασίου.

ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 10 ΛΕΠΤΩΝ - ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013



Σχήμα 22: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 10 λεπτών (επεισόδιο 2013).

ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 20 ΛΕΠΤΩΝ - ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013



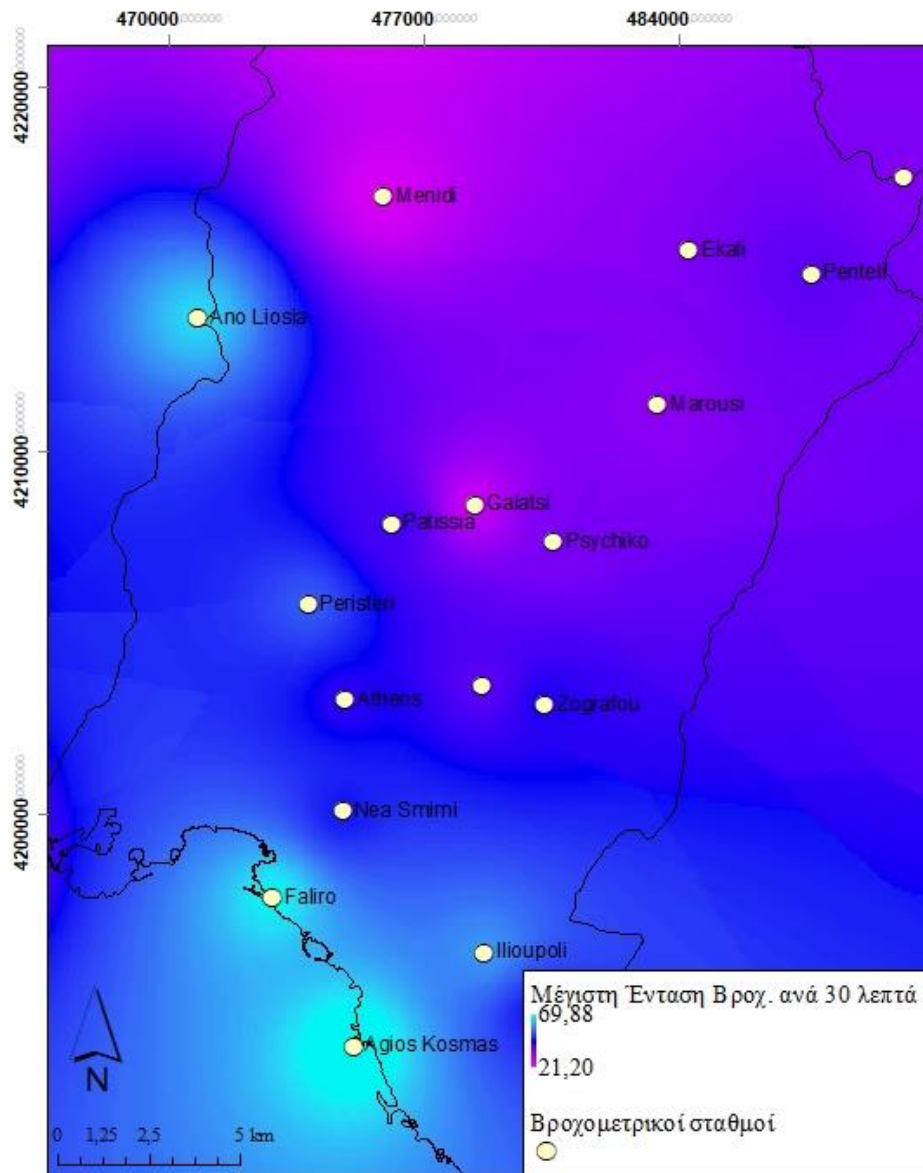
Σχήμα 23: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 20 λεπτών (επεισόδιο 2013).

Παραμένοντας στο ίδιο επεισόδιο πλημμύρας, στην διάρκεια των 30 λεπτών (Σχήμα 24) δεν φαίνεται να μεταβάλλονται σημαντικά οι μέγιστες και οι ελάχιστες τιμές σε σχέση με αυτή των 20 λεπτών, ενώ ελαφρώς πιο υψηλή παρουσιάζεται η μέγιστη τιμή στο σταθμό Άνω Λόσια (69.88 mm/h). Στην επόμενη εικόνα, η μέγιστη διάρκεια βροχής σε ώρας είναι πιο υψηλή στο σταθμό Άνω Λιόσια (47.89 mm/h), ενώ στους υπόλοιπους σταθμούς φαίνεται να εξασθενεί.

Στα Σχήματα 26 και 27, φαίνονται αντίστοιχα οι τιμές της μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για 2 και 3 ώρες να εξασθενούν. Στην διάρκεια δύο ωρών, η μέγιστη

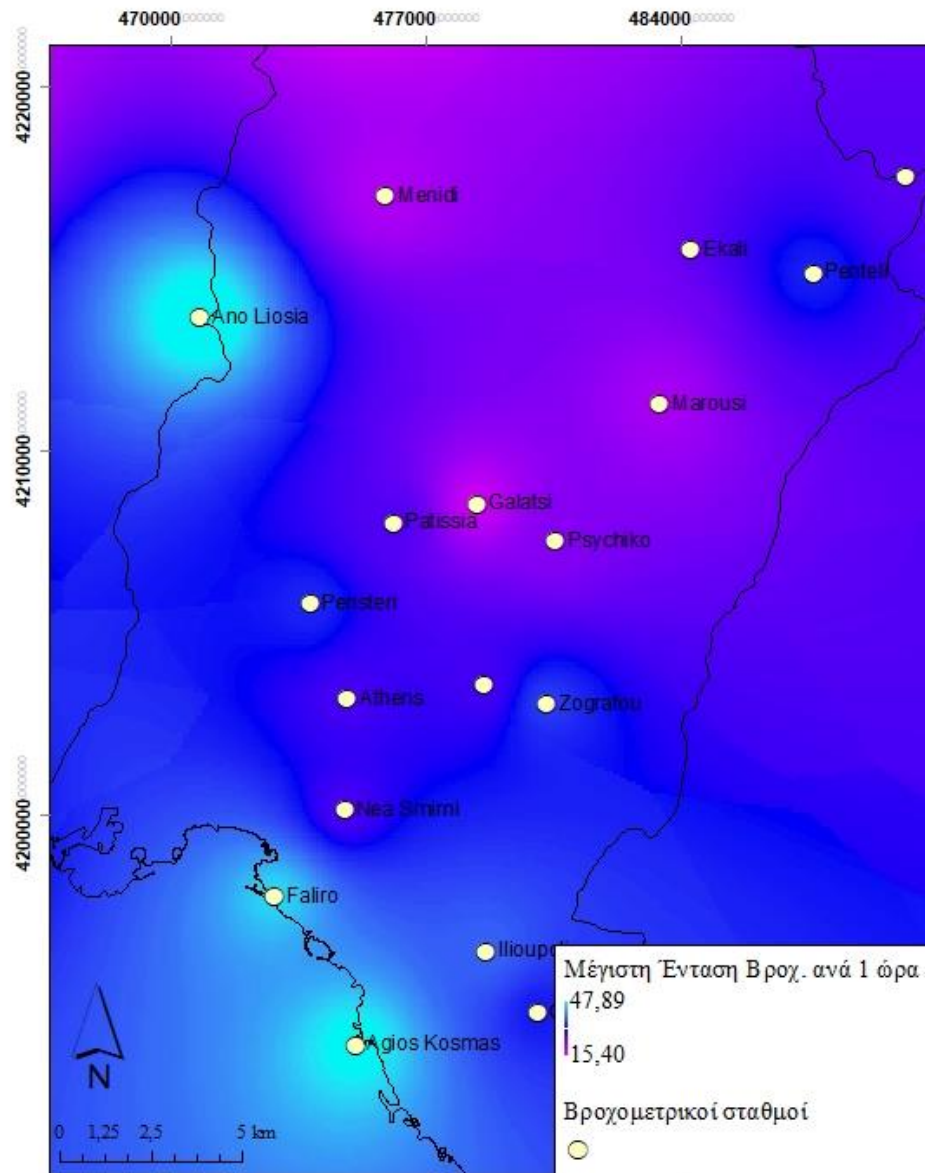
ένταση χωρικά παραμένει στο σταθμό Άνω Λιόσια με τιμή 31.65 mm/h και παρουσιάζεται ακόμη ένας πυρήνας με τις υψηλότερες τιμές στο σταθμό Ζωγράφου, ενώ οι χαμηλότερες τιμές φαίνονται στους σταθμούς Γαλασίου και Γλυφάδας. Στην επόμενη εικόνα, η μέγιστη τιμή φτάνει στα 22.23 mm/h στους ίδιους σταθμούς με την διάρκεια των 2 ωρών, με εξαίρεση τον σταθμό του Φαλήρου.

**ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 30 ΛΕΠΤΩΝ - ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013**



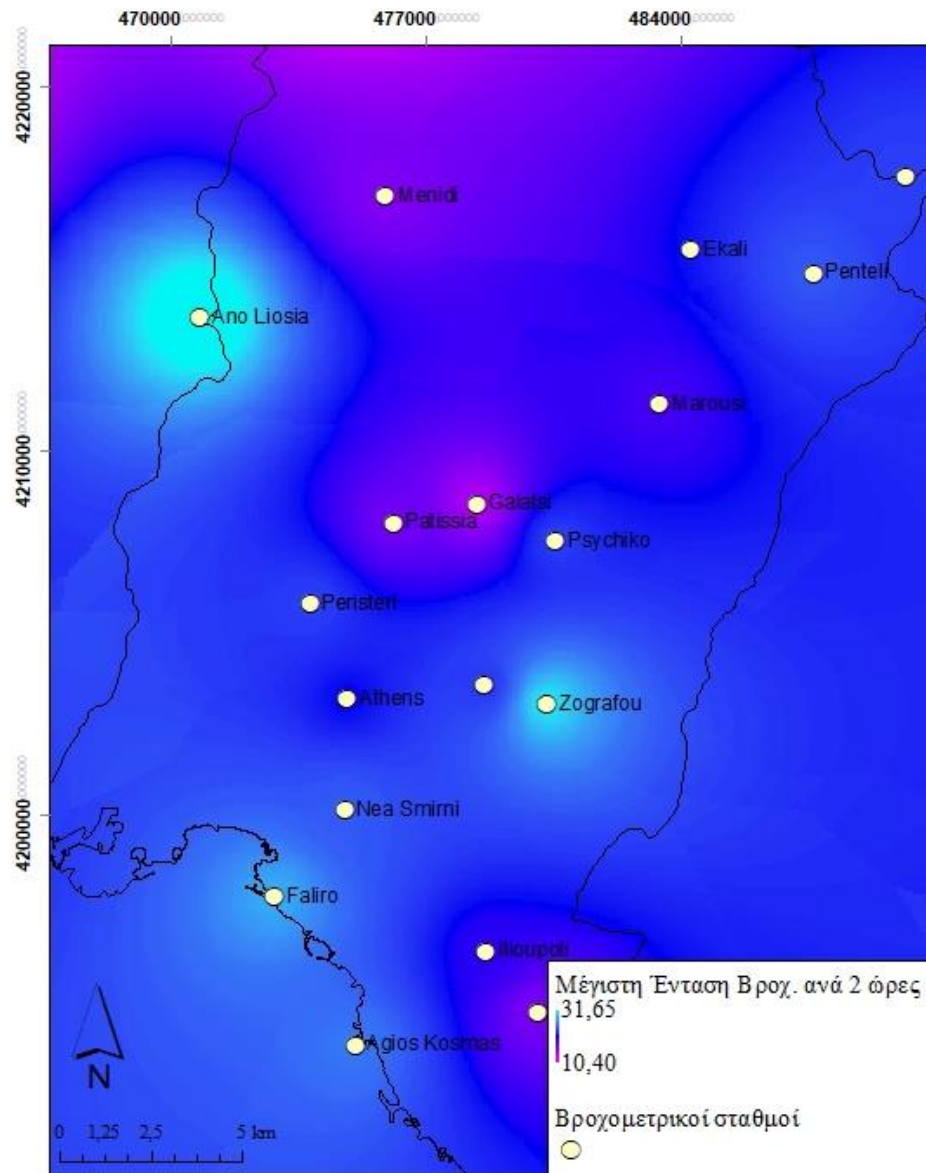
Σχήμα 24: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 30 λεπτών (επεισόδιο 2013).

ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 1 ΩΡΑΣ - ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013



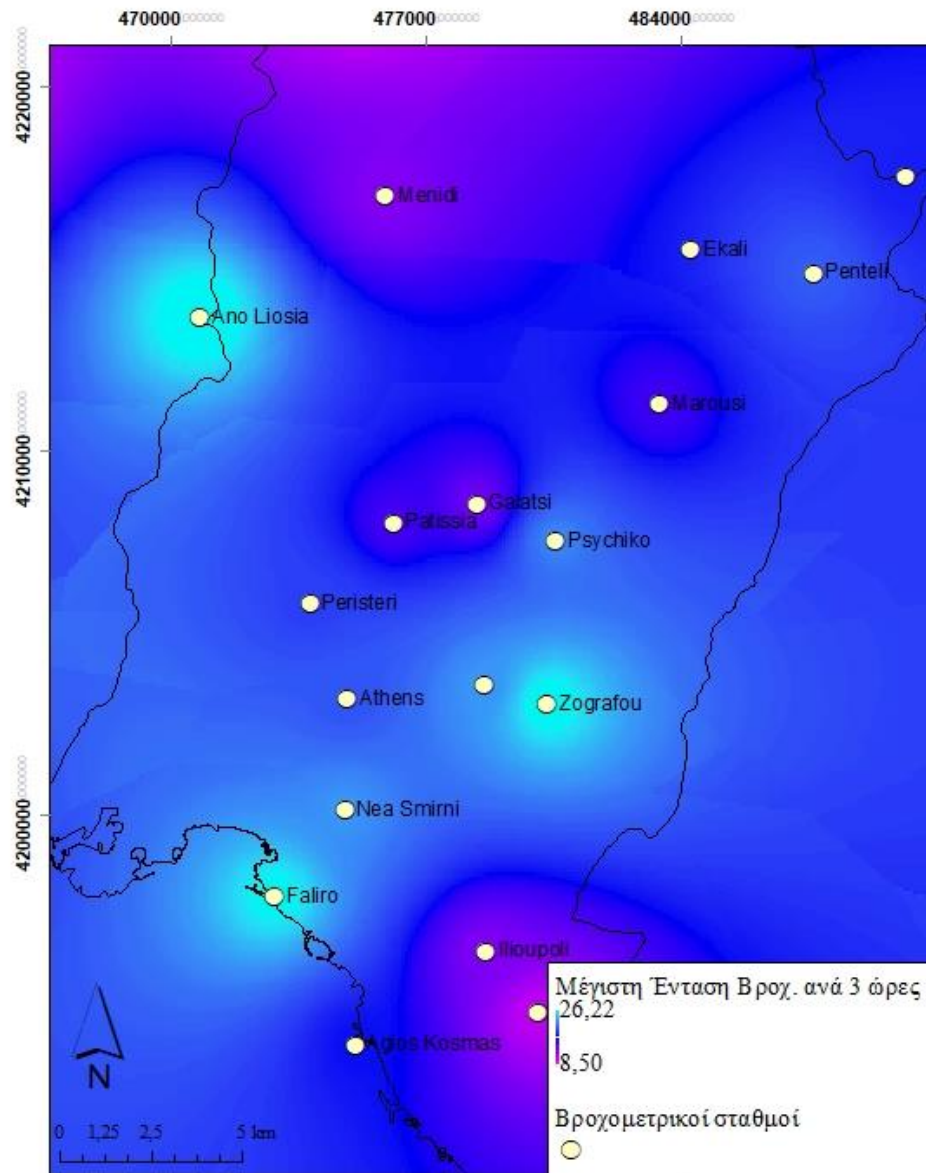
Σχήμα 25: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 1 ώρας (επεισόδιο 2013).

ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 2 ΩΡΩΝ - ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013



Σχήμα 26: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 2 ωρών (επεισόδιο 2013).

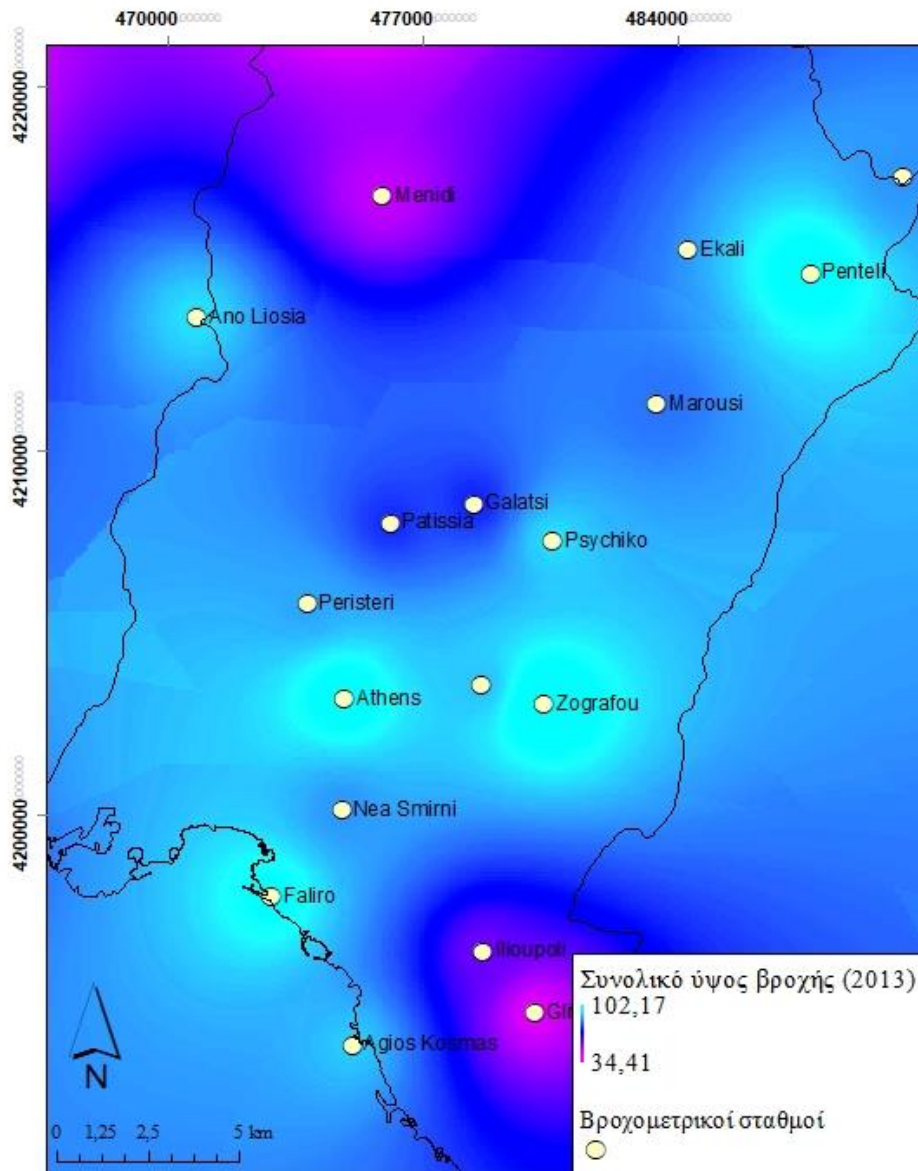
ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 3 ΩΡΩΝ - ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013



Σχήμα 27: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 3 ωρών (επεισόδιο 2013).

Στο Σχήμα 28, παρουσιάζεται το συνολικό ύψος βροχής για το πλημμυρικό επεισόδιο του Φεβρουαρίου του 2013. Αναλυτικότερα, το μεγαλύτερο ύψος βροχής παρουσιάζεται στους σταθμούς Πεντέλης, Άνω Λιόσια, Ζωγράφου και Φαλήρου με μέγιστη τιμή τα 102.7 mm βροχής. Αντίθετα το μικρότερο ύψος βροχής φαίνεται στους σταθμούς Μενίδι και Γλυφάδα, με τιμή στα 34.41mm βροχής.

