

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΜΕΣΩ ΧΩΡΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ



ΧΡΥΣΟΥΛΑ ΣΟΦΙΑ ΑΡΜΕΝΙΑΚΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Ε.ΦΕΛΩΝΗ, ΔΙΔΑΣΚΟΥΣΑ ΠΑ.Δ.Α.

Αθήνα, Οκτώβριος 2021



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΜΕΣΩ ΧΩΡΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

ΧΡΥΣΟΥΛΑ ΣΟΦΙΑ ΑΡΜΕΝΙΑΚΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: Ε.ΦΕΛΩΝΗ, ΔΙΔΑΣΚΟΥΣΑ ΠΑ.Δ.Α.

Το περιεχόμενο της ανά χειράς διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες.

Αθήνα, Οκτώβριος 2021

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ
ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΜΕΣΩ ΧΩΡΙΚΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ
ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Φελώνη Ελισσάβητ	Διδάσκουσα ΠαΔΑ	
2	Τσάτσαρης Αντρέας	Καθηγητής ΠαΔΑ	
3	Ηλιοπούλου Πολυξένη	Καθηγήτρια ΠαΔΑ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΑΡΜΕΝΙΑΚΟΥ ΧΡΥΣΟΥΛΑ ΣΟΦΙΑ του ΣΠΥΡΙΔΩΝΑ με αριθμό μητρώου 18391105 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



ΑΡΜΕΝΙΑΚΟΥ ΧΡΥΣΟΥΛΑ ΣΟΦΙΑ

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

ΕΛΙΣΣΑΒΕΤ ΦΕΛΩΝΗ, ΔΙΔΑΣΚΟΥΣΑ ΠΑΔΑ

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, Ελισσάβητ Φελώνη, διδάσκουσα του Τμήματος, για την άριστη συνεργασία που είχαμε σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας, για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε για το σκοπό αυτό, για την υπομονή της, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξη που μου παρείχε αλλά και τη συνεχή συμπαράσταση και όμορφη επικοινωνία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας μέχρι την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, ευχαριστώ τους καθηγητές του Τμήματος, κ. Ηλιοπούλου Πολυξένη και κ. Τσάτσαρη Αντρέα, 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) και το Τμήμα Ανάλυσης, Προγραμματισμού και Στατιστικής της Δ/σης Επικοινωνιών & Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης του Πυροσβεστικού Σώματος για την παροχή δεδομένων σχετικά με τις κλήσεις για άντληση υδάτων. Ευχαριστώ επίσης τις εταιρίες Marathon Data Systems και ESRI, για την άδεια χρήσης διάρκειας ενός έτους του προγράμματος ArcGIS Pro.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον σύζυγο μου Ηλία και τα παιδιά μου Κωνσταντίνο και Ερασμία για όλη την αγάπη, τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους, καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	i
Περίληψη	iv
Abstract.....	v
1 Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά περί πλημμυρών	1
1.2 Παράγοντες πρόκλησης πλημμυρών	4
1.3 Αντικείμενο εργασίας	7
1.4 Διάρθρωση τεύχους	9
2 Περιοχή μελέτης και πρωτογενή δεδομένα	10
2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά ευρύτερης περιοχής	10
2.1.1 Η Περιφέρεια Αττικής.....	10
2.1.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.....	11
2.1.3 Χρονικό επεισοδίων πλημμύρας στην περιοχή μελέτης	12
2.2 Πρωτογενή δεδομένα για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας.....	15
2.2.1 Το επεισόδιο πλημμύρας του Οκτωβρίου 2014.....	15
2.2.2 Γεωχωρικά δεδομένα	18
2.2.3 Υδρομετεωρολογικά δεδομένα	18
2.2.4 Αστικά συμβάντα πλημμύρας.....	20
3 Μεθοδολογία	23
3.1 Χωρική ανάλυση σε περιβάλλον Σ.Γ.Π.	25

3.1.1	Προσδιορισμός παραγόντων.....	25
3.1.2	Παραγωγή θεματικών επιπέδων	28
3.2	Στατιστική ανάλυση στο SPSS.....	46
3.2.1	Γενικά Στοιχεία για το SPSS	46
3.2.2	Διαδικασία προσδιορισμού του μοντέλου χωρικής παλινδρόμησης 46	
4	Αποτελέσματα και Συζήτηση	53
4.1	Συζήτηση επί των παραγόντων	53
4.2	Διαδική Λογιστική Παλινδρόμηση (BLR).....	65
4.3	Γενικευμένη Γραμμική Παλινδρόμηση (GLM).....	72
4.4	Ανάλυση χαρακτηριστικών κτιρίων - Διαδική Λογιστική Παλινδρόμηση 78	
5	Συμπεράσματα	87
5.1	Συμπεράσματα	87
5.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	89
	Αναφορές.....	90
	Παράρτημα	94

Περίληψη

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση παραγόντων που συνδέονται με την εκδήλωση πλημμυρών σε αστικό περιβάλλον, μέσω της αξιοποίησης των δυνατοτήτων που παρέχουν τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών για την εφαρμογή μεθόδων χωρικής στατιστικής ανάλυσης. Συγκεκριμένα εξετάζεται το ακραίο περιστατικό πλημμύρας που έπληξε τον Οκτώβριο του 2014 την Αθήνα, κυρίως τις περιοχές της Δυτικής Αθήνας. Για την έρευνα αξιοποιείται ένα σύνολο δεδομένων, όπως οι 10λεπτες καταγραφές βροχόπτωσης από εγκατεστημένους βροχομετρικούς σταθμούς στην ευρύτερη περιοχή και τα αστικά συμβάντα πλημμύρας, δηλαδή οι κλήσεις που δέχεται η πυροσβεστική υπηρεσία για άντληση υδάτων σε ιδιοκτησίες λόγω πλημμύρας που προκλήθηκε εξαιτίας της ισχυρής βροχόπτωσης. Δεδομένης της θέσης των συμβάντων, δύναται να καθοριστεί η τιμή μιας σειράς στατικών και δυναμικών παραγόντων που συνδέονται με το φαινόμενο της πλημμύρας, οι οποίοι, καθώς είναι χωρικά μεταβαλλόμενοι - ή και χρονικά, στην περίπτωση των δυναμικών -, μπορούν να εκφραστούν σε μορφή γεωχωρικών δεδομένων και να αξιοποιηθούν στην κατεύθυνση της στατιστικής ανάλυσης, για την εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με το βαθμό συσχέτισης και τελικά συμβολής τους στο φαινόμενο της πλημμύρας. Στο πλαίσιο της εργασίας εφαρμόστηκε πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση και λογιστική παλινδρόμηση για την εξαγωγή μοντέλου που θα εκφράζει σε επίπεδο φατνίου το μέγεθος της πλημμύρας και το ενδεχόμενο εμφάνισής της αντίστοιχα. Η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε για διάφορους συνδυασμούς παραγόντων και για διαφορετικό μέγεθος φατνίου. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι σύμφωνα με ανάλογες εργασίες της διεθνούς βιβλιογραφίας και ανοίγουν το δρόμο για περαιτέρω διερεύνηση, λαμβάνοντας υπόψη μεγαλύτερο αριθμό παραγόντων, αλλά και εφαρμόζοντας την ανάλυση για άλλα επεισόδια βροχής-πλημμύρας, και σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

Λέξεις-κλειδιά: Πλημμύρα, Αττική, ΣΓΠ, Μοντέλα Παλινδρόμησης

Abstract

The purpose of this Thesis is to investigate the factors related to the flood occurrence in urban environments, utilizing geographic information systems capabilities concerning spatial statistical analysis application. Case study is the extreme flood event that occurred during October 2014 covering areas of Western Athens, Attica. The research exploits several dataset layers, such as 10-minute rainfall recordings from installed rain gauges in the wider area and urban flood incidents i.e., citizens' calls received by the fire service for pumping water to properties due to heavy rain. Taking into account the location of events, the value of a series of static and dynamic factors associated with the flood phenomenon can be determined, which, as they are spatial variables - or even temporal, in the case of dynamics – they can be expressed in the form of geospatial data and can be employed in the direction of statistical analysis, to draw conclusions about the degree of correlation and ultimately their contribution to the flood phenomenon. In the context of this thesis, multiple linear regression and logistic regression were applied to derive a model that will express at the level of the cell size the flood impact and flood occurrence, respectively. The investigation was performed for different combinations of factors and for different cell size. The results are in line with similar previous work, according to the global literature, and pave the way for further investigation, considering a larger number of factors, but also applying the analysis for other rainfall events that triggered flooding, and in different environments.