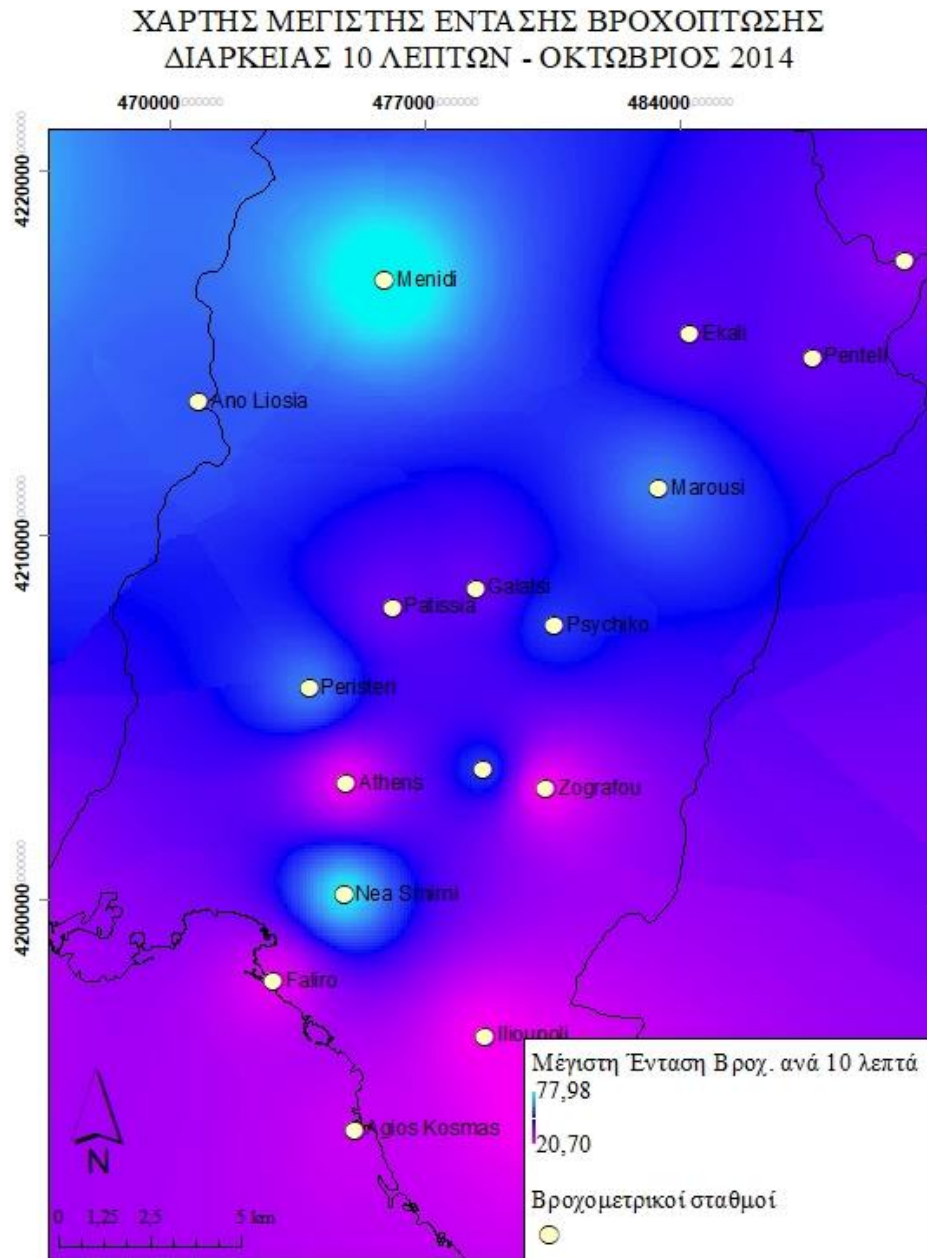
ΧΑΡΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ - ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2013



Σχήμα 28: Χάρτης χωρικής κατανομής συνολικού ύψους βροχής για το επεισόδιο του 2013.

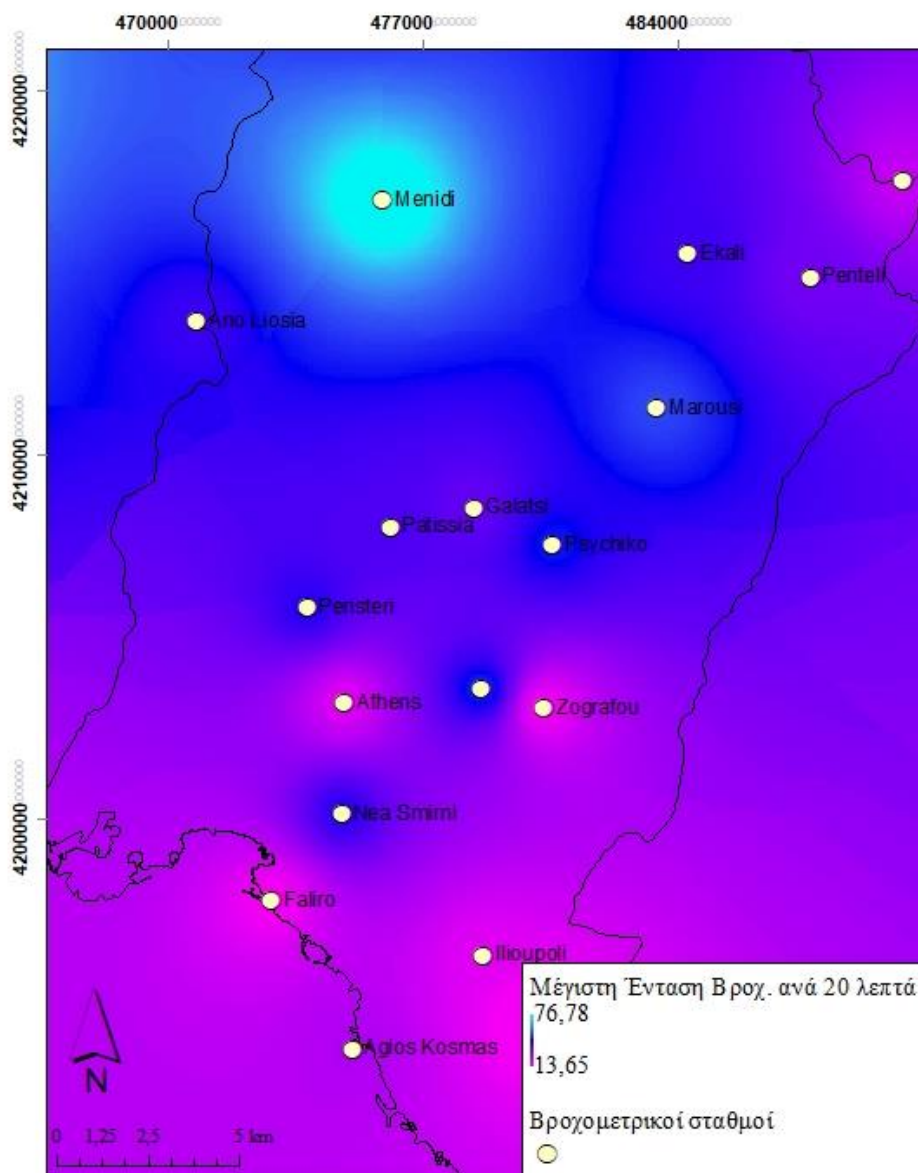
Συνεχίζοντας την ανάλυση του επόμενου πλημμυρικού επεισοδίου, αυτού του Οκτωβρίου του 2014, στο Σχήμα 29, φαίνεται πως η μέγιστη τιμή έντασης βροχόπτωσης 10λεπτου φτάνει την τιμή των 77.98 mm/h βροχής στους σταθμούς Μενίδι και Νέα Σμύρνη. Οι ελάχιστες τιμές φαίνεται να έχουν τιμή μέγιστης έντασης βροχής ίση με 20.70 mm/h οι οποίες εμφανίζονται στους σταθμούς των Νοτίων προαστίων. Στο Σχήμα 30 (μέγιστη ένταση 20λεπτου), οι τιμές στους σταθμούς δεν μεταβάλλονται ιδιαίτερα σε σχέση με τον προηγούμενη ανάλυση, παρατηρείται μόνο

μία μείωση της τιμής στο σταθμό Νέα Σμύρνη. Εδώ η μέγιστη τιμή φτάνει τα 76.78 mm/h μέγιστης έντασης βροχής και η ελάχιστη τα 13.65 mm/h . Στα Σχήματα 31-32, οι τιμές στους σταθμούς φαίνεται να είναι στα ίδια επίπεδα και στις δύο εικόνες, δηλαδή η μεγαλύτερη τιμή φαίνονται στο σταθμό του Μενιδίου με την μέγιστη διάρκεια των 30 λεπτών η μεγαλύτερη τιμή να φτάνει τα 67.18 mm/h και η μικρότερη είναι ίση με 11.30 mm/h.



Σχήμα 29: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 10 λεπτών (επεισόδιο 2014).

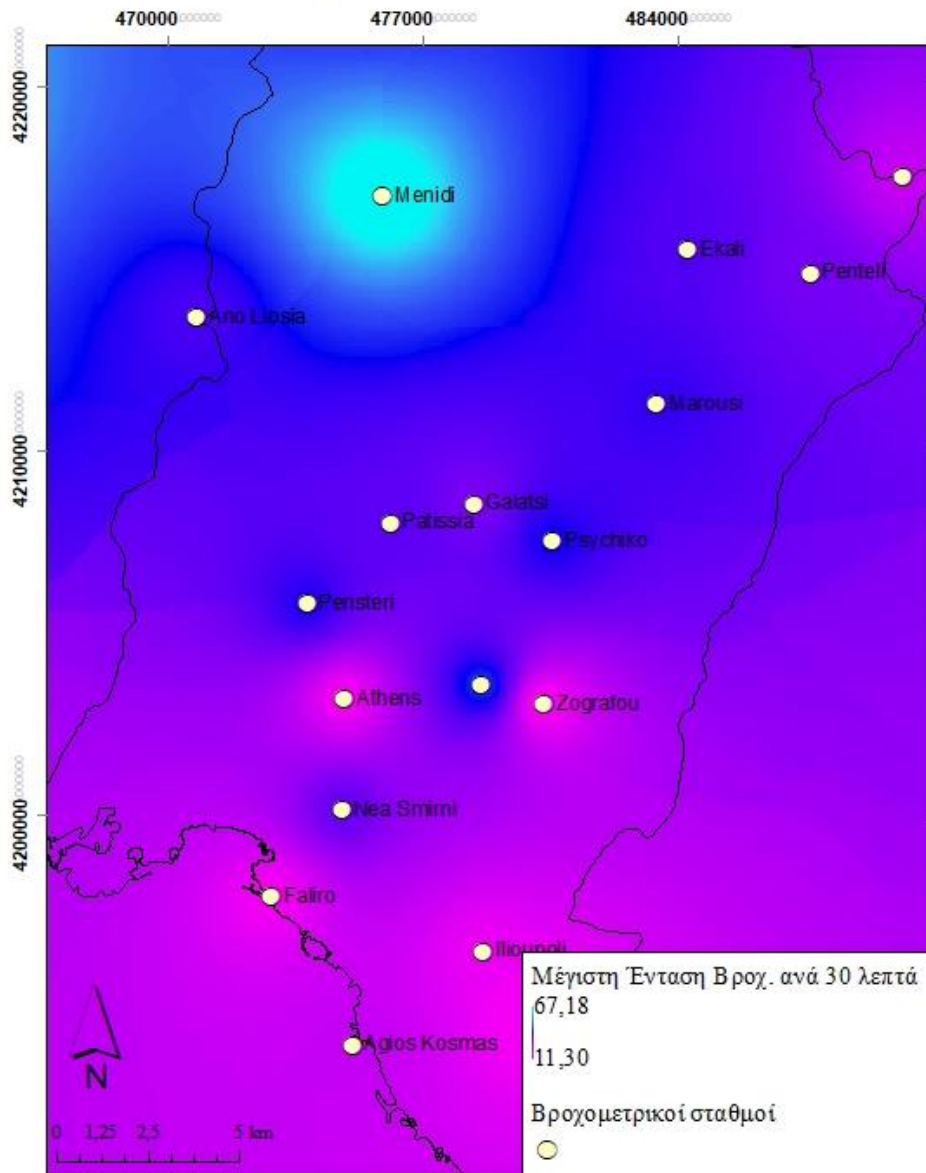
ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 20 ΛΕΠΤΩΝ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014



Σχήμα 30: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 20 λεπτών (επεισόδιο 2014).

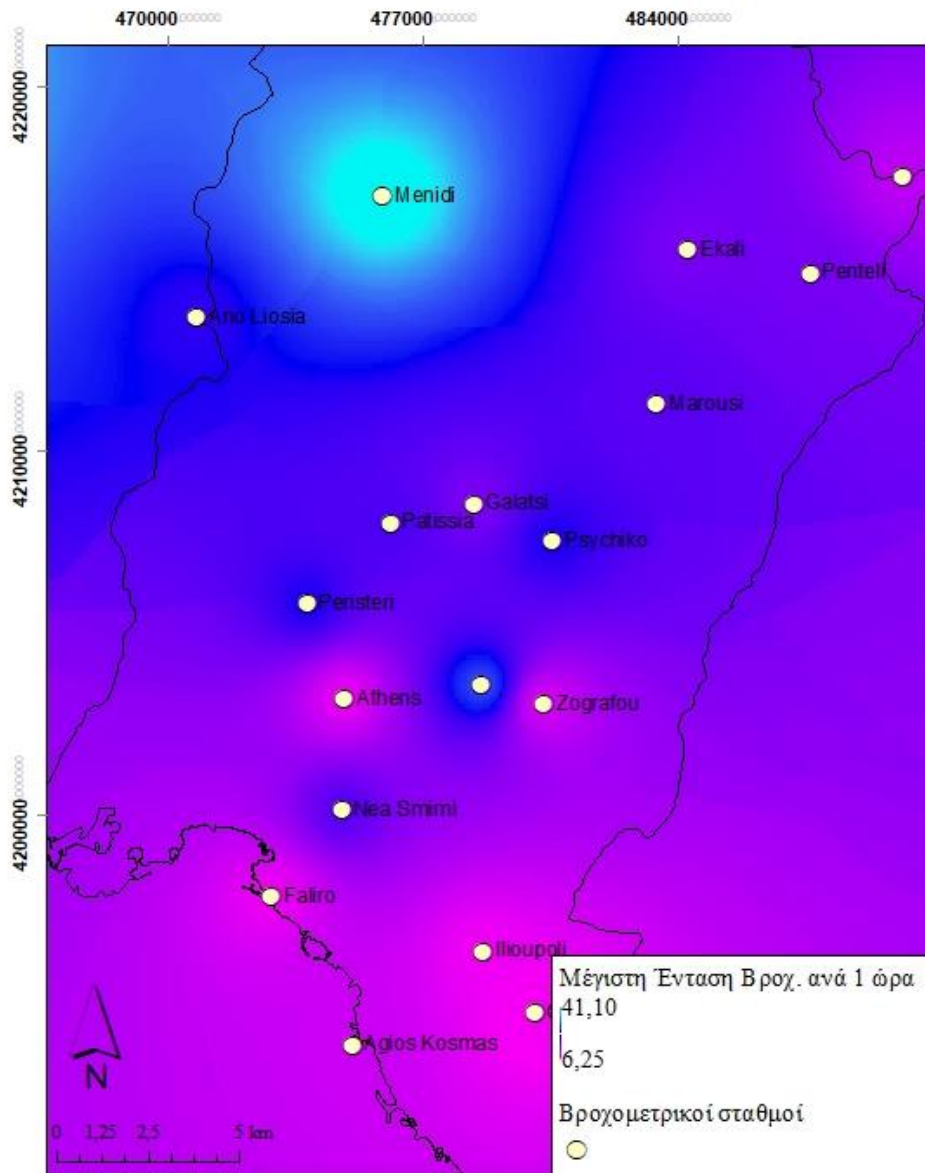
Ομοίως, στα δύο σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 30 λεπτών (Σχήμα 31) και 1 ώρας (Σχήμα 32).

ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 30 ΛΕΠΤΩΝ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014



Σχήμα 31: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 30 λεπτών (επεισόδιο 2014).

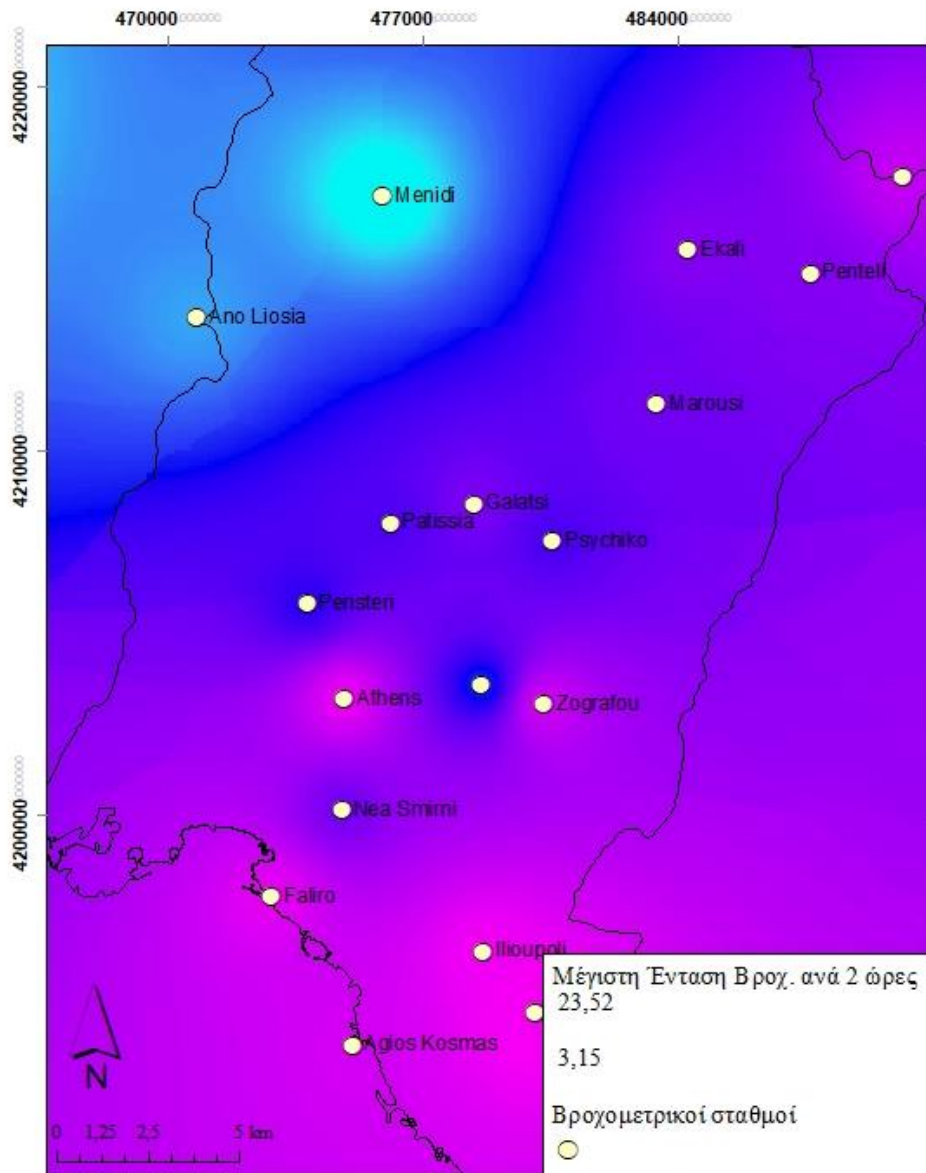
ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 1 ΩΡΑΣ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014



Σχήμα 32: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 1 ώρας (επεισόδιο 2014).

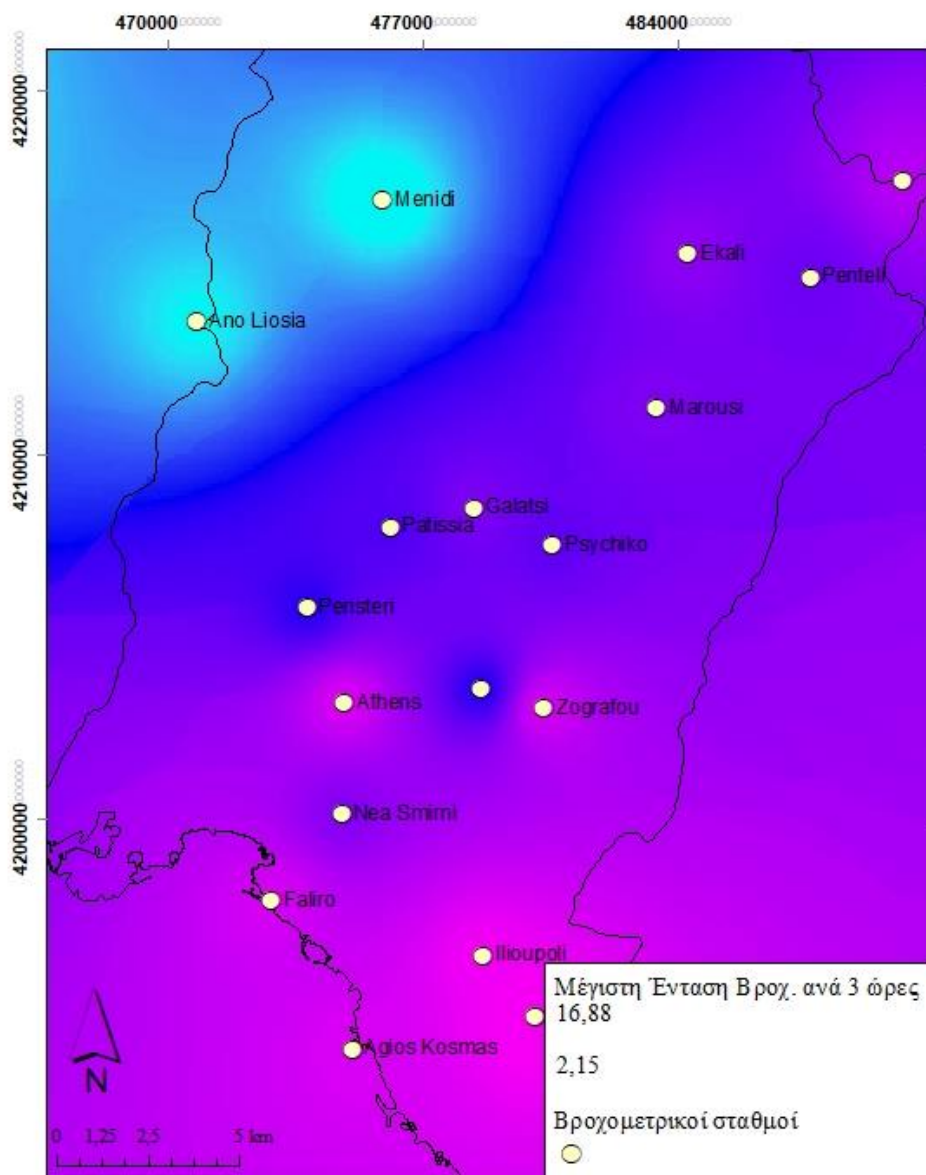
Στα Σχήματα 33-34, οι εικόνες αφορούν τη μέγιστη ένταση βροχής για διάρκεια 2 και 3 ώρες, αντίστοιχα. Στην πρώτη εικόνα η μέγιστη ένταση φαίνεται να φτάνει τα 23.52 mm/h και λαμβάνει χώρα στο σταθμό Μενίδι, έχοντας μία τάση αύξησης προς τον σταθμό των Άνω Λιοσίων, όπου και εκεί εντοπίζεται και η μέγιστη ένταση στη διάρκεια των 3 ωρών.

ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 2 ΩΡΩΝ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014



Σχήμα 33: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 2 ώρας (επεισόδιο 2014).

ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 3 ΩΡΩΝ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014

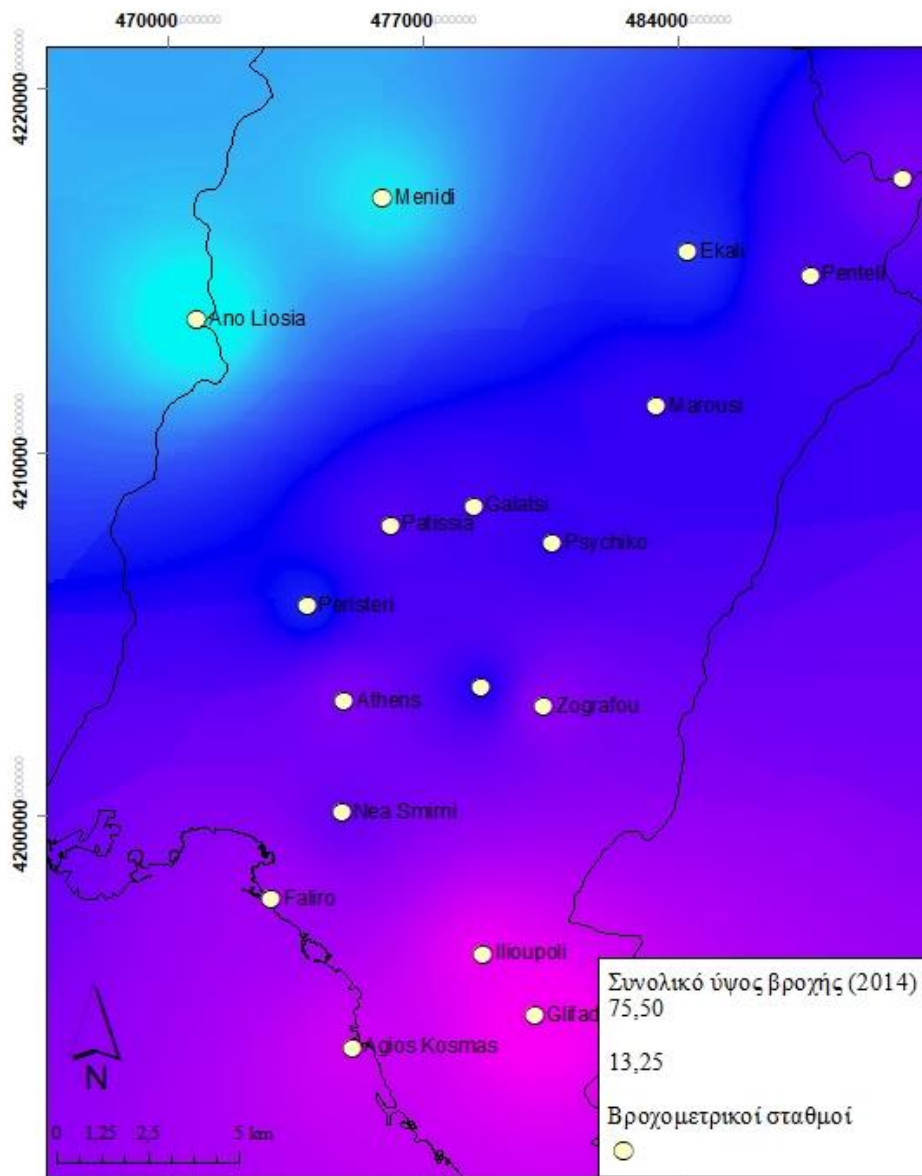


Σχήμα 34: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 3 ώρας (επεισόδιο 2014).

Τέλος, στο Σχήμα 35, απεικονίζεται το συνολικό ύψος βροχής για το επεισόδιο πλημμύρας του 2014. Μέγιστες τιμές κατ' αντιστοιχία με την ανάλυση των παραπάνω μέγιστων εντάσεων σε διαφορετικές διάρκειες, εμφανίζονται στους σταθμούς Μενίδι και Άνω Λιόσια με την τιμή να φτάνει τα 75.50 mm βροχής, ενώ οι μικρότερες εντάσεις στα Κεντρικά και Νότια προάστια την Αττικής. Συγκριτικά με τον επεισόδιο του 2013, αυτό του Οκτωβρίου του 2014, δεν ήταν τόσο έντονο καθώς το συνολικό ύψος βροχής

διέφερε αρκετά. Ακόμη παρατηρήθηκε ότι οι τιμές στις διάφορες εντάσεις ήταν μικρότερες στο επεισόδιο του 2014.

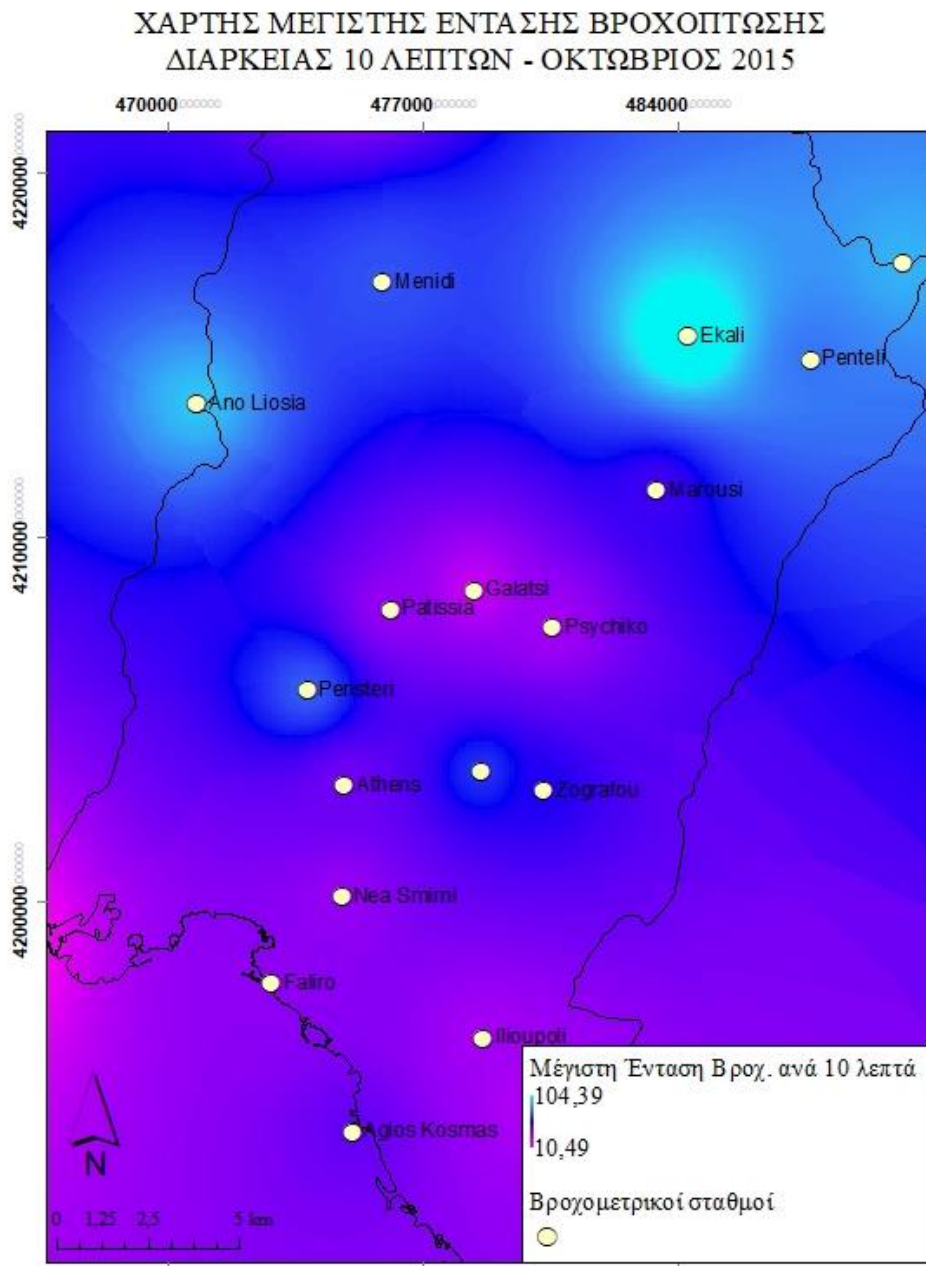
ΧΑΡΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014



Σχήμα 35: Χάρτης χωρικής κατανομής συνολικού ύψους βροχής για το επεισόδιο του 2014.

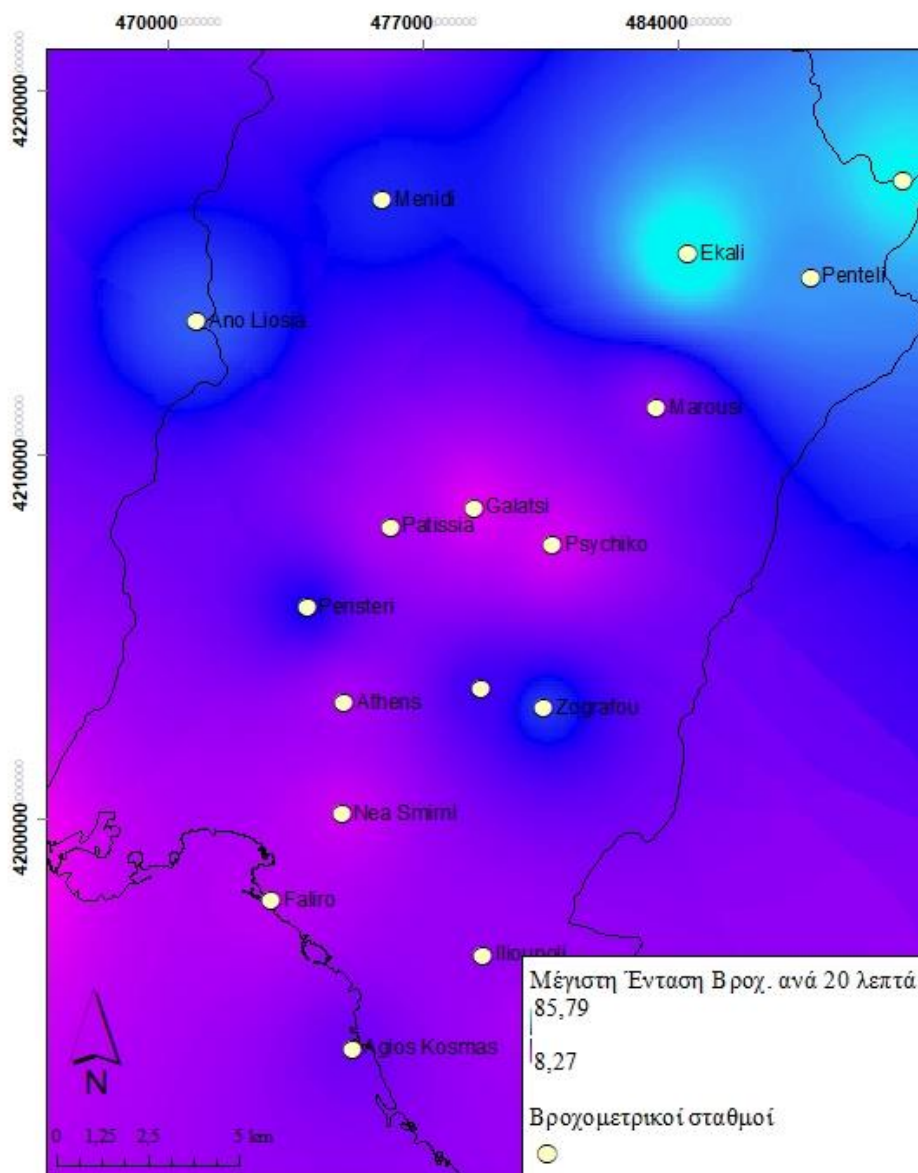
Φτάνοντας στο τελευταίο γεγονός πλημμύρας της έρευνας, αυτό του Οκτωβρίου του 2015, οι μέγιστες τιμές έντασης βροχής διάρκειας δεκαλέπτου, εμφανίζονται στους σταθμούς Εκάλης και Άνω Λιόσια με τιμή που φτάνει τα 104.39 mm/h και ελάχιστη (10.49 mm/h) στο Γαλάτσι και στα Νότια προάστια (Σχήμα 36). Συγκρίνοντας τη χωρική κατανομή των μέγιστων εντάσεων δεκαλέπτου με την αντίστοιχη παράμετρο

για διάρκεια ίση με 20 λεπτά (Σχήμα 37), φαίνεται να υπάρχει μία εξασθένηση της μέγιστης έντασης στο σταθμό των Άνω Λιοσίων.



Σχήμα 36: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 10 λεπτών (επεισόδιο 2015).

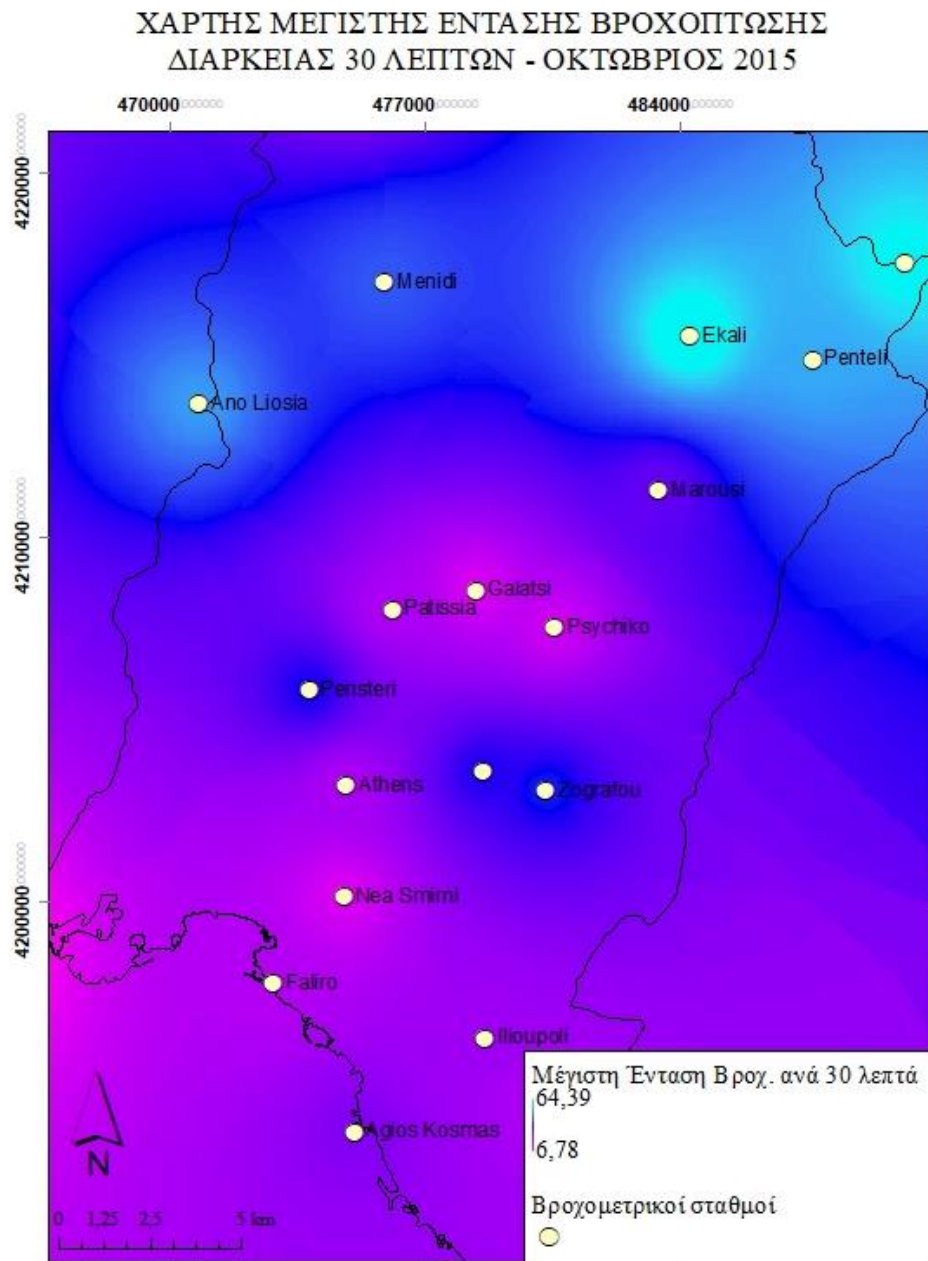
ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 20 ΛΕΠΤΩΝ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015



Σχήμα 37: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 20 λεπτών (επεισόδιο 2015).