Key-words: Flood, Attica, GIS, Regression analysis

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά περί πλημμυρών

Οι πλημμύρες αποτελούσαν ανέκαθεν μια από τις μεγαλύτερες φυσικές καταστροφές στον πλανήτη. Στις μέρες μας, πλημμύρες μεγάλης έντασης εμφανίζονται όλο και πιο συχνά, ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής που συντελείται σε παγκόσμιο επίπεδο, με καταστροφικές συνέπειες, τόσο στο ανθρωπογενές, όσο και στο φυσικό περιβάλλον. Ειδικότερα, οι *αιφνίδιες πλημμύρες* που εκδηλώνονται σε αστικές περιοχές είναι εξαιρετικά απειλητικές για την ανθρώπινη ζωή και το οικιστικό περιβάλλον.

Το αστικό περιβάλλον είναι ιδιαίτερα τρωτό σε πλημμύρες καθώς περιλαμβάνει υψηλή συγκέντρωση πληθυσμού, ακινήτων και υποδομών. Η προσπάθεια προσδιορισμού των περιοχών οι οποίες είναι πιο ευάλωτες σε πλημμυρικό κίνδυνο, όπως και ο προσδιορισμός της ευπάθειας μεμονωμένων κατασκευών δυσχεραίνεται εξαιτίας της πολυπλοκότητας της αστικής υδρολογίας σε συνδυασμό με την επίδραση των πολλαπλών και συνεχώς μεταβαλλόμενων παραγόντων δημιουργίας πλημμυρών (Diakakis et al., 2016).

Ως *πλημμύρα* ορίζεται η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο, υπό φυσιολογικές συνθήκες, δεν καλύπτεται από νερό. Αυτό περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους, εφήμερα ρεύματα της Μεσογείου και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, δύναται δε να εξαιρεί πλημμύρες από συστήματα αποχέτευσης.

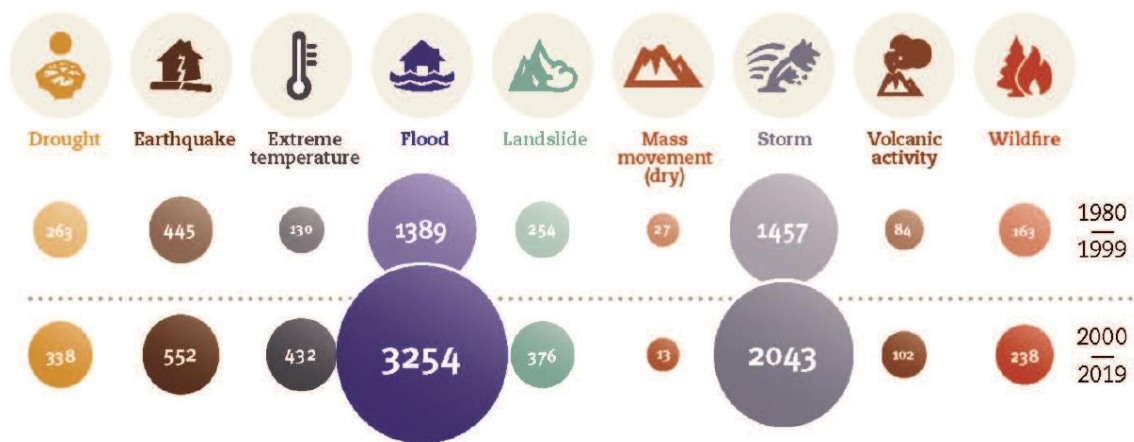
Ως *αιφνίδια πλημμύρα* θεωρείται εκείνη που προκαλείται από έντονη βροχόπτωση μικρής διάρκειας.

Κρίνεται χρήσιμο για την κατανόηση της παρούσας εργασίας η παράθεση των παρακάτω ορισμών:

- *Πλημμυρικός κίνδυνος* (Flood Hazard): νοείται η συνολική πιθανότητα εκδήλωσης ενός καταστροφικού γεγονότος σε μια συγκεκριμένη περιοχή.
- *Πλημμυρική Τρωτότητα* (Flood Vulnerability): νοείται ο βαθμός επιδεκτικότητας ή αλλιώς το πόσο ευάλωτο είναι ένα σύστημα του φυσικού ή ανθρωπογενούς περιβάλλοντος σε έναν κίνδυνο.

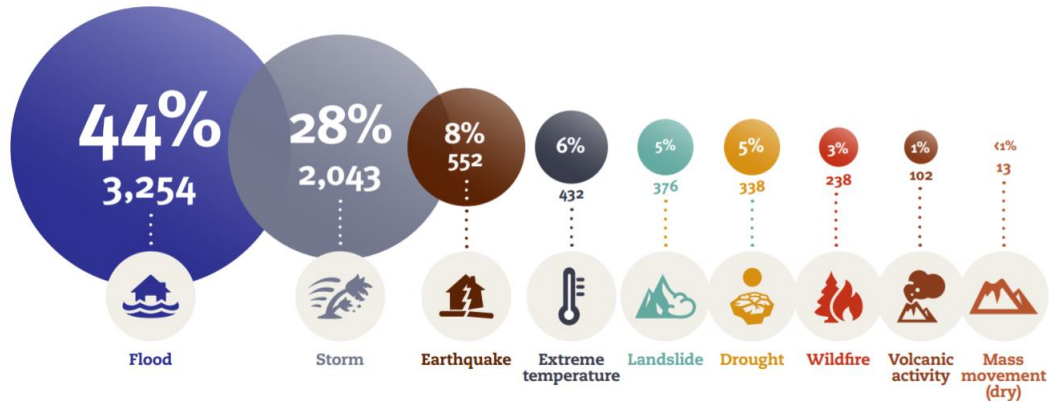
- **Πλημμυρική Διακινδύνευση** (ή επικινδυνότητα) (Flood Risk): ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται με αυτή την πιθανότητα, σε μια συγκεκριμένη περιοχή (Διακάκης, 2012).

Συγκρίνοντας τους κινδύνους καθώς και τις επιπτώσεις των πλημμυρικών φαινομένων με αυτά άλλων μορφών φυσικής καταστροφής, σε παγκόσμια κλίμακα, μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε πως οι πλημμύρες αποτελούν, αν όχι τη σημαντικότερη, σίγουρα μια από τις πιο σημαντικές απειλές που διατρέχει ο άνθρωπος από τη φύση. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται ο συνολικός αριθμός συμβάντων φυσικών καταστροφών για τις περιόδους 1980-1999 και 2000-2019, σε παγκόσμιο επίπεδο, όπου τα περισσότερα καταγεγραμμένα περιστατικά αφορούν πλημμύρες. Παράλληλα παρατηρούμε ότι την τελευταία δεκαετία υπήρξε υπερδιπλασιασμός των συμβάντων που αφορούν πλημμύρες σε σχέση με την προηγούμενη δεκαετία.