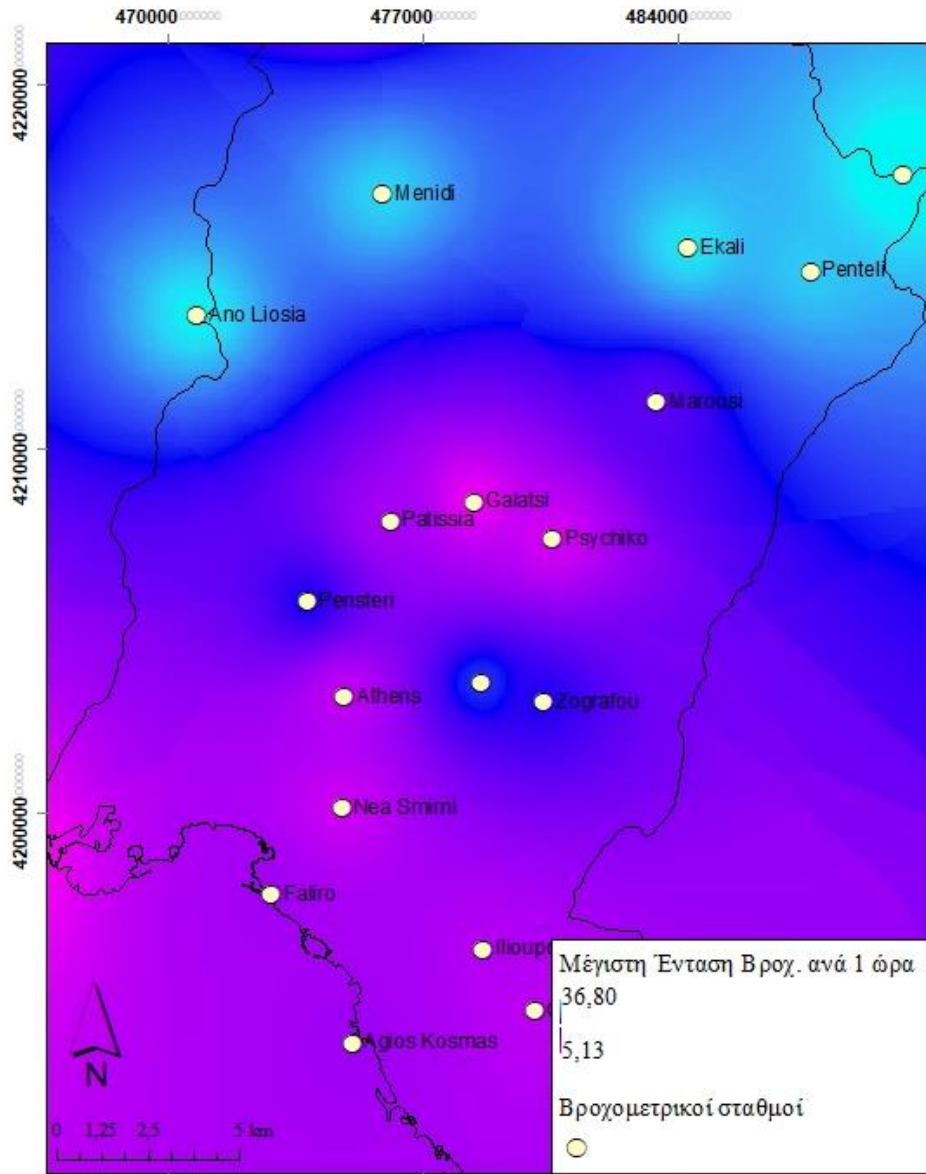
Στο Σχήμα 38, για τη μέγιστη διάρκεια των 30 λεπτών η θέση με τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή στους σταθμούς δεν μεταβλήθηκε σε σχέση με αυτές του Σχήματος 37. Στη διάρκεια αυτή οι μέγιστες τιμές χωρικά εμφανίζονται και στους σταθμούς Μενίδι και Πεντέλη, ενώ η μέγιστη ένταση για διάρκεια 1 ώρας (Σχήμα 39) είναι στα 36.80 mm/h. Στα Σχήματα 40-41, όπως αναμενόταν για τη μεγαλύτερη διάρκεια, φαίνεται να υπάρχει μία ύφεση στις μέγιστες τιμές, καθώς αυτές κυμαίνονται στα 25 mm/h και οι

τιμές αυτές καταγράφονται στους σταθμούς Εκάλη, Μενίδι και Άνω Λιόσια. Ακόμη και οι ελάχιστες τιμές βρίσκονται σε ύψηση καθώς υπολογίζονται στα 4 mm/h.



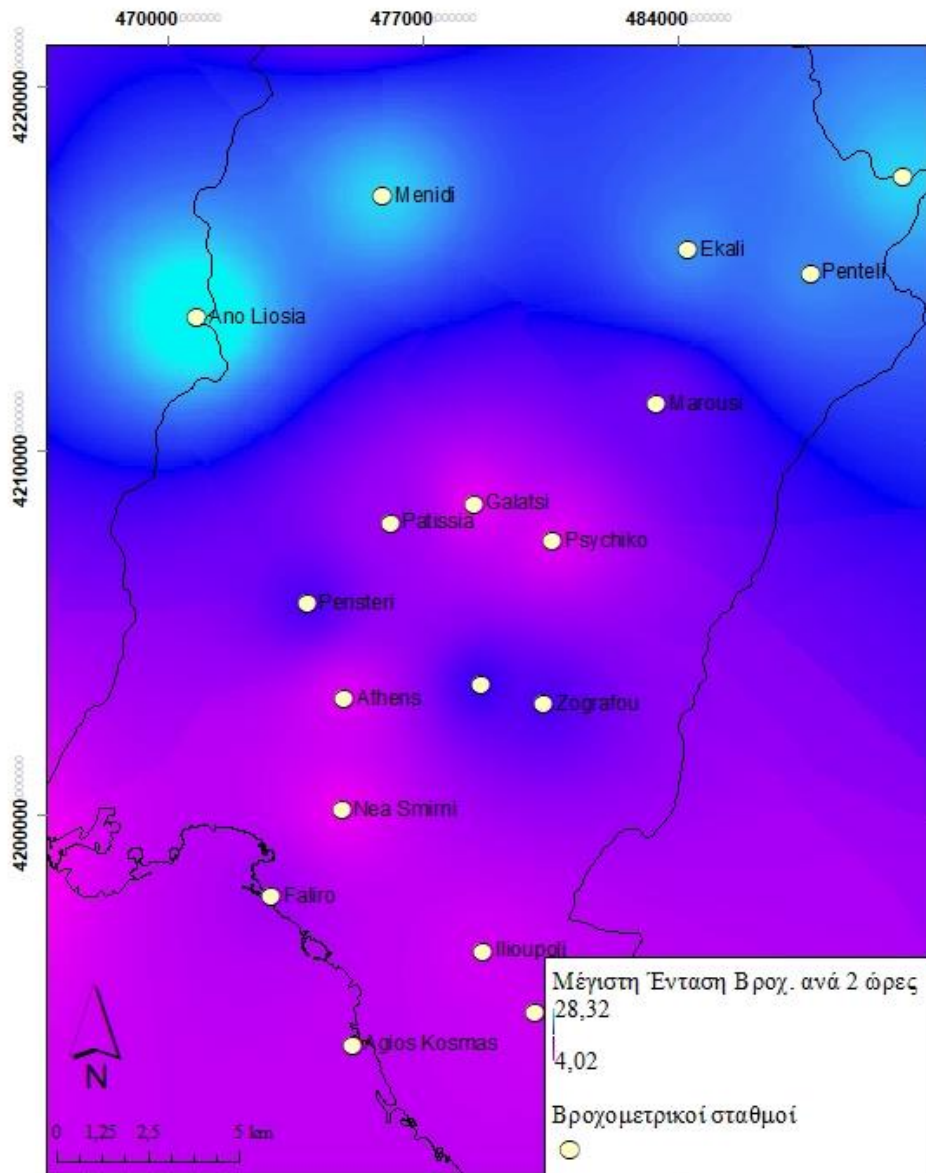
Σχήμα 38: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 30 λεπτών (επεισόδιο 2015).

ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 1 ΩΡΑΣ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015



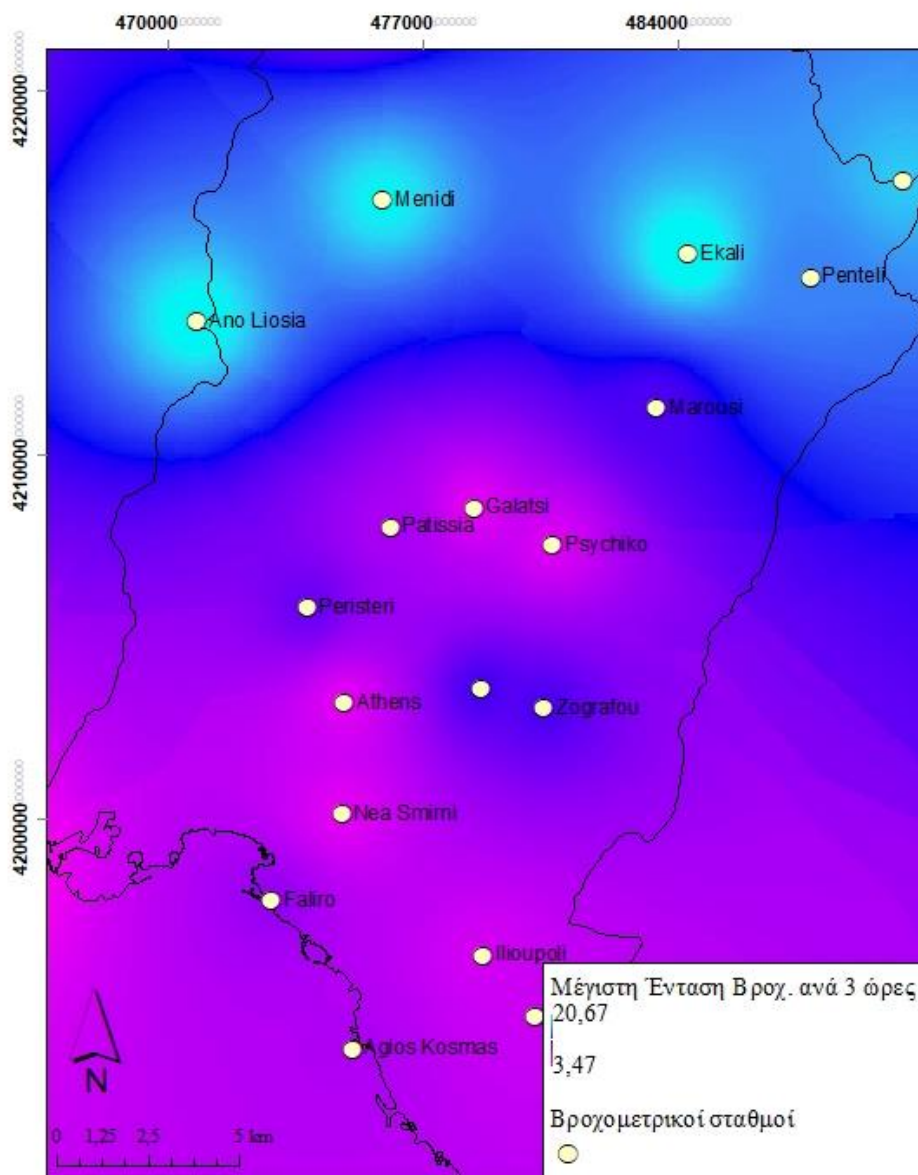
Σχήμα 39: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 1 ώρας (επεισόδιο 2015).

ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 2 ΩΡΩΝ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015



Σχήμα 40: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 2 ωρών (επεισόδιο 2015).

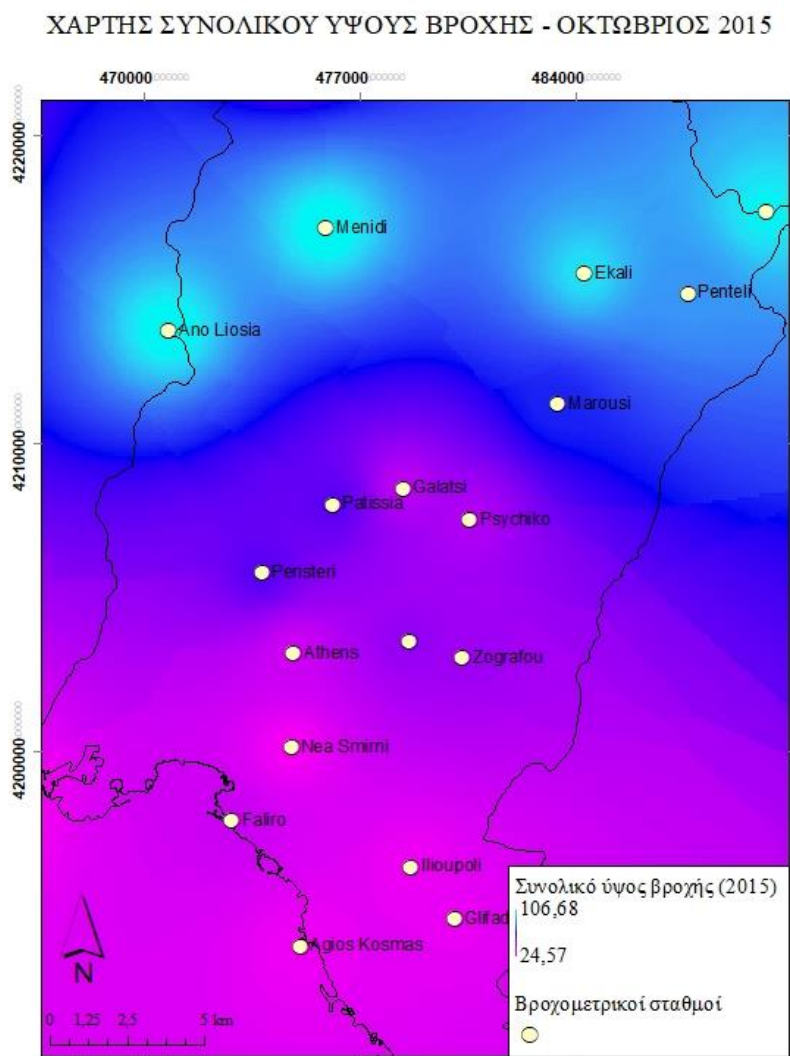
ΧΑΡΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ
ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ 3 ΩΡΩΝ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2015



Σχήμα 41: Χάρτης χωρικής κατανομής μέγιστης έντασης βροχόπτωσης για διάρκεια 3ωρών (επεισόδιο 2015).

Ολοκληρώνοντας και την ανάλυση αυτού του επεισοδίου βροχόπτωσης με τον χάρτη του Σχήματος 42, όπου το υψηλότερο συνολικό ύψος βροχής φαίνεται στους σταθμούς που αναφέρθηκαν και παραπάνω (Ανω Λιόσια, Μενίδι, Εκάλη) και η μέγιστη τιμή είναι στα 106.68 mm βροχής. Η χαμηλότερη τιμή είναι στα Κεντρικά και Νότια προάστια, με τιμή 24.57 mm βροχής.

Συγκρίνοντας όλα τα επεισόδια, συμπεραίνεται ότι το επεισόδιο του 2015 ήταν ακόμη πιο ισχυρό και από αυτό του 2013, παρόλα αυτά η διαφορά τους είναι ότι αυτό του 2013 επηρέασε περισσότερες περιοχές της Αττικής.



Σχήμα 42: Χάρτης χωρικής κατανομής συνολικού ύψους βροχής για το επεισόδιο του 2015.

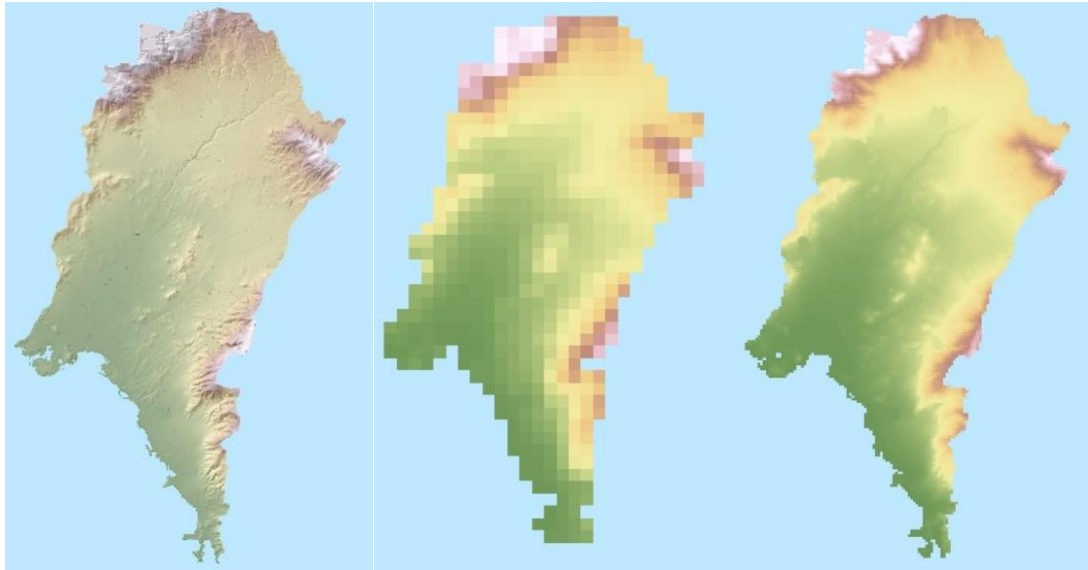
Συνεχίζοντας την παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της μεθοδολογίας στο ArcMap, με το εργαλείο Zonal Statistics, υπολογίζεται για κάθε φατνίο του εκάστοτε fishnet η μέση τιμή των φατνίων κάθε raster από τα προηγούμενα που αντιπροσωπεύουν τους στατικούς και δυναμικούς παράγοντες της ανάλυσης. Υπολογίζεται δηλαδή μία τιμή εξόδου για κάθε ζώνη στο σύνολο δεδομένων ζώνης εισόδου. Στη διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν όλοι οι παράγοντες

συμπεριλαμβανομένου του dem, slope, soil sealing, ευκλείδειας απόσταση από ρέματα, το συνολικό ύψος βροχής σε mm και οι διαφορετικές μέγιστες εντάσεις βροχής σε mm/h για διάρκειες 10min, 20min, 30min, 1hour, 2hour, 3hour.

Κατά τη δημιουργία των δύο διαφορετικών fishnet, δηλαδή για πλέγμα μεγέθους κελιού 1000 x 1000m και 200 x 200m, επιλέχθηκε να δημιουργηθεί και ένα ακόμη αρχείο το οποίο θα περιέχει αντίστοιχα σημεία με τα κέντρα των κελιών. Αυτή η διαδικασία έγινε για να αντληθούν οι τιμές των raster που προκύπτουν με την εφαρμογή της εντολής zonal statistics. Ο σημειακός πίνακας, λοιπόν, περιλαμβάνει όλες τις τιμές των παραγόντων και επιπλέον την μεταβλητή με τις τιμές των συνολικών κλήσεων ανά κελί ανάλυσης.

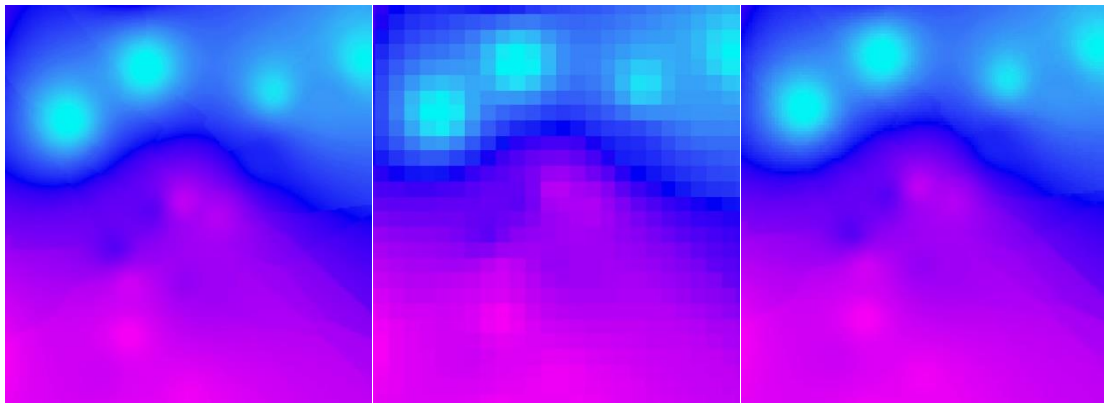
Για την δημιουργία του κανάβου/fishnet επιλέχθηκαν δύο μεγέθη 1000 x 1000m και 200 x 200m και έπειτα τα επιμέρους αποτελέσματα της εφαρμογής zonal statistics συνδέθηκαν με τις κλήσεις, σε επίπεδο κελιού, των τριών επεισοδίων πλημμύρας που εξετάζουμε.