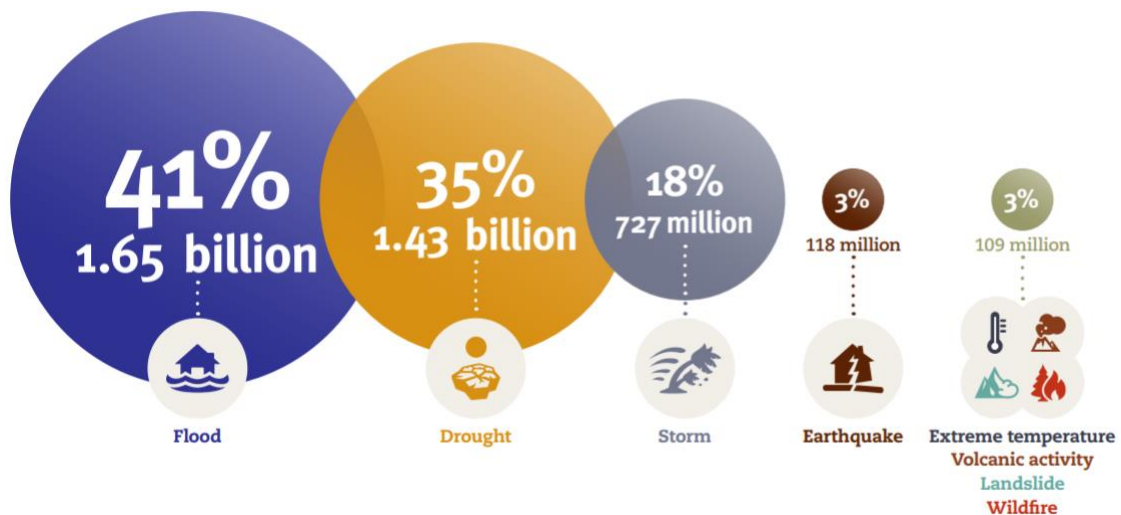
Σχήμα 1 Συνολικός αριθμός συμβάντων φυσικών καταστροφών στις περιόδους 1980-1999 και 2000-2019 (Πηγή: International Disaster Database)

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή συμβάντων φυσικών καταστροφών κατά τύπο καταστροφής για την περίοδο 2000-2019, όπου τα καταγεγραμμένα περιστατικά που αφορούν πλημμύρες είναι στο 44% επί του συνόλου.



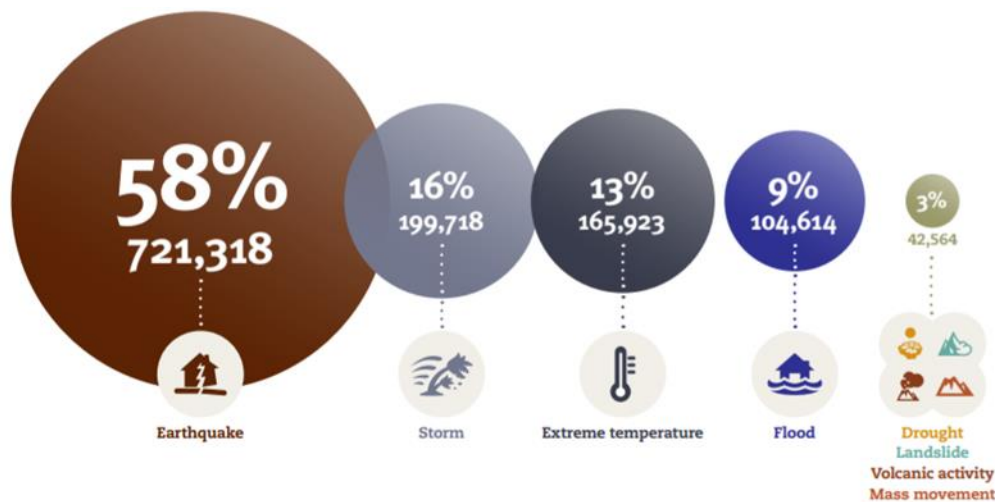
Σχήμα 2 Αριθμός πληγέντων κατά τύπο καταστροφής (2000-2019) (Πηγή:International Disaster Database)

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ο αριθμός πληγέντων κατά τύπο καταστροφής για την περίοδο 2000-2019, όπου το 41% του συνολικού αριθμού πληγέντων (1.65 δισεκατομμύρια άνθρωποι) προέρχονται από πλημμύρες.



Σχήμα 3 Ποσοστιαία κατανομή συμβάντων φυσικών καταστροφών κατά τύπο καταστροφής (2000-2019). (Πηγή:International Disaster Database)

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται ο αριθμός ανθρώπινων απωλειών κατά τύπο καταστροφής για την περίοδο 2000-2019, όπου το 16% αυτών προήλθαν από πλημμύρες.



Σχήμα 4 Αριθμός ανθρώπινων απωλειών κατά τύπο καταστροφής (2000-2019). (Πηγή: International Disaster Database)

1.2 Παράγοντες πρόκλησης πλημμυρών

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις υδρολογικές διεργασίες και κατ' επέκταση την εκδήλωση πλημμυρών, μπορούν να ταξινομηθούν στους σταθερούς ή στατικούς, οι οποίοι συνοψίζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά μίας λεκάνης, όπως η έκτασή της, η μέση κλίση, η υδατοπερατότητα των εδαφικών σχηματισμών 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).

Έχει εκπονηθεί μεγάλος αριθμός επιστημονικών εργασιών που ασχολούνται με την επίδραση διαφόρων παραγόντων στην εκδήλωση αιφνίδιας πλημμύρας σε μια περιοχή, όπως μετεωρολογικοί, υδρολογικοί παράγοντες αλλά και παράμετροι που αφορούν επιμέρους χαρακτηριστικά κτιρίων. Σύμφωνα με τους Fowler and Hennessy (1995), Bracken et al. (2008) and Cannon et al. (2008), οι βροχοπτώσεις και ιδιαίτερα ορισμένα χαρακτηριστικά τους, όπως η ένταση και η διάρκεια μιας καταιγίδας παίζουν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση πλημμυρών. Άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά των καταιγίδων επηρεάζουν την εμφάνιση πλημμυρών ειδικά σε μικρές υδρολογικές λεκάνες που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες, όπου η πλημμύρα συμβαίνει συνήθως μετά από καταιγίδες υψηλής έντασης. Έχει αποδειχθεί επίσης ότι η εμφάνιση πλημμυρών εξαρτάται σημαντικά από τη

μορφολογία της λεκάνης απορροής, του εμβαδού της, των κλίσεων του εδάφους και διαφόρων υδρογεωλογικών παραμέτρων. Ακόμα, προηγούμενες εργασίες συνδέουν την ανθεκτικότητα ενός κτιρίου σε πλημμύρες με ορισμένα μορφολογικά χαρακτηριστικά του, όπως τα δομικά υλικά του, τη θέση του σε σχέση με το επίπεδο του εδάφους, τα ανοίγματα (π.χ. παράθυρα) κάτω από το επίπεδο του εδάφους, αλλά και χαρακτηριστικά όπως ο αριθμός των ανοιχτών πλευρών και η συνολική κατάσταση της κατασκευής (Diakakis et al., 2016).

Προηγούμενες εργασίες έχουν επίσης μελετήσει μεταβλητές που επηρεάζουν τη χωρική κατανομή της πλημμύρας, προκειμένου να προβλεφθούν οι περιοχές που παρουσιάζουν αυξημένη τάση να θιγούν από πλημμύρες. Οι Lee et al. (2012) χρησιμοποίησαν μια διμερή στατιστική ανάλυση που διερεύνησε τη χωρική σχέση μεταξύ των παραγόντων που επηρεάζουν τα περιστατικά πλημμύρας και την εμφάνιση πλημμύρας. Οι Pradhan et al. (2010) χρησιμοποίησαν μοντέλα πολυπαραγοντικής γραμμικής παλινδρόμησης για να εξετάσουν τη σχέση μεταξύ πολλαπλών μεταβλητών και τη χωρική κατανομή πλημμυρών. Οι Tehrany et al., (2013) συνδύασαν τις δύο παραπάνω προσεγγίσεις για να προβλέψουν την τρωτότητα μιας περιοχής σε πλημμύρα, συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά πλημμυρισμένων και μη-πλημμυρισμένων περιοχών.

Στις παραπάνω εργασίες, οι παράμετροι που επηρεάζουν τις πλημμύρες θεωρήθηκαν ανεξάρτητες μεταβλητές πρόβλεψης σε μοντέλα παλινδρόμησης και διερευνήθηκαν για τη συσχέτιση τους με την εμφάνιση περιστατικών πλημμύρας. Επιπλέον έχουν χρησιμοποιηθεί εφαρμογές GIS για την αναπαράσταση των τιμών των παραμέτρων που επηρεάζουν τις πλημμύρες με τη μορφή θεματικών χαρτών ως σύνολα raster δεδομένων.

Για την περιοχή της Αθήνας έχει εκπονηθεί η εργασία «*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*» από τους Diakakis et al. (2016), στην οποία έχει μελετηθεί η επιρροή διαφόρων παραγόντων στη χωρική κατανομή της πλημμύρας εντός Λεκανοπεδίου Αττικής. Εξετάστηκε το επεισόδιο έντονης βροχόπτωσης που συνέβη τον Φεβρουάριο του 2013 στην Αθήνα, προκαλώντας πλημμύρα και ζημιές σε διάφορα μέρη της πόλης. Εφαρμόστηκαν τα Συστήματα Γεωγραφικών

Πληροφοριών (ΣΓΠ/GIS) για τον προσδιορισμό των τιμών των πιθανών παραμέτρων πλημμύρας, ενώ χρησιμοποιήθηκε λογιστική παλινδρόμηση για την εξέταση της στατιστικής συσχέτισης μεταξύ των τιμών τους και των αντίστοιχων τιμών σε 1138 θέσεις πλημμυρισμένων κτιρίων. Για τον υπολογισμό της επιρροής αυτών των παραγόντων στην κατανομή της πλημμύρας χρησιμοποιήθηκαν στατιστικά στοιχεία και άλλες μετρήσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ορισμένοι παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του βαθμού στεγανοποίησης του εδάφους, συσσωρευμένων βροχοπτώσεων, κλίσεων του εδάφους και άλλων, επηρεάζουν την κατανομή της πλημμύρας σε διαφορετικό βαθμό. Η ενσωμάτωση των χαρακτηριστικών του κτιρίου στο μοντέλο παλινδρόμησης αύξησε περαιτέρω τη συνοχή του, όπως έδειξε μια τρίτη ανάλυση που πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο θέσης ιδιοκτησίας (και όχι φατνίου), με χρήση λογιστικής παλινδρόμησης. Η συγκεκριμένη εργασία έδειξε μια σχετικά ισχυρή σχέση μεταξύ ενός συνδυασμού παραγόντων και πλημμύρας, με το R^2 να φτάνει στο 0,63 με ακρίβεια πρόβλεψης 82,9%. Ο βαθμός στεγανοποίησης και η κλίση του εδάφους ήταν οι παράγοντες που επηρέασαν περισσότερο τον καθορισμό της κατανομής πλημμύρας. Ωστόσο, όταν ενσωματώθηκαν οι παράμετροι του κτιρίου, το επίπεδο του χαμηλότερου ανοίγματος ενός κτιρίου σε σύγκριση με το επίπεδο του εδάφους ήταν, με σημαντική διαφορά, η πιο σημαντική παράμετρος.

1.3 Αντικείμενο εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση παραγόντων πρόκλησης αστικών συμβάντων πλημμύρας μέσω της αξιοποίησης νέων τεχνολογιών και ειδικότερα των δυνατοτήτων που παρέχουν τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών για την εφαρμογή μεθόδων χωρικής στατιστικής ανάλυσης. Για το επεισόδιο πλημμύρας που έλαβε χώρα τον Οκτώβριο του 2014 στην Αττική εξετάστηκαν οι παράγοντες πρόκλησης πλημμύρας που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, οι οποίοι διακρίνονται σε *στατικούς* παράγοντες, που σχετίζονται κυρίως με τη γεωμορφολογία του εδάφους, και σε *δυναμικούς* (υδρομετεωρολογικούς) παράγοντες, που σχετίζονται με τις επικρατούσες υδρολογικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης. Επιπλέον αξιολογήθηκε και ο παράγων «*τρωτότητα κατασκευών*» μέσω της αξιολόγησης επιμέρους χαρακτηριστικών για 275 ιδιοκτησίες που καταγράφηκαν ως πλημμυρικά συμβάντα κατά το συγκεκριμένο επεισόδιο.

Συλλέχθηκαν, αναλύθηκαν και υποβλήθηκαν σε επεξεργασία όλα τα επιμέρους γεωγραφικά δεδομένα που απαιτούνται για να εκφραστούν χωρικά οι επιμέρους παράγοντες. Όλες οι οντότητες αποθηκεύτηκαν σε κατάλληλα σχεδιασμένη γεωβάση, συμπεριλαμβανομένης μιας σειράς χαρακτηριστικών και περαιτέρω ποιοτικών και ποσοτικών πληροφοριών, καθώς και των αντίστοιχων μεταδεδομένων.

Πραγματοποιήθηκε στη συνέχεια χωρική στατιστική ανάλυση που περιελάμβανε αρχικά τον προσδιορισμό των βασικών στατιστικών μέτρων, ενώ στη συνέχεια ελέγχθηκαν οι διασταυρώσεις μεταβλητών και τέλος πραγματοποιήθηκε ανάλυση συσχέτισης–παλινδρόμησης και χωρική παλινδρόμηση για το σύνολο των υπό εξέταση δυναμικών και στατικών παραγόντων, οι περισσότεροι από τους οποίους είναι ποσοτικές μεταβλητές.

Μέσω της δημιουργίας ενός δεύτερου συνόλου δεδομένων που αφορούσε ιδιοκτησίες εντός του ίδιου γεωγραφικού χώρου που δεν έχουν πληγεί από πλημμύρες, εφαρμόστηκε πρόσθετα, για τις τιμές επί των θέσεων των ιδιοκτησιών, η λογιστική παλινδρόμηση, εξαιτίας της ιδιαίτερης φύσης της εξαρτημένης κατηγορικής μεταβλητής (πλημμύρα/ όχι πλημμύρα).

Πίνακας 1 Παράγοντες που συντελούν στην πρόκληση αστικών συμβάντων πλημμύρας

Παράγοντες	Δεδομένα	Πηγή προέλευσης
Παράγοντες που σχετίζονται με τη γεωμορφολογία του εδάφους	Υψόμετρο	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους 5m
	Κλίση του εδάφους	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους 5m
	Δίκτυο ποταμών και υδατορεμάτων	Μέσω ανάλυσης Raster δεδομένων
	Αποστάσεις από ποτάμια και υδατορέματα	Μέσω ανάλυσης Raster δεδομένων
	Βαθμός αδιαπερατότητας εδάφους	Raster Δεδομένα. Από European Environment Agency
	Συγκέντρωση ροής	Μέσω ανάλυσης Raster δεδομένων
Μετεωρολογικοί παράγοντες	Μέγιστη καταγεγραμμένη ένταση βροχής (mm/h) σε διαφορετικές χρονικές διάρκειες	Δίκτυα NOANN / METEONET
Κτιριολογικοί παράγοντες	Κατώτατη θέση των ανοιγμάτων των κτιρίων	Μέσω της εφαρμογής Google Street View

1.4 Διάρθρωση τεύχους

Η εργασία αποτελείται συνολικά από πέντε κεφάλαια και ένα παράρτημα, ακολουθώντας την εξής δομή:

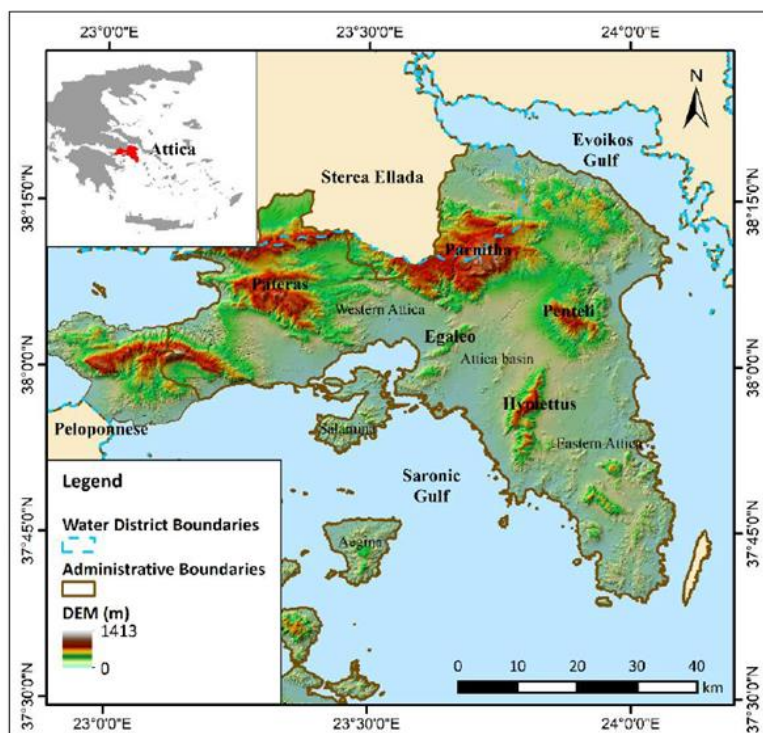
- Στο Κεφάλαιο 1 – *Εισαγωγή*, αναλύονται τα πλημμυρικά φαινόμενα και δίνονται οι ορισμοί για τις βασικές έννοιες που σχετίζονται με αυτά, οι επιπτώσεις που αποφέρουν καθώς και οι παράγοντες που επιδρούν στην εκδήλωσή τους. Επίσης παρουσιάζεται το αντικείμενο και η διάρθρωση της παρούσας εργασίας.
- Στο Κεφάλαιο 2 – *Περιοχή μελέτης και πρωτογενή δεδομένα*, γίνεται ο προσδιορισμός της περιοχής μελέτης και η περιγραφή των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών αυτής. Ακόμη, παρουσιάζονται τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν.
- Στο Κεφάλαιο 3 – *Μεθοδολογία*, παρουσιάζονται τα θεματικά επίπεδα που χρησιμοποιήθηκαν και η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε.
- Στο Κεφάλαιο 4 – *Αποτελέσματα και Συζήτηση*, παρουσιάζονται τα αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν βάσει της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε και ακόμα γίνεται μια συζήτηση λαμβάνοντας υπόψη τη σχετική βιβλιογραφία.
- Στο Κεφάλαιο 5 – *Συμπεράσματα*, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα που προέκυψαν κατά την παρούσα διπλωματική εργασία.
- Το παράρτημα περιλαμβάνει στιγμιότυπα – παραδείγματα από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε εφαρμόζοντας μια σειρά από εντολές.

2 Περιοχή μελέτης και πρωτογενή δεδομένα

2.1 Γενικά Χαρακτηριστικά ευρύτερης περιοχής

2.1.1 Η Περιφέρεια Αττικής

Η Περιφέρεια Αττικής περιλαμβάνει ολόκληρη τη μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας, η οποία είναι η μεγαλύτερη πόλη και η πρωτεύουσα της χώρας. Βρίσκεται στο ανατολικό άκρο της Κεντρικής Ελλάδας και καταλαμβάνει έκταση περίπου 3808 km². Διοικητικά, εκτός από την Αθήνα, περιλαμβάνει το λιμάνι του Πειραιά, τις πόλεις Ελευσίνα και Μέγαρα στα δυτικά, και Λαύριο και Μαραθώνα στα ανατολικά, καθώς και ένα μικρό τμήμα της χερσονήσου της Πελοποννήσου στα νότια, όπως και τα νησιά του Σαρωνικού κόλπου, Σαλαμίνα, Αίγινα, Αγκίστρι, Πόρος, Ύδρα, Σπέτσες και τα νησιά των Κυθήρων και τα Αντικύθηρα. Στην περιοχή ζουν περίπου 3742000 άνθρωποι (Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία, 2019), εκ των οποίων πάνω από το 95% είναι κάτοικοι της μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας (Feloni, 2019).

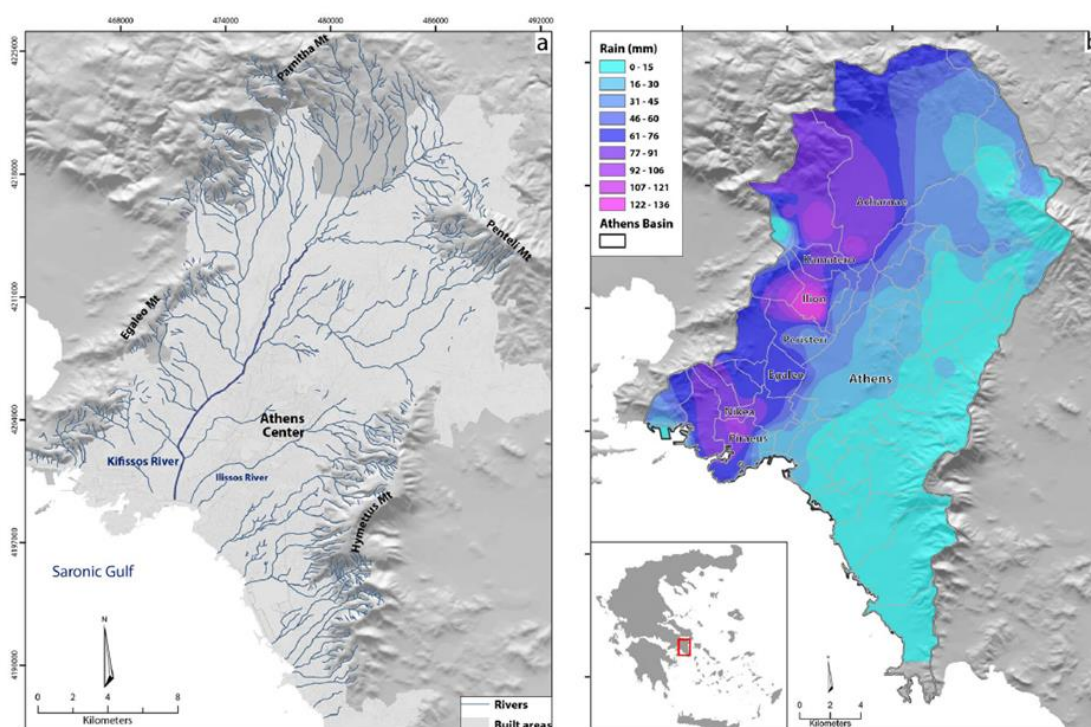


Σχήμα 5 Η Περιφέρεια Αττικής. (Πηγή: Feloni, 2019)

2.1.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

Η περιοχή της Αττικής είναι χτισμένη σε μια μορφολογική λεκάνη που καταλαμβάνει μια περιοχή περίπου 534 km² και περικλείεται από τα βουνά της Πεντέλης, της Πάρνηθας, του Υμηττού και του Αιγάλεω και εκτείνεται στα νότια έως τον Σαρωνικό κόλπο. Η υδρολογική λεκάνη διαμορφώνεται κυρίως από τα υδρολογικά δίκτυα των ποταμών Κηφισού και Ιλισού με μέση ετήσια βροχόπτωση 390 mm. Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής σε συνδυασμό με τον εκτεταμένο αστικό ιστό καθιστούν ευάλωτη την περιοχή σε πλημμύρες.

Η αυξημένη πίεση για ανάπτυξη στην πρωτεύουσα έχει οδηγήσει στην επέκταση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και υποδομών σε περιοχές που διατρέχουν υψηλό πλημμυρικό κίνδυνο, με καταστροφικές συνέπειες (Diakakis et al. 2017).



Σχήμα 6 (α) Χάρτης της περιοχής μελέτης και (β) Χάρτης της κατανομής των βροχοπτώσεων σε όλη τη λεκάνη της Αθήνας κατά την πλημμύρα στις 24 Οκτωβρίου 2014 (Πηγή: Diakakis et al., 2017)

Στο παραπάνω σχήμα (Σχήμα 6) απεικονίζεται η λεκάνη του Κηφισού, με το υδρογραφικό δίκτυο, και η κατανομή της συνολικής βροχόπτωσης για το υπό μελέτη επεισόδιο.

2.1.3 Χρονικό επεισοδίων πλημμύρας στην περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από σημαντικό πλημμυρικό ιστορικό. Ενδεικτικά, στον Πίνακα 2 αποτυπώνονται τα πλημμυρικά επεισόδια που συνέβησαν το διάστημα από το 1896 έως και το 2005.