Στο Σχήμα 43, παρουσιάζεται συγκριτικά αυτή η διαφοροποίηση στις τιμές του παράγοντα υψομέτρου (dem) για τις διαφορετικές τιμές μεγέθους φατνίου. Αριστερά φαίνεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους με την υψηλότερη ανάλυση, καθώς είναι αυτή που δόθηκε από την «Κτηματολόγιο Α.Ε.» και είναι ίση με 5 m. Η δεύτερη εικόνα είναι αυτή από το αρχείο raster που δημιουργήθηκε για να προσδιοριστεί η μέση τιμή υψομέτρων σε επίπεδο φατνίου για τον κάναβο (πλέγμα ανάλυσης, fishnet) των 1000 m, διαπιστώνεται να αλλοιώνεται σε μεγάλο βαθμό η ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους σε οπτικό επίπεδο. Τέλος, στην τρίτη και τελευταία εικόνα, η ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε είναι στα 200 m, δηλαδή ένα (μέσο) υψόμετρο ανά 200m x 200m.



Σχήμα 43: Σύγκριση μοντέλου dem με pixel size 5m, 1000m και 200m.

Υλοποιήθηκε ένα ακόμη παράδειγμα σύγκρισης, χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά τον παράγοντα του συνολικού ύψους βροχής για το πλημμυρικό επεισόδιο του 2015 (Σχήμα 44).



Σχήμα 44: Σύγκριση raster total precipitation (event2015) 5m, 1000 m, 200 m..

4.2 Στατιστική ανάλυση στο SPSS

Η ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis) είναι συνδεδεμένη με την ανάλυση συσχέτισης και αποτελεί μία από τις σημαντικότερες στατιστικές τεχνικές ανάλυσης δεδομένων με πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογών στις περισσότερες επιστήμες. Ο συντελεστής συσχέτισης δίνει μια ποσοτική εκτίμηση της σχέσης μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών. Με την παλινδρόμηση μπορούμε να προσεγγίσουμε τη μορφή της σχέσης αυτής και να προσδιορίσουμε σχέσεις αιτίου-αιτιατού ή αιτίου-αποτελέσματος. Η μορφή της σχέσης εκφράζεται ως μία εξίσωση (συναρτησιακή

σχέση) η οποία συνδέει τις μεταβλητές. Εφόσον προσδιοριστεί η μορφή της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών, έχουμε δημιουργήσει ένα μοντέλο το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί μια απλοποιημένη περιγραφή της πραγματικότητας.

Μία από τις μεταβλητές είναι η εξαρτημένη μεταβλητή (dependent ή response variable) η οποία είναι η μέτρηση. Οι τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής ερμηνεύονται από τις τιμές μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών (independent variables ή predictors ή input variables), οι οποίες είναι υπεισερχόμενες μεταβλητές και αποτελούν τους επεξηγηματικούς παράγοντες. Όταν χρησιμοποιείται μόνο μία ανεξάρτητη μεταβλητή, η παλινδρόμηση ονομάζεται *απλή*, ενώ όταν χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές, η παλινδρόμηση ονομάζεται *πολλαπλή*. Η ανάλυση παλινδρόμησης έχει μεγάλο εύρος εφαρμογών σε όλες τις επιστήμες και είναι θεμελιώδους σημασίας στη στατιστική ανάλυση. Έχει εφαρμογές στις φυσικές και τις κοινωνικές επιστήμες, στη Μετεωρολογία, στις νομικές επιστήμες, στις επιστήμες των Μηχανικών και της Πληροφορικής, στην Οικονομία, τη Βιομετρία και τις πειραματικές επιστήμες (Chatterjee and Hadi, 2015).

Για τη δημιουργία των δύο μοντέλων πολλαπλής παλινδρόμησης που ακολουθούν, κρίνεται αναγκαίος ο υπολογισμών δύο εξαρτημένων μεταβλητών. Στην πρώτη περίπτωση, στην ανάλυση της δυαδικής παλινδρόμησης (Binary) χρησιμοποιήθηκε ως ανεξάρτητη μεταβλητή η C, η οποία λαμβάνει δύο τιμές σύμφωνα με την εμφάνιση ή όχι πλημμυρικών συμβάντων εντός φατνίου ανάλυσης: $C=1 \rightarrow \text{ΝΑΙ}$, $C=0 \rightarrow \text{ΟΧΙ}$.

Στην δεύτερη περίπτωση, στην ανάλυση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε ως ανεξάρτητη μεταβλητή η N, δηλαδή ο αριθμός των πλημμυρισμένων κτηρίων που βρίσκονται σε κάθε κελί του κανάβου. Δηλαδή $N=0, 1, 2, 3, \dots, n$.

4.2.1 Binary

2013

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5), παρουσιάζονται τα μέτρα με τα οποία αξιολογείται η προσαρμογή του μοντέλου της δυαδικής παλινδρόμησης στα δεδομένα για το επεισόδιο πλημμύρας του Φεβρουαρίου του 2013 με την ανάλυση 200 m για το μέγεθος φατνίου ανάλυσης. Χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή C_DEPEN και ως ανεξάρτητες τους 12 παράγοντες που επηρεάζουν το γεγονός μιας πλημμύρας. Η παράμετρος αξιολόγησης του μοντέλου 'predicted'

φαίνεται να είναι στο 97,7%, δηλαδή αρκετά καλή πρόβλεψη. Στον Πίνακα 6 φαίνεται ακόμη ότι οι παράγοντες που παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα είναι οι TotalPCP και Dem (δηλαδή η συνολική βροχόπτωση και το υψόμετρο). Ωστόσο, αξιολογώντας συνολικά τα αποτελέσματα, φαίνεται ότι το μοντέλο με την πρώτη προσέγγιση που λαμβάνονται υπόψη όλοι οι παράγοντες δεν είναι ικανοποιητικό.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα δυαδικής παλινδρόμησης για το έτος 2013 με το fishnet των 200m.

Variables in the Equation							
		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a	Rain Intensity 2hour	,042	,152	,077	1	,782	1,043
	Rain Intensity 1hour	-,157	,115	1,849	1	,174	,855
	Rain Intensity 30min	,135	,094	2,079	1	,149	1,145
	Rain Intensity 20min	,041	,071	,332	1	,564	1,042
	Rain Intensity 10min	-,080	,038	4,477	1	,034	,923
	TotalPCP	,096	,034	8,022	1	,005	1,100
	Soil Sealing	,008	,004	4,319	1	,038	1,008
	Remata	,000	,000	1,558	1	,212	1,000
	Flow Accumulation	,000	,000	,512	1	,474	1,000
	Slope	-,005	,029	,030	1	,862	,995
	Dem	-,008	,002	15,483	1	,000	,992
	Constant	-10,044	1,822	30,399	1	,000	,000

Πίνακας 6: Αποτελέσματα δυαδικής παλινδρόμησης για το έτος 2013 με το fishnet των 200m.

Classification Table ^{a,b}					
		Predicted			
		C_DEPEN		Percentage Correct	
Observed		0	1		
	Step 0	C_DEPEN	0	8047	0
		1	189	0	,0
Overall Percentage					97,7

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7), παρουσιάζονται τα μέτρα με τα οποία αξιολογείται η προσαρμογή του μοντέλου της δυαδικής παλινδρόμησης στα δεδομένα για το επεισόδιο πλημμύρας του Φεβρουαρίου του 2013 με την ανάλυση με βάση το fishnet διάστασης φατινίου 1000 m. Χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή C_DEPEN και ως ανεξάρτητες τους 12 παράγοντες που επηρεάζουν το

γεγονός μιας πλημμύρας. Η παράμετρος αξιολόγησης του μοντέλου 'predicted' φαίνεται να είναι στο 69,3%, πρόβλεψη χαμηλότερη συγκριτικά με την προηγούμενη ανάλυση ψηφίδας. Στον Πίνακα 8, κανένας από τους παράγοντες δεν παρουσιάζουν στατιστική σημαντικότητα. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, φαίνεται ότι το μοντέλο δεν είναι ικανοποιητικό.

Πίνακας 7: Αποτελέσματα δυαδικής παλινδρόμησης για το έτος 2013 με το fishnet των 1000m.

Variables in the Equation							
		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a	Rain Intensity 3hour	,964	,482	3,999	1	,046	2,622
	Rain Intensity 2hour	-,493	,461	1,143	1	,285	,611
	Rain Intensity 1hour	-,053	,273	,038	1	,846	,948
	Rain Intensity 30min	-,277	,269	1,064	1	,302	,758
	Rain Intensity 20min	,433	,177	5,956	1	,015	1,542
	Rain Intensity 10min	-,077	,079	,962	1	,327	,926
	TotalPCP	-,037	,079	,220	1	,639	,964
	Soil Sealing	,010	,009	1,383	1	,240	1,010
	Slope	-,126	,068	3,415	1	,065	,881
	Dem	-,003	,005	,414	1	,520	,997
	Constant	-8,457	3,050	7,688	1	,006	,000

Πίνακας 8: Αποτελέσματα δυαδικής παλινδρόμησης για το έτος 2013 με το fishnet των 1000m.

Classification Table ^{a,b}					
		Predicted			
		C_DEPEN		Percentage Correct	
Observed			0		1
	Step 0	C_DEPEN	0	226	0
1			100	0	,0
Overall Percentage					69,3

2014

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 9), παρουσιάζονται τα μέτρα με τα οποία αξιολογείται η προσαρμογή του μοντέλου της δυαδικής παλινδρόμησης στα δεδομένα για το επεισόδιο πλημμύρας του Οκτώβριου του 2014 με την ανάλυση 200 m για το μέγεθος ψηφίδας. Χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή C_DEPEN και ως ανεξάρτητες τους 12 παράγοντες που επηρεάζουν το γεγονός μιας πλημμύρας. Η παράμετρος αξιολόγησης του μοντέλου 'predicted' φαίνεται να είναι

στο 97,8%, πρόβλεψη αρκετά καλή. Στον Πίνακα 10, παρουσιάζονται αρκετοί παράγοντες με στατιστική σημαντικότητα, κάποιιοι από αυτούς είναι: ο Rain Intensity 20min, τα Remata, το Dem. Έχοντας τα αποτελέσματα αυτά, φαίνεται ότι το μοντέλο είναι συγκριτικά πιο ικανοποιητικό, ωστόσο παρατηρείται διαφοροποίηση μεταξύ γεγονότων για την ίδια περιοχή.

Πίνακας 9: Αποτελέσματα δυαδικής παλινδρόμησης για το έτος 2014 με το fishnet των 200m.

		Variables in the Equation					
		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a	Rain Intensity 3hour	-8,049	2,200	13,384	1	,000	,000
	Rain Intensity 2hour	8,674	2,206	15,454	1	,000	5848,958
	Rain Intensity 1hour	-2,766	,636	18,914	1	,000	,063
	Rain Intensity 30min	1,116	,310	12,950	1	,000	3,052
	Rain Intensity 20min	-,453	,167	7,367	1	,007	,636
	Rain Intensity 10min	-,051	,036	2,020	1	,155	,950
	TotalPCP	,240	,111	4,655	1	,031	1,271
	Soil Sealing	,032	,005	34,712	1	,000	1,033
	Remata	-,001	,000	13,354	1	,000	,999
	Flow Accumulation	,000	,000	2,496	1	,114	1,000
	Slope	-,034	,047	,503	1	,478	,967
	Dem	-,028	,005	33,816	1	,000	,973
	Constant	-5,825	2,451	5,647	1	,017	,003

Πίνακας 10: Αποτελέσματα δυαδικής παλινδρόμησης για το έτος 2014 με το fishnet των 200m.

Classification Table ^{a,b}					
		Predicted			Percentage Correct
		C_DEPEN			
Observed		0	1		
Step 0	C_DEPEN 0	8057	0	100,0	
	C_DEPEN 1	184	0	,0	
Overall Percentage				97,8	

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 11), παρουσιάζονται τα μέτρα με τα οποία αξιολογείται η προσαρμογή του μοντέλου της δυαδικής παλινδρόμησης στα δεδομένα για το επεισόδιο πλημμύρας του Οκτώβριο του 2014 με την ανάλυση 1000 m. Χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή C_DEPEN και ως ανεξάρτητες τους παράγοντες Soil Sealing, Remata, Dem, TotalPCP, Rain Intensity

3hour, Rain Intensity 2hour, Rain Intensity 1hour, Rain Intensity 30min, Rain Intensity 20min, Rain Intensity 10min. Η παράμετρος αξιολόγησης του μοντέλου ‘predicted’ φαίνεται να είναι στο 80,1%, πρόβλεψη μικρότερη από την προηγούμενη ανάλυση των 200m. Στον Πίνακα 12, παρουσιάζονται μόνο δύο παράγοντες με στατιστική σημαντικότητα, αυτοί είναι: τα Remata και το Dem. Έχοντας τα αποτελέσματα αυτά, φαίνεται ότι το μοντέλο δεν είναι ικανοποιητικό, καθώς οι παράγοντες με στατιστική σημαντικότητα είναι ελάχιστοι.

Πίνακας 11: Αποτελέσματα δυαδικής παλινδρόμησης για το έτος 2014 με το fishnet των 1000m.

Variables in the Equation							
		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a	Soil Sealing	,007	,010	,415	1	,520	1,007
	Remata	-,001	,000	13,347	1	,000	,999
	Dem	-,030	,007	17,660	1	,000	,971
	TotalPCP	,311	,206	2,283	1	,131	1,365
	Rain Intensity 3hour	-9,833	3,802	6,690	1	,010	,000
	Rain Intensity 2hour	10,738	3,979	7,284	1	,007	46078,708
	Rain Intensity 1hour	-2,963	1,274	5,407	1	,020	,052
	Rain Intensity 30min	1,285	,740	3,012	1	,083	3,614
	Rain Intensity 20min	-,853	,414	4,244	1	,039	,426
	Rain Intensity 10min	,001	,083	,000	1	,994	1,001
	Constant	-,851	4,684	,033	1	,856	,427

a. Variable(s) entered on step 1: zonal1000_soilsealing, zonal1000_remata, zonal1000_dem, zonal1000_TotalPCP2014, zonal1000_RI3hour2014, zonal1000_RI2hour2014, zonal1000_RI1hour2014, zonal1000_RI30min2014, zonal1000_RI20min2014, zonal1000_RI10min2014.

Πίνακας 12: Αποτελέσματα δυαδικής παλινδρόμησης για το έτος 2014 με το fishnet των 1000m.

Classification Table ^{a,b}					
		Predicted			
		C_DEPEN		Percentage Correct	
Observed		0	1		
	Step 0	C_DEPEN 0	261	0	100,0
C_DEPEN 1		65	0	,0	
Overall Percentage				80,1	

2015

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 13), παρουσιάζονται τα μέτρα με τα οποία αξιολογείται η προσαρμογή του μοντέλου της δυαδικής παλινδρόμησης στα δεδομένα για το επεισόδιο πλημμύρας του Οκτώβριο του 2015 με την ανάλυση 200 m. Χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή C_DEPEN και ως ανεξάρτητες τους 12 παράγοντες. Η παράμετρος ‘predicted’ φαίνεται να είναι στο 98,2%, πρόβλεψη αρκετά ικανοποιητική. Στον Πίνακα 14, παρουσιάζονται έξι παράγοντες με στατιστική σημαντικότητα, αυτοί είναι: τα Remata, το Slope και το Dem. Έχοντας τα αποτελέσματα αυτά, φαίνεται ότι το μοντέλο είναι ικανοποιητικό, καθώς οι παράγοντες με στατιστική σημαντικότητα είναι αρκετοί.

Πίνακας 13: Αποτελέσματα δυαδικής παλινδρόμησης για το έτος 2015 με το fishnet των 200m.

Variables in the Equation							
		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a	Rain Intensity 3hour	1,311	,324	16,335	1	,000	3,708
	Rain Intensity 2hour	,949	,280	11,497	1	,001	2,583
	Rain Intensity 1hour	-1,845	,246	56,256	1	,000	,158
	Rain Intensity 30min	,273	,279	,954	1	,329	1,314
	Rain Intensity 20min	-,023	,136	,028	1	,866	,977
	Rain Intensity 10min	,036	,087	,171	1	,680	1,036
	TotalPCP	,010	,037	,068	1	,795	1,010
	Soil Sealing	,027	,005	33,378	1	,000	1,027
	Remata	-,001	,000	21,482	1	,000	,999
	Flow Accumulation	,000	,000	,037	1	,846	1,000
	Slope	-,134	,048	7,742	1	,005	,874
	Dem	,000	,003	,003	1	,958	1,000
	Constant	-5,502	1,232	19,932	1	,000	,004

Πίνακας 14: Αποτελέσματα δυαδικής παλινδρόμησης για το έτος 2015 με το fishnet των 200m.

Classification Table ^{a,b}				
		Predicted		
		C_DEPEN		Percentage Correct
Observed		0	1	
	Step 0	C_DEPEN 0	8089	0
C_DEPEN 1		152	0	,0
Overall Percentage				98,2

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 15), παρουσιάζονται τα μέτρα με τα οποία αξιολογείται η προσαρμογή του μοντέλου της δυαδικής παλινδρόμησης στα δεδομένα για το επεισόδιο πλημμύρας του Οκτώβριο του 2015 με την ανάλυση 1000 m. Χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή C_DEPEN και ως ανεξάρτητες τους παράγοντες Soil Sealing, Remata, TotalPCP, Rain Intensity 3hour, Rain Intensity 2hour, Rain Intensity 1hour, Rain Intensity 30min, Rain Intensity 20min, Rain Intensity 10min. Η παράμετρος predicted φαίνεται να είναι στο 75,8%, πρόβλεψη χαμηλότερη από το προηγούμενο τεστ του ίδιου επεισοδίου πλημμύρας. Στον Πίνακα 16, παρουσιάζονται τέσσερις παράγοντες με στατιστική σημαντικότητα, κάποιιοι από αυτούς είναι: τα Remata και το Soil Sealing. Έχοντας τα αποτελέσματα αυτά, φαίνεται ότι το μοντέλο είναι ικανοποιητικό, καθώς οι παράγοντες με στατιστική σημαντικότητα είναι αρκετοί καθώς φαίνεται να είναι οι μισοί από αυτούς που εισήχθησαν σαν δεδομένα.

Πίνακας 15: Αποτελέσματα δυαδικής παλινδρόμησης για το έτος 2015 με το fishnet των 1000m.

Variables in the Equation							
		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a	Soil Sealing	,028	,008	11,367	1	,001	1,028
	Remata	-,001	,000	12,318	1	,000	,999
	TotalPCP	,063	,060	1,090	1	,296	1,065
	Rain Intensity 3hour	,877	,465	3,554	1	,059	2,405
	Rain Intensity 2hour	1,380	,439	9,861	1	,002	3,974
	Rain Intensity 1hour	-1,992	,424	22,113	1	,000	,136
	Rain Intensity 30min	-,013	,454	,001	1	,977	,987
	Rain Intensity 20min	,285	,262	1,182	1	,277	1,330
	Rain Intensity 10min	-,048	,094	,263	1	,608	,953
	Constant	-2,652	1,747	2,304	1	,129	,071

Πίνακας 16: Αποτελέσματα δυαδικής παλινδρόμησης για το έτος 2015 με το fishnet των 1000m.

Classification Table ^{a,b}					
		Predicted			
		C_DEPEN		Percentage Correct	
Observed	C_DEPEN	0	1		
		Step 0	C_DEPEN	0	247
1	79			0	,0

	Overall Percentage			75,8
--	--------------------	--	--	------

4.2.2 Linear

2013

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 17), παρουσιάζονται τα μέτρα με τα οποία αξιολογείται η προσαρμογή του μοντέλου της παλινδρόμησης στα δεδομένα. Αναπτύσσονται τα αποτελέσματα της γραμμικής παλινδρόμησης για το επεισόδιο πλημμύρας του Φεβρουαρίου του 2013 με την ανάλυση 200 m. Χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή N_DEPEN και ως ανεξάρτητες τους 12 παράγοντες που επηρεάζουν το γεγονός μιας πλημμύρας, παρουσιάζεται ο δείκτης R (0.146), ο οποίος είναι ο δείκτης συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών (εδώ πτωχή), ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 (0.021) και ο συντελεστής Adjusted R^2 ο οποίος δηλώνει την προβλεπτική μεταβλητή (0.020). Η παλινδρόμηση αξιολογείται πρωτίστως από τον συντελεστή προσδιορισμού R^2 . Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα, επειδή ερμηνεύεται η διασπορά της εξαρτημένης μεταβλητής το αντίστοιχο ποσοστό. Το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης εμφανίζεται στη στήλη Std. Error of the Estimate και ισούται με 0,197. Αυτό είναι το μέσο σφάλμα εκτίμησης ανά παρατήρηση και είναι χαμηλό. Στον Πίνακα 18 των αποτελεσμάτων με τον τίτλο ANOVA παρουσιάζεται η ανάλυση της διασποράς σε ερμηνευόμενη (Regression) και μη (Residual) μορφή. Φαίνεται η στατιστική σημαντικότητα του λόγου F να είναι 0.000. Αυτό το τεστ αξιολογεί την υπόθεση ότι η πρόβλεψη είναι σημαντική ή τυχαία. Στο παράδειγμα αυτό φαίνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση της εξαρτημένης από την ανεξάρτητη μεταβλητή. Στον Πίνακα 19, παρουσιάζεται το B, η κλίση της γραμμικής παλινδρόμησης, το οποίο για τους παράγοντες Rain Intensity 2hour, Rain Intensity 30min, Dem, έχει σχετικά τις μεγαλύτερες τιμές και φαίνεται πως οι μεταβλητές σχετίζονται μεταξύ τους, ενώ για τους λοιπούς παράγοντες εμφανίζεται με αρνητικό πρόσημο, όπως για παράδειγμα οι παράγοντες Remata και Flow Accumulation. Ακόμη, σε αυτή τη δοκιμή οι παράγοντες Rain Intensity 10min, TotalPCP, Soil Sealing, Remata, Flow Accumulation, Slope και Dem φαίνεται να μην είναι στατιστικά σημαντικοί καθώς ο δείκτης Sig. είναι πολύ μεγαλύτερος του 0.005.

Πίνακας 17: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2013 με το fishnet των 200m.

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,146 ^a	,021	,020	,197

Πίνακας 18: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2013 με το fishnet των 200m.

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6,891	11	,626	16,197	,000 ^b
	Residual	318,071	8224	,039		
	Total	324,962	8235			

Πίνακας 19: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2013 με το fishnet των 200m.

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-,039	,024		-1,635	,102
	Rain Intensity 2hour	,013	,004	,184	3,515	,000
	Rain Intensity 1hour	-,020	,003	-,438	-5,929	,000
	Rain Intensity 30min	,017	,004	,625	4,839	,000
	Rain Intensity 20min	-,007	,002	-,295	-2,866	,004
	Rain Intensity 10min	,001	,001	,037	,569	,570
	TotalPCP	,000	,000	-,028	-,960	,337
	Soil Sealing	,000	,000	,046	2,707	,007
	Remata	-1,792E-6	,000	-,007	-,532	,595
	Flow Accumulation	-4,651E-8	,000	-,006	-,555	,579
	Slope	,000	,001	-,005	-,302	,763
	Dem	2,890E-6	,000	,003	,126	,900

Οι παρακάτω τρεις πίνακες (20 - 22) αφορούν την περίπτωση του επεισοδίου πλημμύρας του Φεβρουαρίου του 2013 με την ανάλυση 1000 m. Χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή N_DEPEN και ως ανεξάρτητες τις εικονιζόμενες στον Πίνακα 22 έγινε μία διαφορετική δοκιμή χρησιμοποιώντας τους υπόψη

παράγοντες (Rain Intensity per 3 hours / 2 hours / 1 hour / 30 min / 20 min / 10 min, Total PCP και τον παράγοντα της αδιαπερατότητας του εδάφους). Το μοντέλο, όπως αναμενόταν, διαφοροποιείται.

Παρόλο που σε αυτή την ανάλυση έχει πραγματοποιηθεί δοκιμή μόνο τους παράγοντες που έχουν στατιστική σημαντικότητα, φαίνεται πως αλλάζοντας μέγεθος ψηφίδας το μοντέλο δεν οδηγεί σε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Πίνακας 20: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2013 με το fishnet των 1000m.

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,472 ^a	,223	,203	1,392

Πίνακας 21: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2013 με το fishnet των 1000m.

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	175,902	8	21,988	11,340	,000 ^b
	Residual	614,653	317	1,939		
	Total	790,555	325			

Πίνακας 22: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2013 με το fishnet των 1000m.

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-,827	,619		-1,337	,182
	Rain Intensity 3hour	,261	,183	,467	1,426	,155
	Rain Intensity 2hour	,137	,224	,246	,610	,542
	Rain Intensity 1hour	-,475	,130	-1,324	-3,651	,000
	Rain Intensity 30min	,381	,132	1,790	2,891	,004
	Rain Intensity 20min	-,134	,089	-,751	-1,517	,130
	Rain Intensity 10min	,001	,035	,012	,039	,969
	TotalPCP	-,025	,018	-,195	-1,366	,173
	Soil Sealing	,006	,004	,132	1,678	,094

Διαπιστώνεται πως και στα δύο τεστ που υλοποιήθηκαν για μέγεθος κελιού 1000m και 200m, ο παράγοντας που έχει την υψηλότερη θετική επιρροή είναι αυτός του DEM στο πρώτο τεστ με την μεταβλητή B να ισούται με 2,890E-6 και στο δεύτερο τεστ των 1000m ανάλυσης είναι αυτός της Rain Intensity 3hour που ισούται με 0,261. Αντίστοιχα, ο παράγοντας με την υψηλότερη αρνητική επίδραση είναι η κλίση.

2014

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 23), παρουσιάζονται τα μέτρα με τα οποία αξιολογείται η προσαρμογή του μοντέλου της παλινδρόμησης στα δεδομένα. Αναπτύσσονται τα αποτελέσματα τις γραμμικής παλινδρόμησης για το επεισόδιο πλημμύρας του Οκτωβρίου του 2014 με την ανάλυση 200 m. Χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή N_DEPEN και ως ανεξάρτητες τους 12 παράγοντες που επηρεάζουν το γεγονός μιας πλημμύρας, παρουσιάζεται ο δείκτης R (0.164), ο οποίος είναι ο δείκτης συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών, ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 (0.027) και ο συντελεστής Adjusted R^2 ο οποίος δηλώνει την προβλεπτική μεταβλητή (0.025).

Η παλινδρόμηση αξιολογείται πρωτίστως από τον συντελεστή προσδιορισμού R^2 . Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα, επειδή ερμηνεύεται η διασπορά της εξαρτημένης μεταβλητής το αντίστοιχο ποσοστό. Το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης εμφανίζεται στη στήλη Std. Error of the Estimate και ισούται με 0,265. Αυτό είναι το μέσο σφάλμα εκτίμησης ανά παρατήρηση και είναι χαμηλό. Στον Πίνακα 24 των αποτελεσμάτων ANOVA, φαίνεται η στατιστική σημαντικότητα του λόγου F να είναι 0.000. Αυτό το τεστ αξιολογεί την υπόθεση ότι η πρόβλεψη σημαντική ή τυχαία.

Στον Πίνακα 25, παρουσιάζεται το B, η κλίση της γραμμικής παλινδρόμησης, όπου για τους παράγοντες Rain Intensity 30min, Rain Intensity 3hour, έχει σχετικά τις μεγαλύτερες τιμές και φαίνεται πως οι μεταβλητές σχετίζονται μεταξύ τους, ενώ για τους λοιπούς παράγοντες εμφανίζεται με αρνητικό πρόσημο, όπως για παράδειγμα οι παράγοντες Remata και Flow Accumulation. Ακόμη, σε αυτή τη δοκιμή οι παράγοντες Rain Intensity 30min, Rain Intensity 20min, Rain Intensity 10min, Soil Sealing φαίνεται να μην είναι στατιστικά σημαντικοί καθώς ο δείκτης Sig. είναι πολύ μεγαλύτερος του 0.005.

Πίνακας 23: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2014 με το fishnet των 200m.

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,164 ^a	,027	,025	,265

Πίνακας 24: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2014 με το fishnet των 200m.

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	15,967	12	1,331	18,938	,000 ^b
	Residual	578,121	8228	,070		
	Total	594,088	8240			

Πίνακας 25: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2014 με το fishnet των 200m.

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-,038	,047		-,823	,410
	Rain Intensity 3hour	,013	,027	,131	,504	,614
	Rain Intensity 2hour	-,019	,031	-,239	-,609	,542
	Rain Intensity 1hour	-,017	,010	-,349	-1,663	,096
	Rain Intensity 30min	,043	,007	1,407	6,149	,000
	Rain Intensity 20min	-,033	,005	-1,184	-7,012	,000
	Rain Intensity 10min	,006	,001	,179	4,904	,000
	TotalPCP	,003	,002	,108	1,799	,072
	Soil Sealing	,001	,000	,139	7,932	,000
	Remata	-3,061E-6	,000	-,008	-,655	,513
	Flow Accumulation	-1,126E-7	,000	-,011	-1,001	,317
	Slope	,000	,001	-,006	-,333	,739
	Dem	-3,243E-5	,000	-,025	-,891	,373

Οι παρακάτω τρεις πίνακες (26 - 28) αφορούν την περίπτωση του επεισοδίου πλημμύρας του Οκτωβρίου του 2014 με την ανάλυση 1000 m. Χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή N_DEPEN και ως ανεξάρτητες τους παράγοντες Rain Intensity per 3 hours / 2 hours / 1 hour / 30 min / 20 min / 10 min, Total PCP, τα

ρέματα και τον παράγοντα της αδιαπερατότητας του εδάφους, έγινε μία διαφορετική δοκιμή και παρατηρήθηκε ότι όλοι οι παράμετροι του νέου μοντέλου αυξήθηκαν συγκριτικά με αυτούς του προηγούμενου. Ακόμη στον Πίνακα 28, μόνο τρεις παράγοντες φαίνονται να έχουν στατιστική σημαντικότητα και αυτοί είναι οι Rain Intensity per 20 min και 30min και αυτός της αδιαπερατότητας του εδάφους.

Πίνακας 26: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2014 με το fishnet των 1000m.

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,424 ^a	,180	,157	2,271

Πίνακας 27: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2014 με το fishnet των 1000m.

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	357,527	9	39,725	7,700	,000 ^b
	Residual	1630,193	316	5,159		
	Total	1987,721	325			

Πίνακας 28: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2014 με το fishnet των 1000m.

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,506	1,302		,389	,698
	Soil Sealing	,029	,005	,390	5,608	,000
	Remata	,000	,000	-,112	-1,778	,076
	Flow Accumulation	-3,440E-6	,000	-,017	-,305	,761
	Rain Intensity 3hour	,663	1,054	,689	,629	,530
	Rain Intensity 2hour	-,449	1,100	-,618	-,408	,683
	Rain Intensity 1hour	-,518	,339	-1,115	-1,526	,128
	Rain Intensity 30min	1,078	,294	3,772	3,671	,000
	Rain Intensity 20min	-,796	,210	-3,051	-3,799	,000
	Rain Intensity 10min	,126	,050	,421	2,514	,012

2015

Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 29), παρουσιάζονται τα μέτρα με τα οποία αξιολογείται η προσαρμογή του μοντέλου της παλινδρόμησης στα δεδομένα. Αναπτύσσονται τα αποτελέσματα τις γραμμικής παλινδρόμησης για το επεισόδιο πλημμύρας του Οκτωβρίου του 2015 με την ανάλυση 200 m. Χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή N_DEPEN και ως ανεξάρτητες τους 12 παράγοντες που επηρεάζουν το γεγονός μιας πλημμύρας, παρουσιάζεται ο δείκτης R (0.151), ο οποίος είναι ο δείκτης συσχέτισης μεταξύ των δύο μεταβλητών, ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 (0.023) και ο συντελεστής Adjusted R^2 ο οποίος δηλώνει την προβλεπτική μεταβλητή (0.021).

Η παλινδρόμηση αξιολογείται πρωτίστως από τον συντελεστή προσδιορισμού R^2 . Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα, επειδή ερμηνεύεται η διασπορά της εξαρτημένης μεταβλητής το αντίστοιχο ποσοστό. Το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης εμφανίζεται στη στήλη Std. Error of the Estimate και ισούται με 0,188. Αυτό είναι το μέσο σφάλμα εκτίμησης ανά παρατήρηση και είναι χαμηλό. Στον πίνακα 36 των αποτελεσμάτων ANOVA, φαίνεται η στατιστική σημαντικότητα του λόγου F να είναι 0.000. Αυτό το τεστ αξιολογεί την υπόθεση ότι η πρόβλεψη σημαντική ή τυχαία. Στο παράδειγμα αυτό φαίνεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση της εξαρτημένης από την ανεξάρτητη μεταβλητή μόνο στο μοντέλο του κανάβο των 200 m.

Στον Πίνακα 31, παρουσιάζεται το B, η κλίση της γραμμικής παλινδρόμησης, το οποίο για τους περισσότερους παράγοντες έχει σχετικά τις καλές τιμές και φαίνεται πως οι μεταβλητές σχετίζονται μεταξύ τους, ενώ για τους λίγους είναι οι παράγοντες με αρνητικό πρόσημο, όπως για παράδειγμα οι παράγοντες Rain Intensity 1 hour, Rain Intensity 10min και για αυτόν των ρεμάτων. Ακόμη, σε αυτή τη δοκιμή οι παράγοντες Rain Intensity 30min, Rain Intensity 20min, Rain Intensity 10min, TotalPCP, Flow Accumulation, Slope και Dem, φαίνεται να μην είναι στατιστικά σημαντικοί καθώς ο δείκτης Sig. είναι πολύ μεγαλύτερος του 0.005.

Πίνακας 29: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2015 με το fishnet των 200m.

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,151 ^a	,023	,021	,188

Πίνακας 30: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2015 με το fishnet των 200m.

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	6,749	12	,562	15,968	,000 ^b
	Residual	289,824	8228	,035		
	Total	296,573	8240			

Πίνακας 31: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2015 με το fishnet των 200m.

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-,007	,022		-,314	,753
	Rain Intensity 3hour	,021	,005	,434	4,099	,000
	Rain Intensity 2hour	,019	,006	,458	3,291	,001
	Rain Intensity 1hour	-,034	,005	-1,154	-6,300	,000
	Rain Intensity 30min	,004	,005	,242	,786	,432
	Rain Intensity 20min	,003	,003	,193	,847	,397
	Rain Intensity 10min	-,002	,001	-,125	-1,656	,098
	TotalPCP	,000	,001	,045	,605	,545
	Soil Sealing	,001	,000	,136	7,787	,000
	Remata	-1,454E-5	,000	-,056	-4,240	,000
	Flow Accumulation	5,778E-8	,000	,008	,726	,468
	Slope	,000	,001	-,017	-,945	,345
	Dem	5,659E-5	,000	,062	2,439	,015

Οι παρακάτω τρεις πίνακες (32 - 34) αφορούν την περίπτωση του επεισοδίου πλημμύρας του Οκτωβρίου του 2015 με την ανάλυση 1000 m. Χρησιμοποιώντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή N_DEPEN και ως ανεξάρτητες τους παράγοντες Rain Intensity per 3 hours / 2 hours / 1 hour / 30 min / 20 min / 10 min, Total PCP, τα ρέματα, slope, dem και τον παράγοντα της αδιαπερατότητας του εδάφους, έγινε μία διαφορετική δοκιμή. Μόνο τρεις παράγοντες φαίνονται να έχουν στατιστική σημαντικότητα και αυτοί είναι οι Rain Intensity per 1 hour και 3 hour και αυτό της αδιαπερατότητας του εδάφους. Σε αυτή την ανάλυση έγινε δοκιμή μόνο στους παράγοντες που έχουν στατιστική σημαντικότητα φαίνεται το μοντέλο αλλάζοντας

μέγεθος ψηφίδας να έχει πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα σε σχέση με το προηγούμενο.

Πίνακας 32: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2015 με το fishnet των 1000m.

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,403 ^a	,162	,136	1,485

Πίνακας 33: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2015 με το fishnet των 1000m.

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	134,459	10	13,446	6,101	,000 ^b
	Residual	694,280	315	2,204		
	Total	828,739	325			

Πίνακας 34: Αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης για το έτος 2015 με το fishnet των 1000m.

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-,204	,874		-,233	,816
	Soil Sealing	,018	,005	,368	3,725	,000
	Remata	,000	,000	-,189	-2,687	,008
	Slope	-,021	,029	-,077	-,708	,479
	Dem	,002	,001	,226	1,582	,115
	Rain Intensity 3hour	,521	,163	1,269	3,189	,002
	Rain Intensity 2hour	,557	,235	1,584	2,368	,018
	Rain Intensity 1hour	-,872	,197	-3,598	-4,424	,000
	Rain Intensity 30min	,126	,217	,870	,580	,562
	Rain Intensity 20min	,053	,135	,453	,390	,697
	Rain Intensity 10min	-,035	,042	-,321	-,832	,406

4.3 Συζήτηση επί των αποτελεσμάτων της παλινδρόμησης

Η εφαρμογή της δυαδικής παλινδρόμησης (BLR) σε δύο διαφορετικά πλέγματα έδειξε ότι ορισμένοι παράγοντες είναι πράγματι στατιστικά σημαντικοί για τη διατύπωση ενός μοντέλου που θα εκφράζει το ενδεχόμενο εμφάνισης πλημμυρών, που σημαίνει ότι η πιθανότητα για αυτούς τους παράγοντες βρέθηκε να είναι μικρότερη από 0,05. Αυτό υπονοεί ότι η μηδενική υπόθεση (δηλαδή ο «συντελεστής b» ισούται με στο μηδέν για μια μεταβλητή) απορρίφθηκε για αυτούς τους συγκεκριμένους παράγοντες.

Μεταξύ των παραγόντων που εξετάστηκαν, οι μέγιστες εντάσεις βροχής διάρκειες ίσες με 10 λεπτά, 20 λεπτά και 30 λεπτά, δεν έδειξαν στατιστική σημασία. Από την άλλη πλευρά, βρέθηκαν ότι οι μέγιστες εντάσεις 1, 2 και 3 ωρών φάνηκαν να είναι στατιστικά σημαντικές (σημείο 0.05). Η απόδοση του μοντέλου δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης αξιολογήθηκε από το συντελεστή της ικανότητας πρόβλεψης (πίνακες με predicted) με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Για το επεισόδια του 2013, η ανάλυση έδειξε τιμή του δείκτη ίση με 97,7% στο πλέγμα μεγέθους 200 m και 69,3% στο πλέγμα 1000 m, δείχνοντας μια μέτρια έως ισχυρή συνοχή για το μοντέλο και μία πολύ καλή τιμή πρόβλεψης για τον κánaβο των 200m. Η συγκεκριμένη διαπίστωση είναι διαφορετική από την ανάλυση των Diakakis et al. (2016) που σύγκριναν τα ανάλογα αποτελέσματα για πλέγματα ανάλυσης ίσα με 500 και 1000 m και για το ίδιο πλημμυρικό συμβάν. Στο επεισόδιο του 2014, η αξιολόγηση του μοντέλου φαίνεται αρκετά καλή για άλλη μία φορά στον κánaβο των 200 m φτάνοντας την τιμή 97,8%. Στο τελευταίο γεγονός του 2015, για τον κánaβο των 1000m η πρόβλεψη δεν είναι ικανοποιητική καθώς είναι ίση με 75,8%, ενώ στα 200m το μοντέλο φαίνεται να είναι σαφώς βελτιωμένο με τιμή predicted ίση με 98,2%. Αξίζει να σημειωθεί ότι ιδιαίτερη σημασία για τα παραπάνω αποτελέσματα έχει το γεωγραφικό όριο της ανάλυσης που επιλέγεται καθώς είναι αυτό που τελικά διαμορφώνει και τα δεδομένα εισόδου για τη στατιστική ανάλυση.