Πίνακας 2 Ιστορικές πλημμύρες στην περιοχή μελέτης (1896-2005). (Πηγή δεδομένων: Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας)

α/α	Τοποθεσία Πλημμύρας	Ημερομηνία Πλημμυρικού Γεγονότος
1	ΠΕΙΡΑΙΑΣ ΑΘΗΝΑ	26.11.1896
2	ΜΟΣΧΑΤΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	26.11.1896
3	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΡΕΝΤΗΣ ΑΘΗΝΑ	26.11.1896
4	ΚΑΜΙΝΙΑ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	23.11.1925
5	ΚΟΚΚΙΝΙΑ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	23.11.1925
6	ΑΓ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑΣ	23.11.1925
7	ΡΕΜΑ ΕΣΧΑΤΙΑΣ ΚΗΦΙΣΟΣ	21.2.1930
8	Ν. ΙΩΝΙΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	26.10.1930
9	ΣΕΠΟΛΙΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	26.10.1930
10	ΚΟΛΩΝΟΣ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	26.10.1930
11	ΚΥΨΕΛΗ ΑΘΗΝΑ	26.10.1930
12	ΙΛΙΟΝ ΑΘΗΝΑ	6.11.1961
13	ΜΟΣΧΑΤΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	6.11.1961
14	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΡΕΝΤΗΣ ΑΘΗΝΑ	6.11.1961
15	ΚΑΜΙΝΙΑ ΑΘΗΝΑ	6.11.1961
16	ΚΟΚΚΙΝΙΑ ΑΘΗΝΑ	6.11.1961
17	ΤΑΥΡΟΣ ΑΘΗΝΑ	6.11.1961
18	ΑΙΓΑΛΕΩ ΑΘΗΝΑ	6.11.1961
19	ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ ΑΘΗΝΑ	6.11.1961
20	ΑΓ. ΑΝΑΡΓΥΡΟΙ ΑΘΗΝΑ	6.11.1961
21	ΚΕΡΑΤΣΙΝΙ ΑΘΗΝΑ	6.11.1961
22	ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑ ΑΘΗΝΑ	6.11.1961
23	Π. ΦΑΛΗΡΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	6.11.1961
24	ΤΖΙΤΖΙΦΙΕΣ ΑΘΗΝΑ	6.11.1961
25	ΜΟΣΧΑΤΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	2.11.1977
26	ΚΑΜΙΝΙΑ ΑΘΗΝΑ	2.11.1977
27	ΑΙΓΑΛΕΩ ΑΘΗΝΑ	2.11.1977

28	ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ ΑΘΗΝΑ	2.11.1977
29	ΚΕΡΑΤΣΙΝΙ ΑΘΗΝΑ	2.11.1977
30	Π. ΦΑΛΗΡΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	2.11.1977
31	ΚΟΡΥΔΑΛΟΣ ΑΘΗΝΑ	2.11.1977
32	ΝΙΚΑΙΑ ΑΘΗΝΑ	2.11.1977
33	ΚΑΜΑΤΕΡΟ ΑΘΗΝΑ	27.10.1980
34	ΙΛΙΟΝ ΑΘΗΝΑ	27.10.1980
35	Ν. ΙΩΝΙΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	27.10.1980
36	ΧΟΛΑΡΓΟΣ ΑΘΗΝΑ	27.10.1980
37	ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΑΘΗΝΑ	27.10.1980
38	ΧΑΛΑΝΔΡΙ ΑΘΗΝΑ	27.10.1980
39	ΦΙΛΟΘΕΗ ΑΘΗΝΑ	27.10.1980
40	Π. ΨΥΧΙΚΟ ΑΘΗΝΑ	27.10.1980
41	ΙΛΙΟΝ ΑΘΗΝΑ	27.10.1986
42	Ν. ΙΩΝΙΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	27.10.1986
43	ΑΙΓΑΛΕΩ ΑΘΗΝΑ	27.10.1986
44	ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ ΑΘΗΝΑ	27.10.1986
45	Π. ΦΑΛΗΡΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	27.10.1986
46	ΜΑΡΟΥΣΙ ΑΘΗΝΑ	27.10.1986
47	ΙΛΙΣΙΑ ΑΘΗΝΑ	27.10.1986
48	ΠΕΤΡΟΥΠΟΛΗ ΑΘΗΝΑ	12.11.1987
49	ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ ΑΘΗΝΑ	12.11.1987
50	ΓΛΥΦΑΔΑ ΑΘΗΝΑ	12.11.1987
51	ΒΟΥΛΑ ΑΘΗΝΑ	12.11.1987
52	ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ ΑΘΗΝΑ	12.11.1987
53	ΙΛΙΟΝ ΑΘΗΝΑ	25.2.1988
54	ΤΑΥΡΟΣ ΑΘΗΝΑ	25.2.1988
55	ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ ΑΘΗΝΑ	25.2.1988
56	ΧΟΛΑΡΓΟΣ ΑΘΗΝΑ	5.10.1989
57	ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΑΘΗΝΑ	5.10.1989
58	ΧΑΛΑΝΔΡΙ ΑΘΗΝΑ	5.10.1989
59	ΦΙΛΟΘΕΗ ΑΘΗΝΑ	5.10.1989
60	Π. ΨΥΧΙΚΟ ΑΘΗΝΑ	5.10.1989
61	ΜΑΡΟΥΣΙ ΑΘΗΝΑ	5.10.1989
62	ΗΛΙΟΥΠΟΛΗ, ΑΘΗΝΑ	15.1.1991
63	ΓΛΥΦΑΔΑ ΑΘΗΝΑ	8.11.1991
64	ΒΟΥΛΑ ΑΘΗΝΑ	8.11.1991
65	ΑΛΙΜΟΣ ΑΘΗΝΑ	8.11.1991
66	ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΘΗΝΑ	8.11.1991
67	ΓΛΥΦΑΔΑ ΑΘΗΝΑ	21.11.1993
68	ΒΟΥΛΑ ΑΘΗΝΑ	21.11.1993
69	Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	21/10/1994

70	Ν. ΙΩΝΙΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	21/10/1994
71	ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ ΑΘΗΝΑ	21/10/1994
72	Ν. ΧΑΛΚΗΔΟΝΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ	21/10/1994
73	ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ	1998
74	ΖΕΦΥΡΙΟΥ	1998
75	ΧΑΪΔΑΡΙ	8/7/2002
76	ΠΕΙΡΑΙΑΣ	8/7/2002
77	ΜΟΣΧΑΤΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ	8/7/2002
78	ΜΟΣΧΑΤΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ	8/7/2002
79	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΡΕΝΤΗΣ	8/7/2002
80	ΑΙΓΑΛΕΩ	8/7/2002
81	ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	8/7/2002
82	ΑΘΗΝΑΙΩΝ	8/7/2002
83	ΓΑΛΑΤΣΙΟΥ	8/7/2002
84	ΤΑΥΡΟΥ ΤΑΥΡΟΥ	8/7/2002
85	Π. ΦΑΛΗΡΟ, ΡΕΜΑ ΠΙΚΡΟΔΑΦΝΗΣ	18/8/2002
86	ΜΟΣΧΑΤΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ	18/8/2002
87	ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ	18/8/2002
88	ΠΕΙΡΑΙΑΣ	8/11/2004
89	ΑΓ. ΙΩΑΝΝΗΣ ΡΕΝΤΗΣ	8/11/2004
90	ΝΙΚΑΙΑ	8/11/2004
91	ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΥ	8/11/2004
92	ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ	19/12/2004
93	ΧΑΪΔΑΡΙ	30/12/2005
94	ΚΑΜΑΤΕΡΟ ΑΘΗΝΑ	30/12/2005
95	Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ ΑΘΗΝΑ	30/12/2005
96	ΙΛΙΟΝ ΑΘΗΝΑ	30/12/2005
97	ΠΕΤΡΟΥΠΟΛΗ ΑΘΗΝΑ	30/12/2005
98	ΡΕΜΑ ΕΣΧΑΤΙΑΣ ΑΘΗΝΑ	30/12/2005
99	ΑΧΑΡΝΩΝ	24/5/2007
100	ΓΛΥΦΑΔΑ	3/10/2009
101	ΑΧΑΡΝΩΝ	3/10/2009
102	ΧΑΛΑΝΔΡΙ	22/02/2013
103	ΠΕΙΡΑΙΩΣ	22/02/2013
104	ΜΟΣΧΑΤΟ	22/02/2013
105	ΑΙΓΑΛΕΩ	22/02/2013
106	Π. ΦΑΛΗΡΟ	22/02/2013
107	ΑΧΑΡΝΩΝ	24/10/2014
108	ΑΓ. ΑΝΑΡΓΥΡΟΙ	24/10/2014
109	ΙΛΙΟΝ	24/10/2014
110	ΚΑΜΑΤΕΡΟ	24/10/2014
111	ΚΕΡΑΤΣΙΝΙ	24/10/2014