Στην περίπτωση της γραμμικής παλινδρόμησης (GLM), έγινε πάλι η ανάλυση σε δύο διαφορετικά πλέγματα, η οποία έδειξε ότι ορισμένοι παράγοντες είναι πράγματι στατιστικά σημαντικοί στην εμφάνιση πλημμυρών, που σημαίνει ότι η πιθανότητα για αυτούς τους παράγοντες βρέθηκε να είναι μικρότερη από 0,05 για τις μέγιστες εντάσεις 1, 2 και 3 ωρών, 30, 20 λεπτών, όπως και για τον παράγοντα της αδιαπερατότητας του εδάφους. Οι λοιποί παράγοντες δεν εμφάνισαν σημαντικότητα.

Υλοποιώντας διαφορετικούς συνδυασμούς μεταξύ των παραγόντων γενικά η δυαδική λογιστική παλινδρόμηση που χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη των πλημμυρών επιτυγχάνει υψηλότερη ικανότητα πρόβλεψης, σε σύγκριση με την ικανότητα της γενικευμένης γραμμικής παλινδρόμησης, μοντέλο που χρησιμοποιείται για το μέγεθος του αντίκτυπου της πλημμύρας (impact) σε επίπεδο φατνίου ανάλυσης.

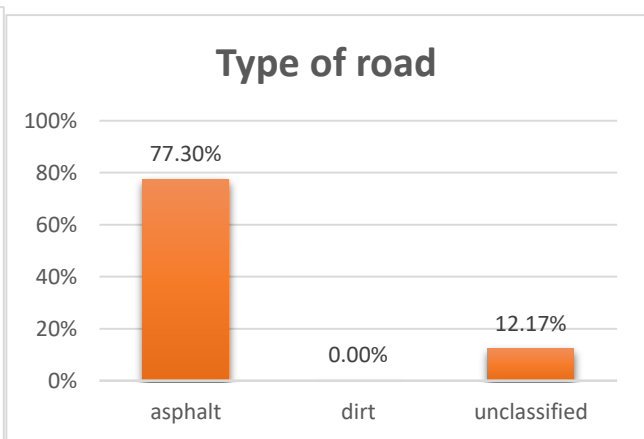
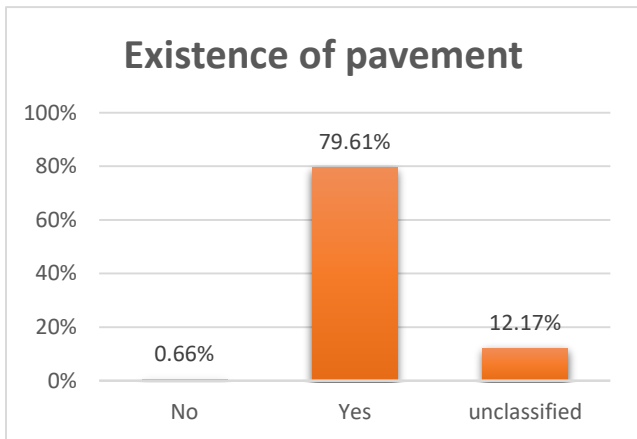
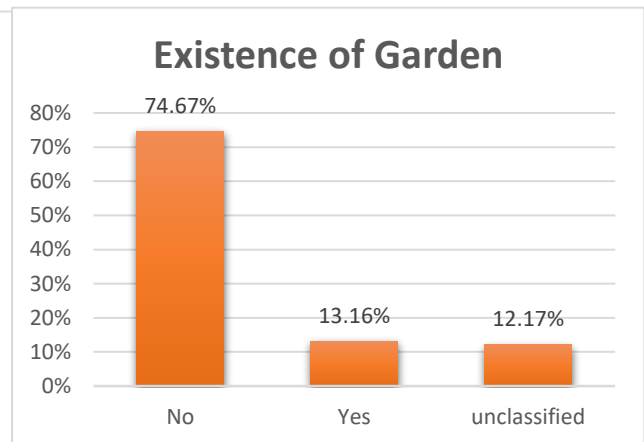
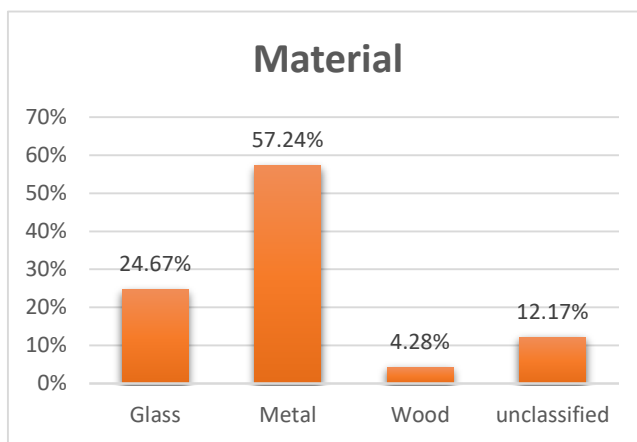
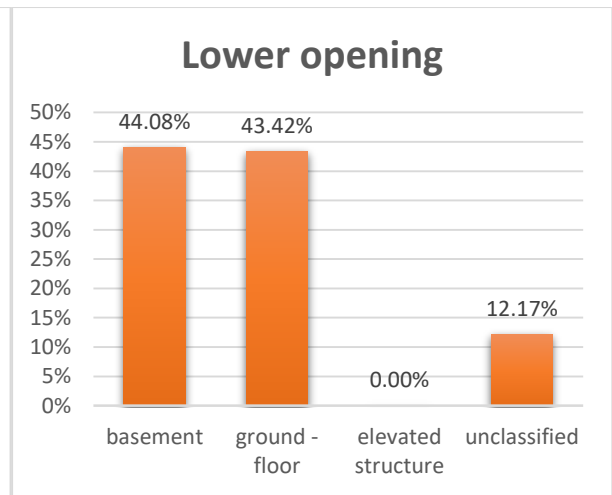
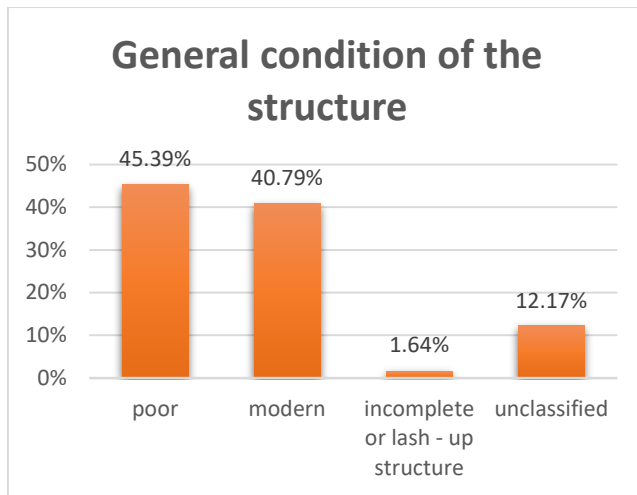
4.4 Ανάλυση χαρακτηριστικών κατασκευών

Τα παρακάτω διαγράμματα συχνότητας που δημιουργήθηκαν, αφορούν τα χαρακτηριστικά των κατασκευών όπως αυτά περιγράφονται σε παραπάνω κεφάλαιο. Αυτά τα αποτελέσματα αφορούν το πλημμυρικό γεγονός του 2013 και από το παρακάτω σχήμα διαπιστώνεται ότι στους Δήμους που συνέβη (Χαιδαρίου, Καλλιθέας, Νίκαιας, κ.λπ.), το ποσοστό των κατασκευών που χαρακτηρίζονται ως «σύγχρονες/modern» είναι στο 93,2%. Παρατηρείται ακόμη ότι το 54,12% των κατασκευών έχουν ως εξωτερική πόρτα εισόδου κατασκευασμένη από το πλέον τρωτό υλικό (γυάλινη), χαρακτηριστικό που ευνοεί μία πλημμύρα, όπως και ότι το 58,12% αυτών διαθέτει κήπο στο κτήριο, παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την ένταση του γεγονότος, απορροφώντας ποσότητα ύδατος. Φαίνεται ακόμη ότι το 95,9%, από τα κτήρια που καταγράφηκαν, ο δρόμος που διέρχεται έξω από αυτά είναι άσφαλτος, ελάχιστες ήταν οι περιπτώσεις όπου είναι χωματόδρομος (0,47%). Τέλος, ο παράγοντας για τη θέση του κτηρίου σε σχέση με το επίπεδο του δρόμου είναι ο τελευταίος που κατεγράφη. Αναλυτικότερα το 24,71% των κτηρίων φαίνεται να είναι υπόγεια – ημιυπόγεια, το 60,24% είναι ισόγειες κατασκευές, και το μικρότερο ποσοστό ανήκει στα υπερυψωμένα κτήρια με ποσοστό 10,82%, όπως αναμενόταν. Στο Σχήμα 45 συνοψίζονται τα διαγράμματα συχνότητας για κάθε παράγοντα και για το επεισόδιο του Φεβρουαρίου 2013.

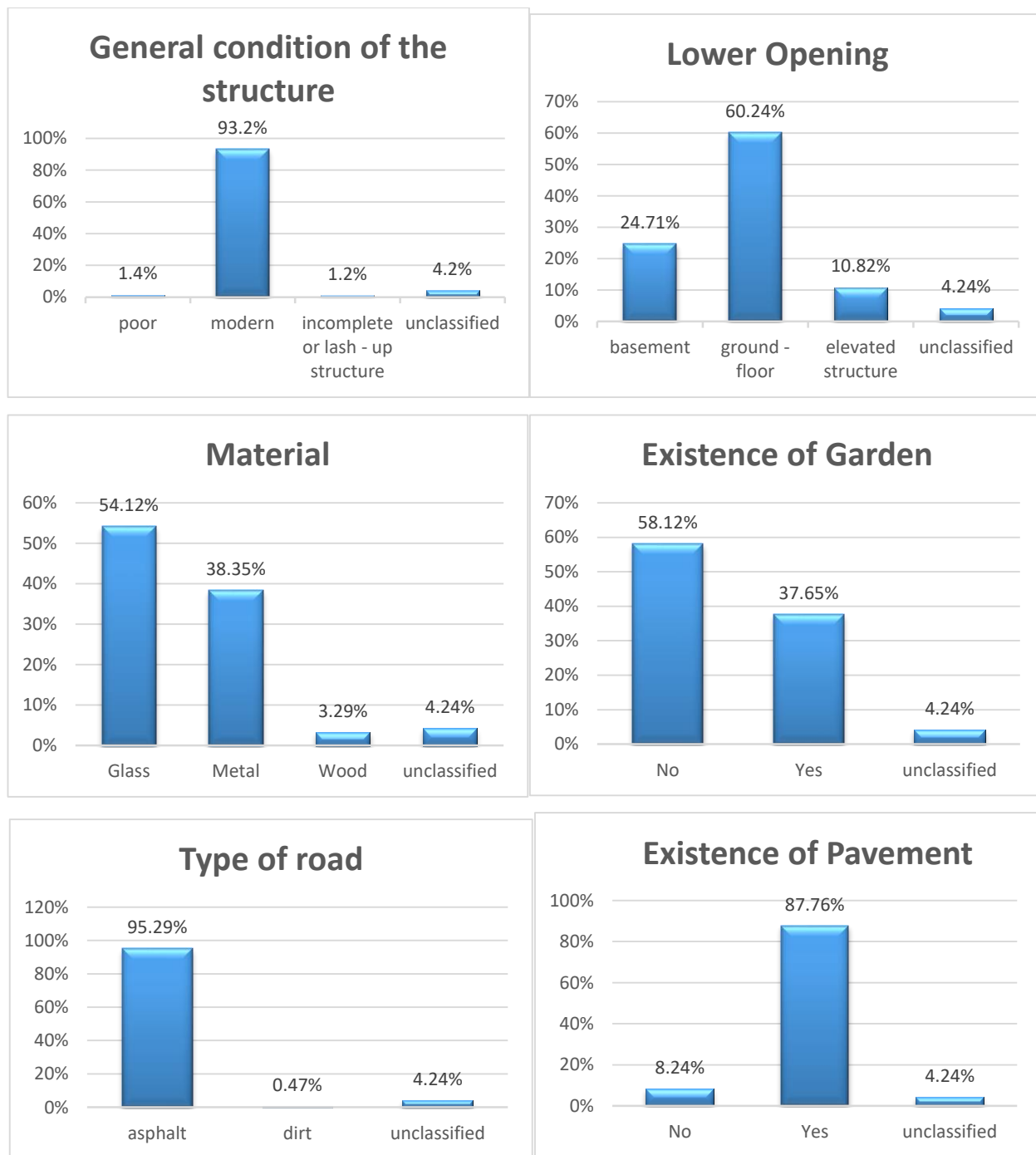
Η επόμενη ομάδα διαγραμμάτων συχνότητας (Σχήμα 46) που δημιουργήθηκαν, αφορούν τα χαρακτηριστικά των κατασκευών για το πλημμυρικό γεγονός του Οκτωβρίου του 2014 και από το παρακάτω σχήμα διαπιστώνεται ότι στους Δήμους που συνέβη (Καματερού, Περιστερίου, Νίκαιας, κ.λπ.), το ποσοστό των κατασκευών που χαρακτηρίζονται ως «σύγχρονες/modern» είναι στο 40,79%, ενώ λίγο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό αυτών που η κατάστασή τους χαρακτηρίζεται ως «πτωχή/roog». Παρατηρείται ακόμη ότι το 24,67% των κατασκευών έχουν ως εξωτερική πόρτα εισόδου γυάλινη, ενώ το 57,24% φαίνεται να έχει μεταλλική εξώπορτα. Ακόμη, στο

77,3% από τα κτήρια που καταγράφηκαν, ο δρόμος που διέρχεται έξω από αυτά είναι ασφαλτος, ενώ δεν καταγράφη κάποια κατασκευή με τον εξωτερικό περιβάλλοντα χώρο του δρόμου να είναι χωματόδρομος (0,00%). Τέλος, σχεδόν στα ίδια ποσοστά βρίσκεται ο παράγοντας της θέσης του κτηρίου σε σχέση με το επίπεδο. Αναλυτικότερα, το 44,08% των κτηρίων φαίνεται να είναι υπόγεια – ημιυπόγεια και το 43,42% είναι ισόγειες κατασκευές και η συντριπτική μειοψηφία των κατασκευών είναι υπερυψωμένες, ένα χαρακτηριστικό που τις καθιστά και λιγότερο τρωτές για το φαινόμενο.

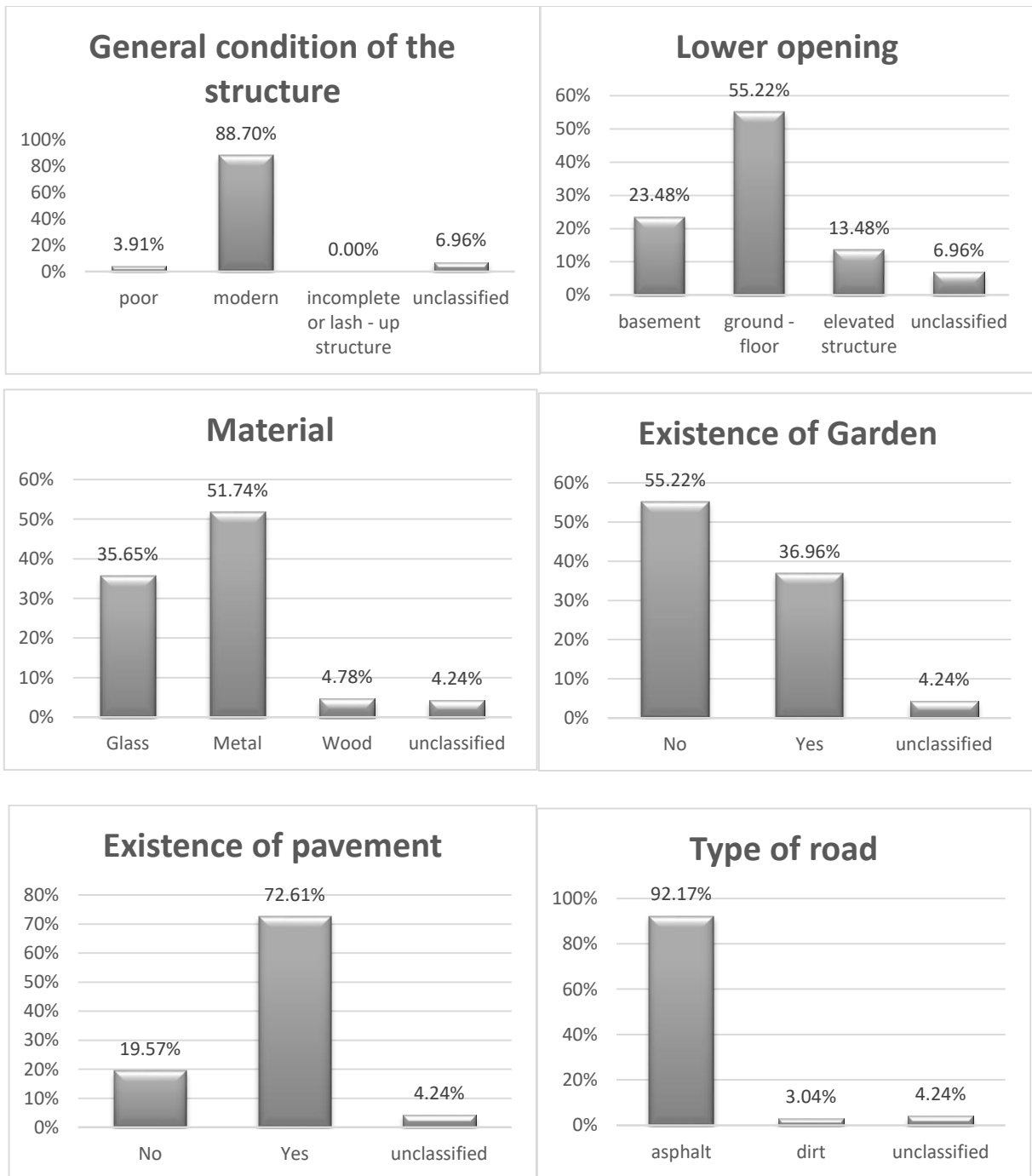
Τελευταία ανάλυση των διαγραμμάτων συχνότητας, αποτελεί αυτή του πλημμυρικού γεγονότος του 2015 (Σχήμα 47), όπου έλαβε χώρα κυρίως στους Δήμους Πετρούπολης, Κηφισιάς και Χαϊδαρίου. Εξετάζοντας το ίδιο σχήμα, στο διάγραμμα με αναφορικά με τον παράγοντα lower opening, γίνεται φανερό ότι το 55,22% των κατασκευών είναι ισόγειες κατοικίες, σημαντικό ακόμη είναι και το ποσοστό των υπογείων – ημιυπόγειων κατοικιών, οι οποίες φτάνουν το ποσοστό των 23,48%. Από αυτές τις κατασκευές το μεγαλύτερο ποσοστό, δηλαδή το 51,74% διαθέτει μεταλλική εξώπορτα, ενώ το 35,65% αυτών έχει γυάλινη πόρτα ή τζαμαρία, κάτι που καθιστά ένα κτίσμα περισσότερο ευάλωτο να πλημμυρίσει. Όπως και στα προηγούμενα, έτσι και σε αυτό το επεισόδιο, μεγάλο είναι το ποσοστό των κατασκευών που έχουν πρόσωπο σε δρόμο καθώς αυτό φτάνει το 92,17% και ένα λοιπό ελάχιστο ποσοστό 3,04% βρίσκεται πλησίον χωματόδρομου. Επιπλέον το 55,22% των καταγεγραμμένων κτηρίων διαθέτουν κήπο στην αυλή και ένα ποσοστό 72,61% διαθέτει πεζοδρόμιο έξω από το όριο της ιδιοκτησίας του. Τέλος, το 88,70% των κατοικιών χαρακτηρίζονται ως «σύγχρονες/modern», κάτι που είναι συστηματικό σε όλες τις περιπτώσεις, και επομένως το εν λόγω χαρακτηριστικό δεν ελέγχει το ζήτημα της εκδήλωσης πλημμυρικών συμβάντων εντός κτίσματος.



Σχήμα 45: Χαρακτηριστικά κατασκευών για πλημμυρικό γεγονός του Φεβρουαρίου 2013.



Σχήμα 46: Χαρακτηριστικά κατασκευών για πλημμυρικό γεγονός του Φεβρουαρίου 2014.