112	ΚΟΚΚΙΝΙΑ	24/10/2014
113	ΚΟΡΥΔΑΛΟΣ	24/10/2014
114	Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ	24/10/2014
115	ΝΙΚΑΙΑ	24/10/2014
116	ΠΕΙΡΑΙΑΣ	24/10/2014
117	ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	24/10/2014
118	ΜΑΝΔΡΑ	27/02/2015
119	ΝΕΑ ΠΕΡΑΜΟΣ	27/02/2015
120	ΕΛΕΥΣΙΝΑ	27/02/2015

2.2 Πρωτογενή δεδομένα για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας

Τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία διακρίνονται στα:

- Γεωμορφολογικά δεδομένα (Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους και παράγωγα αυτού),
- Υδρολογικά δεδομένα (δεδομένα βροχόπτωσης, βαθμός αδιαπερατότητας του εδάφους ‘soil sealing’)
- Αστικά συμβάντα πλημμύρας του εξεταζόμενου επεισοδίου.

2.2.1 Το επεισόδιο πλημμύρας του Οκτωβρίου 2014

Το επεισόδιο έντονης βροχόπτωσης που επιλέγεται ως μελέτη περίπτωσης («case study») εκτυλίχθηκε την Παρασκευή 24 Οκτωβρίου 2014 στην Αττική, όταν ένα βαθύ βαρομετρικό χαμηλό, το οποίο σχηματίστηκε πάνω από την Αδριατική Θάλασσα, μετακινήθηκε μέσω του Ιονίου Πελάγους προς την Πελοπόννησο, εμπλουτίζοντας τις αέριες μάζες, και στη συνέχεια προς την Αττική. Ταυτόχρονα με το πέρασμά του πάνω από την Αθήνα, το σύστημα ωρίμασε αναπτύσσοντας μια σειρά από καταιγίδες που τροφοδοτούνταν από τον Σαρωνικό Κόλπο, οδηγώντας σε συσσώρευση βροχής έως 130 mm μέσα σε πέντε ώρες στο δυτικό τμήμα της Αθήνας, προκαλώντας πλημμύρα και καταγράφοντας ανθρώπινες απώλειες και μεγάλες καταστροφές (βλ. Σχήματα 7-8), πλήττοντας κυρίως περιοχές της Δυτικής Αττικής (Diakakis et al. 2017).

Το επεισόδιο πλημμύρας του Οκτωβρίου 2014 έπληξε 18 Δήμους της Περιφέρειας Αττικής. Αναλυτικά οι Δήμοι που επλήγησαν παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3 Δήμοι που επλήγησαν στο επεισόδιο πλημμύρας του Οκτωβρίου 2014 στην Περιφέρεια Αττικής

α/α	Όνομασία Δήμου
1	Δήμος Ιλίου
2	Δήμος Αγίας Βαρβάρας
3	Δήμος Αγίων Αναργύρων - Καματερού
4	Δήμος Αθηναίων
5	Δήμος Αιγάλεω
6	Δήμος Αχαρνών
7	Δήμος Κερατσινίου - Δραπετσώνας
8	Δήμος Κορυδαλλού
9	Δήμος Μεταμορφώσεως
10	Δήμος Μοσχάτου - Ταύρου
11	Δήμος Νίκαιας - Αγίου Ι. Ρέντη
12	Δήμος Πειραιώς
13	Δήμος Περάματος
14	Δήμος Περιστερίου
15	Δήμος Πετρούπολης
16	Δήμος Ν. Φιλαδέλφειας – Ν. Χαλκηδόνας
17	Δήμος Φυλής
18	Δήμος Χαϊδαρίου



Σχήμα 7 Πειραιάς, Επεισόδιο πλημμύρας Οκτωβρίου 2014. (Πηγή: Εφημερίδα «Τα Νέα»)



Σχήμα 8 Νίκαια, Επεισόδιο πλημμύρας Οκτωβρίου 2014. (Πηγή: Εφημερίδα «Ναυτεμπορική»)

2.2.2 Γεωχωρικά δεδομένα

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που χρησιμοποιήθηκε ανήκει στη σειρά δεδομένων της ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. που παρέχει για όλη την επικράτεια το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ, Digital Elevation Model/DEM). Αποτελείται από μια σειρά από πινακίδες (διανομή πινακίδων κτηματολογίου 1:5000) μεγέθους εικονοστοιχείου 5m και αποτελεί ένα ομοιογενές πλέγμα υψομέτρων επί του εδάφους έτσι ώστε να δημιουργείται ένα μοντέλο επιφανείας γης. Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς στο οποίο βασίζεται είναι το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ87). Η γεωμετρική ακρίβεια του είναι $RMSEz \leq 2,00m$ και η απόλυτη ακρίβεια $\leq 3,92 m$ για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Σύμφωνα με το ΨΜΕ που χρησιμοποιήθηκε, τα υψόμετρα στην περιοχή μελέτης κυμαίνονται από -0,143m έως 1408,31m. Τα περισσότερα συμβάντα πλημμύρας καταγράφονται δυτικά, κάτω από τον ορεινό όγκο της Πάρνηθας, ενώ παρατηρούμε εναλλαγές στη γεωμορφολογία του εδάφους, με τους περισσότερους δήμους που επλήγησαν να εμφανίζουν ένα ορεινό και ένα πεδινό τμήμα. Επίσης παρατηρούμε ότι τα περισσότερα συμβάντα πλημμύρας συγκεντρώνονται σε παραπόταμους του ποταμού Κηφισού και κυρίως στον μεγαλύτερο από αυτούς (ρέμα Εσχατιάς).