Σχήμα 47: Χαρακτηριστικά κατασκευών για πλημμυρικό γεγονός του Οκτωβρίου 2015.

5 Συμπεράσματα και Μελλοντική έρευνα

5.1 Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο εκπόνησης της εν λόγω διπλωματικής εργασίας αναλύθηκε τη χωρική κατανομή των αστικών συμβάντων πλημμύρας κατά τη διάρκεια τριών μεγάλων καταιγίδων και συγκεκριμένα του Φεβρουαρίου του 2013, του Οκτωβρίου του 2014 και του Οκτωβρίου 2015 στην ευρύτερη περιοχή των δήμων της Δυτικής Αθήνας, και διερευνήθηκε η δυνατότητα δημιουργίας ενός μοντέλου παλινδρόμησης που να εκφράζει το ενδεχόμενο εμφάνισης και την ένταση της πλημμύρας σε σχέση με διάφορους παράγοντες που δυνητικά ελέγχουν το φαινόμενο.

Αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε μια μεθοδολογία για να εξετάσει ποιοι από αυτούς και σε ποιο βαθμό, θα μπορούσαν να συνδέονται με την κατανομή των πλημμύρες εντός μιας αστικής περιοχής. Η διερεύνηση αναφορικά με τη χωρική κατανομή των πλημμυρών υλοποιήθηκε με τη χρήση δύο διαφορετικών πλεγμάτων κανάβου (200m και 1000 m), στα οποία αρχικά προσδιορίζονται δύο μεταβλητές που δηλώνουν: (α) την παρουσία ή την απουσία πλημμυρισμένων ιδιοκτησιών εντός φατνίου ανάλυσης, για το ενδεχόμενο πλημμύρας, και (β) τον αριθμό αυτών, για την ένταση του φαινομένου (αντίκτυπο). Τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης όπως και τα χαρακτηριστικά των τριών επεισοδίων βροχής αποτυπώθηκαν με τη μορφή raster δεδομένων.

Ακολούθησε η στατιστική ανάλυση, όπου τόσο η δυαδική λογιστική παλινδρόμηση (BLR) όσο και η γενικευμένη γραμμική που εφαρμόστηκε (GLM) περιλάμβαναν όλες τις παραμέτρους και συνδυασμούς αυτών και οδήγησαν στα ακόλουθα ευρήματα:

- ✓ Κάποιοι από τους παράγοντες που αναλύθηκαν φάνηκαν να είναι στατιστικά σημαντικοί για το μοντέλο, πράγμα που σημαίνει ότι επηρεάζουν την εμφάνιση πλημμυράς και δύνανται να εμπλακούν σε ένα μοντέλο για την εκτίμησή της.
- ✓ Η εφαρμογή μοντέλων παλινδρόμησης δείχνει μέτρια έως ισχυρή συσχέτιση ανάλογα με το μέγεθος της ψηφίδας, ένα χαρακτηριστικό που θα πρέπει να συναξιολογείται σε ανάλογες εφαρμογές.

- ✓ Οι παράγοντες που κατατάσσονται ως προς την επιρροή του εδάφους φαίνεται να έχουν αρνητική επίδραση, εξαιρώντας αυτόν της αδιαπερατότητας του εδάφους ενώ αυτοί που αφορούν την βροχόπτωση είναι πιο ισχυροί.
- ✓ Διαφορετικά μεγέθη πλέγματος ανάλυσης δείχνουν διαφορετική ικανότητα πρόβλεψης του μοντέλου. Μειώνοντας το μέγεθος φατνίου του πλέγματος φαίνεται να αποτελέσματα της παλινδρόμησης να είναι καλύτερα και για τα τρία επεισόδια που εξετάστηκαν, ένα χαρακτηριστικό που χρειάζεται διερεύνηση και σε άλλα επεισόδια καθώς δεν είναι σύμφωνο με ανάλογα ευρήματα της διεθνούς βιβλιογραφίας.
- ✓ Τέλος τα γεωγραφικά όρια της ανάλυσης είναι ένα χαρακτηριστικό σημείο που αξίζει να διερευνηθεί περαιτέρω και συνδέεται με την επιλογή του αναλυτή.

Η εφαρμογή της μεθόδου σε αυτή τη μελέτη περίπτωσης έδειξε ότι η προσέγγιση αντιμετωπίζει το πρόβλημα της πολυπλοκότητας των αστικών υδρολογικών διαδικασιών παρέχοντας τη βάση για τον εντοπισμό των ευαίσθητων στις πλημμύρες περιοχών σε αστικό/περιαστικό περιβάλλον και ποσοτικοποιώντας την επίδραση κάθε παράγοντα. Αυτή η προσέγγιση χρησιμοποιεί μια ποικιλία παραμέτρων με εύκολα προσπελάσιμα δεδομένα και συνδυάζει φυσικές και υδρολογικές παραμέτρους, ενώ μπορεί να ενσωματώσει και επιμέρους χαρακτηριστικά κτιρίου, κάνοντας έτσι τη μέθοδο εφαρμόσιμη και για άλλα αστικά περιβάλλοντα. Ωστόσο, όπως τονίζουν και οι Diakakis et al. (2016), αυτή η μέθοδος ενδέχεται να μην βρίσκει ικανοποιητική εφαρμογή σε πλημμύρες ποταμών και περιβάλλοντα παράκτιων πόλεων στην τρέχουσα μορφή του.

5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Μελλοντική έρευνα θα ωφελήσει την εφαρμογή αυτής της μεθόδου σε άλλες μελέτες περίπτωσης, για να αποκτηθεί μια πιο ολιστική ποσοτικοποίηση της επιρροής των εν λόγω παραγόντων. Σαν συνέχεια αυτής της έρευνας προτείνεται η διερεύνηση των παραγόντων σε διαφορετικό μέγεθος ψηφίδας από αυτά που ήδη υλοποιήθηκαν, όπως και εφαρμογή σε διαφορετική περιοχή μελέτης. Ακόμη προτείνεται η εφαρμογή ενός μοντέλου δυαδικής παλινδρόμησης που να λαμβάνει υπόψη επιπροσθέτως τα χαρακτηριστικά των κατασκευών των κτηρίων. Για την εφαρμογή ενός τέτοιου μοντέλου δυαδικής παλινδρόμησης, θα χρειαστεί και ένα δεύτερο σύνολο δεδομένων που θα περιλαμβάνει κτήρια που δεν έχουν πλημμυρίσει ώστε να λάβουν τιμή 0 και 1

(όσα δεν πλημμύρισαν και όσα πλημμύρισαν, αντίστοιχα) για το δυαδικό μοντέλο παλινδρόμησης.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ξενόγλωσσες

- Anguelov, D., Dulong, C., Filip, D., Frueh, C., Lafon, S., Lyon, R., Ogale, A., Vincent, L. and Weaver, J., 2010. Google street view: Capturing the world at street level. *Computer*, 43(6), pp.32-38.
- ArcGIS Help, June 2021. Ανάκτηση από ArcGIS Resources: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#//00310000002m000000>
- Ashley, S.T. and Ashley, W.S., 2008. Flood fatalities in the United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(3), pp.805-818.
- Bathrellos, G.D., Karymbalis, E., Skilodimou, H.D., Gaki-Papanastassiou, K. and Baltas, E.A., 2016. Urban flood hazard assessment in the basin of Athens Metropolitan city, Greece. *Environmental Earth Sciences*, 75(4), p.319.
- Blanco-Vogt, A. and Schanze, J., 2014. Assessment of the physical flood susceptibility of buildings on a large scale-conceptual and methodological frameworks. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(8), pp.2105-2117.
- Chatterjee, S. and Hadi, A.S., 2015. *Regression analysis by example*. John Wiley & Sons.
- Diakakis, M., 2012. Rainfall thresholds for flood triggering. The case of Marathonas in Greece. *Natural Hazards*, 60(3), pp.789-800.
- Diakakis, M., Mavroulis, S. and Deligiannakis, G., 2012. Floods in Greece, a statistical and spatial approach. *Natural hazards*, 62(2), pp.485-500.
- Diakakis, M., Deligiannakis, G., Pallikarakis, A. and Skordoulis, M., 2016. Factors controlling the spatial distribution of flash flooding in the complex environment of a metropolitan urban area. The case of Athens 2013 flash flood event. *International journal of disaster risk reduction*, 18, pp.171-180.
- Diakakis, M., Deligiannakis, G., Katsetsiadou, K., Antoniadis, Z. and Melaki, M., 2017. Mapping and classification of direct flood impacts in the complex conditions of

- an urban environment. The case study of the 2014 flood in Athens, Greece. *Urban Water Journal*, 14(10), pp.1065-1074.
- Doyle, S., Dodge, M. and Smith, A., 1998. The potential of web-based mapping and virtual reality technologies for modelling urban environments. *Computers, Environment and Urban Systems*, 22(2), pp.137-155.
- European Union, 2004. Flood risk management - Flood prevention, protection and mitigation (COM/2004/0472 final). Brussels. Διαθέσιμο στο: <http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX:52004DC0472>. Τελευταία επίσκεψη: 11 Ιουλίου 2021.
- Fedeski, M. and Gwilliam, J., 2007. Urban sustainability in the presence of flood and geological hazards: The development of a GIS-based vulnerability and risk assessment methodology. *Landscape and urban planning*, 83(1), pp.50-61.
- Feloni E.G., Baltas E.A., Nastos P.T. 2018a. Synoptic features of rainfall induced floods. The case of Attica region, Greece. 14th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, October 15-17, 2018, Alexandroupolis, Greece.
- Feloni, E., 2019. Assessment of flood induced by heavy rainfall using advanced methodologies, as a premise for an integrated flood early warning system: the case of Attica region (Doctoral dissertation, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Πολιτικών Μηχανικών. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων).
- Ganoulis, J., 2003. Risk-based floodplain management: A case study from Greece. *International Journal of River Basin Management*, 1(1), pp.41-47.
- Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaškovičová, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A. and Daliakopoulos, I., 2009. A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology*, 367(1-2), pp.70-78.
- Georgakakos, K.P., 2006. Analytical results for operational flash flood guidance. *Journal of Hydrology*, 317(1-2), pp.81-103.

- Goldberger, A.S., 1962. Best linear unbiased prediction in the generalized linear regression model. *Journal of the American Statistical Association*, 57(298), pp.369-375.
- Golian, S., Saghafian, B. and Maknoon, R., 2010. Derivation of probabilistic thresholds of spatially distributed rainfall for flood forecasting. *Water Resources Management*, 24(13), pp.3547-3559.
- Grammatikogiannis, A., Mamassis, N., Baltas, E. and Mimikou, M., 2005, September. A meteorological telemetric network for monitoring of the Athens wider area (METEONET). A real time approach from point to areal measurements. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Environmental Science and Technology (9CEST)*, Rhodes Island, Greece (pp. 1-3).
- Hanson, C.S., Noland, R.B. and Brown, C., 2013. The severity of pedestrian crashes: an analysis using Google Street View imagery. *Journal of transport geography*, 33, pp.42-53.
- HRL-Imp., 2012. High resolution layer imperviousness product version 2012 from Copernicus Land Monitoring Service Pan-European Component. Διαθέσιμο στο: <http://land.copernicus.eu/pan-european>
- Karymbalis, E., Chalkias, C., Chalkias, G., Grigoropoulou, E., Manthos, G. and Ferentinou, M., 2012. Assessment of the sensitivity of the southern coast of the Gulf of Corinth (Peloponnese, Greece) to sea-level rise. *Central European Journal of Geosciences*, 4(4), pp.561-577.
- Lagouvardos, K., Kotroni, V., Bezes, A., Koletsis, I., Kopania, T., Lykoudis, S., Mazarakis, N., Papagiannaki, K. and Vougioukas, S., 2017. The automatic weather stations NOANN network of the National Observatory of Athens: operation and database. *Geoscience Data Journal*, 4(1), pp.4-16.
- Martin-Vide, J. and Gomez, L., 1999. Regionalization of peninsular Spain based on the length of dry spells. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 19(5), pp.537-555.
- Mazi, K. and Koussis, A.D., 2006. The 8 July 2002 storm over Athens: analysis of the Kifissos River/Canal overflows. *Advances in Geosciences*, 7, pp.301-306.

- Müller, A., Reiter, J. and Weiland, U., 2011. Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach--a case study for Santiago de Chile. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 11(8).
- Norbiato, D., Borga, M., Degli Esposti, S., Gaume, E. and Anquetin, S., 2008. Flash flood warning based on rainfall thresholds and soil moisture conditions: An assessment for gauged and ungauged basins. *Journal of Hydrology*, 362(3-4), pp.274-290.
- Sene, K., 2012. *Flash floods: forecasting and warning*. Springer Science & Business Media.
- Skilodimou, H., Livaditis, G., Bathrellos, G. and Verikiou-Papaspiridakou, E., 2003. Investigating the flooding events of the urban regions of Glyfada and Voula, Attica, Greece: a contribution to Urban Geomorphology. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 85(2), pp.197-204.
- Smith, K. and Ward, R., 1998. *Floods: physical processes and human impacts*. John Wiley and Sons Ltd.
- Stathis, D., 2004, October. Extreme rainfall events and flood genesis in Greece. In *Proceedings of the 7th Panhellenic Geographical Conference of the Hellenic Geographical Society (7PGC/HGS)*, Mytilene, Greece (pp. 1-8).
- Stephenson, V. and D'ayala, D., 2014. A new approach to flood vulnerability assessment for historic buildings in England. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(5), p.1035.
- Tranmer, M. and Elliot, M., 2008. Binary logistic regression. *Cathie Marsh for census and survey research*, paper, 20.
- Ward, R. C., and Robinson, M., 2000. *Principles of hydrology* (4th ed.). Berkshire: McGraw-Hill.
- Wilbanks, T.J., Lankao, P.R., Bao, M., Berkhout, F.G.H., Cairncross, S., Ceron, J.P., Kapshe, M., Muir-Wood, R. and Zapata-Marti, R., 2007. Industry, settlement and society. In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 357-390). Cambridge University Press.

Wisner, B. and Blaikie, P., 2004. Cannon T. and Davis I. At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters.

Ελληνικές

Ανδρεαδάκης Ε., Φουντούλης Ι., (2007), Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας σε τεκτονικά ενεργές περιοχές. Συμπόσιο τεκτονικής γεωλογίας προς τιμή του Ομότιμου Καθηγητή Ηλία Μαριολάκου της Επιτροπής Τεκτονικής της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας.

Εφημερίδα της Κυβερνήσεως Α' Ν. 3852/2010. «Νέα Αρχιτεκτονική της Αυτοδιοίκησης και της Αποκεντρωμένης Διοίκησης – Πρόγραμμα Καλλικράτης».

Ηλιοπούλου, Π., 2015. Γεωγραφική ανάλυση. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/2059>.

Ρούσσοι, Π. και Ευσταθίου, Γ., 2008. Σύντομο εγχειρίδιο SPSS 16.0. Πρόγραμμα Ψυχολογίας, Τμήμα ΦΠΨ, ΕΚΠΑ. Αθήνα.

Πετρίδης, 2015, Κεφάλαιο 3: Λογιστική Παλινδρόμηση, Διαθέσιμο στο: (https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2128/1/04_chapter03.pdf). (Τελευταία προσπέλαση: 11 Ιουλίου 2021).

Πανούσης, Κ., 2015. Καταγραφή & ποιοτική ανάλυση των πλημμυρικών φαινομένων στο λεκανοπέδιο της Αττικής την περίοδο 1980 – 2014, Διπλωματική Προπτυχιακή Εργασία, Αθήνα: Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας.

Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας - ΓΓΠΠ // Ελληνική Δημοκρατία, Υπουργείο Προστασίας του Πολίτη Δ/ση Σχεδιασμού & Αντιμετώπισης Έκτακτων Αναγκών, 2019. Εγκύκλιος Πλημμυρών - Σχέδιο δράσεων Πολιτικής Προστασίας για την αντιμετώπιση κινδύνων από την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων.

Ραλλάτου, Ν., 2019. Εκτίμηση αστικής πλημμυρικής τρωτότητας με χρήση GIS και μεθόδων γεωχωρικής ανάλυσης. Η περίπτωση του Λεκανοπεδίου Αθηνών., Διπλωματική Προπτυχιακή Εργασία, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών.

Νικολαΐδου Μ, Χατζηχρίστου Ε (1995) Καταγραφή και αποτίμηση των καταστροφών από πλημμύρες στην Ελλάδα και την Κύπρο. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλασσίων Έργων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Νικολόπουλος, Α., 2018. Ποταμός Κηφισός & Αντιπλημμυρική Προστασία Λεκανοπεδίου. ΕΞΑΡΧΟΥ ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΣ ΜΠΙΕΝΣΑΣΣΩΝ Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ. Διαθέσιμο στο: <http://www.itia.ntua.gr/archive/kephisos/presentations/text2.pdf> (Τελευταία προσπέλαση: 11 Ιουλίου 2021).

Σάρρος, Μ., 2004. Αντιπλημμυρική προστασία λεκανοπεδίου Αθήνας (Κηφισός-Ιλισός). In Ημερίδα «Αντιπλημμυρική προστασία Αττικής». Αθήνα: Τ.Ε.Ε. Διαθέσιμο στο: http://library.tee.gr/digital/m2022/m2022_sarros.pdf

Διακάκης, Μ., 2013. Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας με τη χρήση μοντέλων προσομοίωσης (Doctoral dissertation, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ). Σχολή Θετικών Επιστημών. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος).

Λέκκας, Ε., 2000. Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές. Β' Έκδοση. Access Pre-Press, Αθήνα.

Υδάτινοι Πόροι και Περιβάλλον Θεσσαλίας, 2016. Πλημμύρες.

Υπουργεία Εσωτερικών, Οικονομικών, Ναυτιλίας, Περιβάλλοντος, Μεταφορών, 2010. Αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2007/60/ ΕΚ «για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας», του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2007.

Χαλκιάς, Χ. και Γκούσια, Μ., 2015. Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους.

Ιστοσελίδες

News.gr, 2014. Μικρές οι ζημιές στο δήμο Αγ. Αναργύρων. Διαθέσιμο στο: <https://www.news.gr/ellada/koinonia/article/186030/mikres-oi-zhmies-sto-dhmo-aganargyron.html> (Τελευταία προσπέλαση: 11 Ιουλίου 2021).

Newsbomb, 2014. Αττική: Τραγικός ο απολογισμός των ζημιών από τις πλημμύρες. Διαθέσιμο στο: <http://www.newsbomb.gr/ellada/news/story/511485/attikitragikos-o-apologismos-ton-zimion-apo-tis-plimmyres>. (Τελευταία προσπέλαση : 11 Ιουλίου 2021).

Ιτιά - ΕΜΠ, 2008. Κηφισός. <https://www.itia.ntua.gr/kephisos/> (Τελευταία προσπέλαση: 11/07/2021).

Πηγές εικόνων

Η καταγίδα της 22^{ης} Φεβρουαρίου 2013 (Πηγή: meteo24news, 2020) Διαθέσιμο στο: <https://www.meteo24news.gr/2013/12/i-kataigida-tis-22is-fevroyariou-2013.html> (Τελευταία προσπέλαση: 14/07/2021).

Σημείο υποχώρησης του οδοστρώματος στο σημείο όπου γίνονται εργασίες στο ρέμα της Εσχατιάς στο Καματερό (Πηγή: Espresso, 2017) Διαθέσιμο στο: <https://www.espressonews.gr/reportaz/106482/o-fovos-den-meni-pleon-sto-rema-tis-esch/> (Τελευταία προσπέλαση: 14/07/2021).

Εικόνες καταστροφής από την κακοκαιρία στην Δυτική Αττική (Πηγή: Naftemporiki, 2014) Διαθέσιμο στο: <https://www.naftemporiki.gr/slideshows/872654/eikones-katastrofis-apo-tin-kakokairia-sti-dutiki-attiki/all> (Τελευταία προσπέλαση: 14/07/2021).

Ένας νεκρός και μία αγνοούμενη από τις πλημμύρες στη Δυτική Αθήνα (Πηγή: Naftemporiki, 2014) Διαθέσιμο στο: <https://www.naftemporiki.gr/slideshows/1021126/enas-nekros-kai-mia-agnooumeni-apo-tis-plimmures-stin-attiki/all> (Τελευταία προσπέλαση: 14/07/2021).