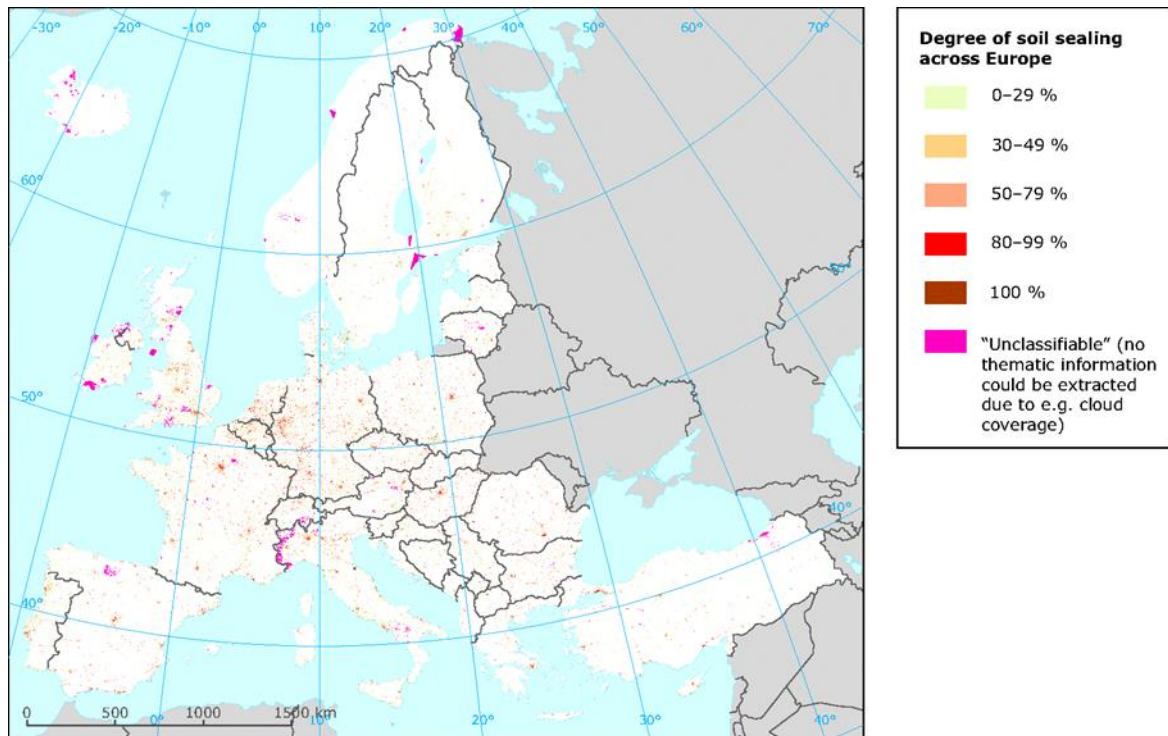
2.2.3 Υδρομετεωρολογικά δεδομένα

Κατά τη μελέτη ενός επεισοδίου πλημμύρας, κρίνεται απαραίτητη η μέτρηση της βροχόπτωσης, καθώς αποτελεί έναν από τους πιο καθοριστικούς παράγοντες πρόκλησης πλημμύρας. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από 13 γειτονικούς σταθμούς καταγραφής 10λεπτης βροχόπτωσης (Πίνακας 4), με σκοπό τον προσδιορισμό παραμέτρων, όπως η αθροιστική βροχόπτωση, η μέγιστη ένταση βροχής για διάφορες διάρκειες και οι προηγούμενες συνθήκες υγρασίας. Τα δεδομένα βροχόπτωσης προέρχονται από το δίκτυο σταθμών NOANN (Lagouvardos et al., 2017).

Πίνακας 4 Σταθμοί Βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης

α/α	Σταθμός Βροχόπτωσης
1	Αμπελόκηποι
2	Αθήνα
3	Εκάλη
4	Νέα Σμύρνη
5	Πατήσια
6	Περιστέρι
7	Μενίδι
8	Άνω Λιόσια
9	Μάντρα
10	Ψυττάλεια
11	Άγιος Κοσμάς
12	Ιπποκράτειος Πολιτεία
13	Πεντέλη

Κατά τη μελέτη του επεισοδίου βροχόπτωσης λαμβάνονται επίσης υπόψιν οι καταγεγραμμένες τιμές του ποσοστού βαθμού αδιαπερατότητας του εδάφους (soil sealing), ανάλυσης 20m. Ιδιαίτερα στις αστικές περιοχές το ποσοστό αδιαπερατότητας του εδάφους είναι ιδιαίτερα υψηλό εξαιτίας της μέγιστης στεγανότητας του εδάφους. Προέρχεται από τις υπηρεσίες του European Environmental Agency (EEA), Fast Track Service Precursor on Land Monitoring – Degree of soil sealing, (European Environment Agency,2010).



Σχήμα 9 Ευρωπαϊκός χάρτης αδιαπερατότητας του εδάφους “Soil Sealing”, (Πηγή: European Environment Agency, 2010)

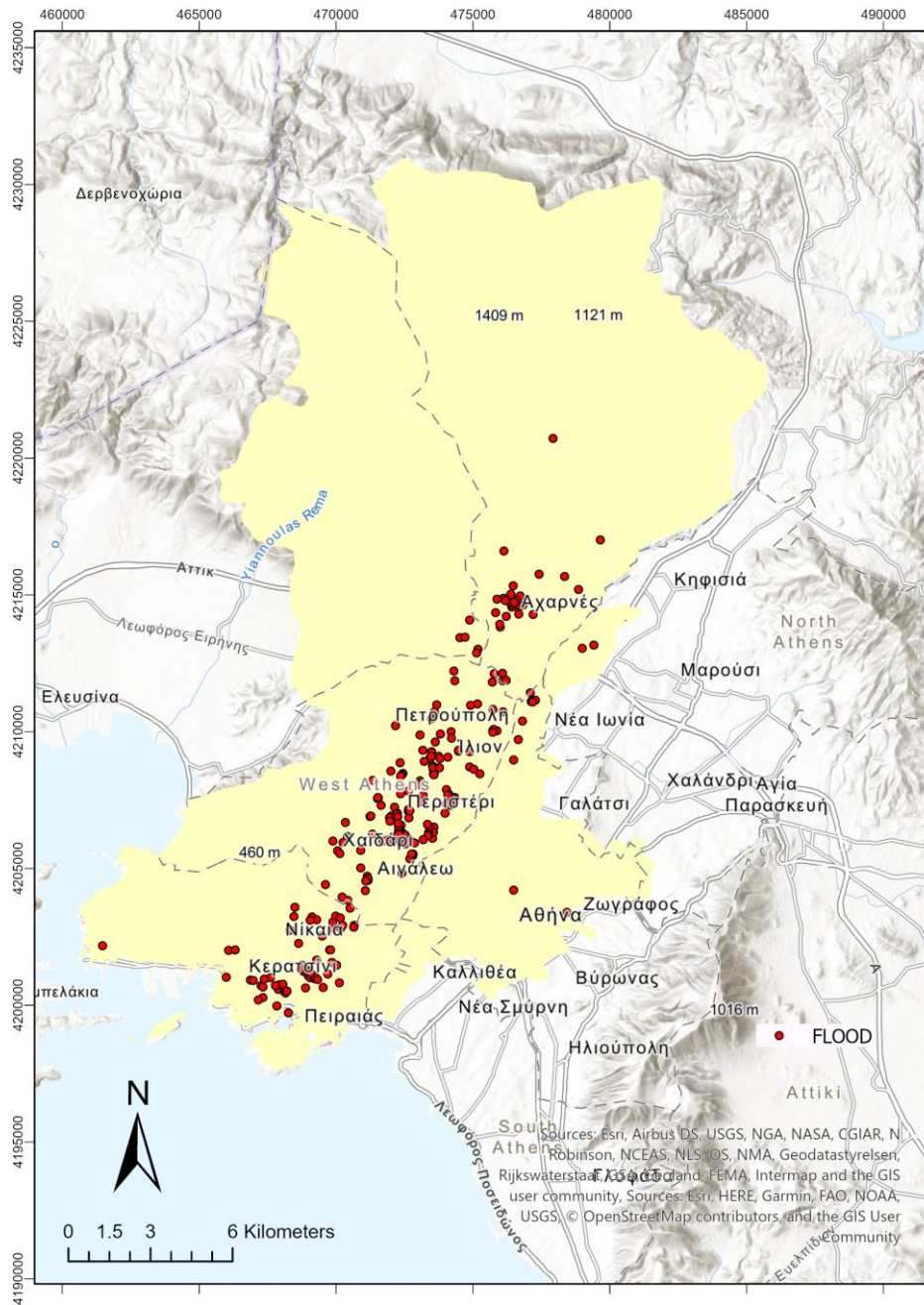
2.2.4 Αστικά συμβάντα πλημμύρας

Ένας τρόπος ποσοτικού υπολογισμού των επιπτώσεων μιας πλημμύρας σε αστικό περιβάλλον είναι η ανάλυση των καταγεγραμμένων κλήσεων έκτακτης ανάγκης (άντληση υδάτων), που πραγματοποιούνται προς το Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας από ιδιοκτήτες ακινήτων κατά τη διάρκεια μιας πλημμύρας. Σύμφωνα με τη Feloni (2019) τα δεδομένα αυτά αποτελούν μια ωφέλιμη προσέγγιση για την ποσοτική καταγραφή των επιπτώσεων μιας πλημμύρας λόγω του ότι περιλαμβάνουν τον ακριβή χρόνο και χώρο, μέσω της ταχυδρομικής διεύθυνσης, που πραγματοποιήθηκε η κλήση (δηλ. συμβάν πλημμύρας). Πιο συγκεκριμένα, αυτά τα δεδομένα διαχωρίζονται από ολόκληρη τη βάση δεδομένων περιστατικών του Πυροσβεστικού Σώματος, καθώς αναφέρουν ως κοινή αιτία της κλήσης «Υδατα από βροχοπτώσεις».

Στα δεδομένα αυτά εκτελείται η διαδικασία της *γεωκωδικοποίησης* (geocoding), δηλαδή ο εντοπισμός της ταχυδρομικής διεύθυνσης στον χάρτη, η αντιστοίχιση δηλαδή της ταχυδρομικής διεύθυνσης με γεωγραφικές συντεταγμένες. Επιπλέον, μετά την εκτέλεση της διαδικασίας γεωκωδικοποίησης, μπορούμε να οδηγηθούμε σε διάφορα μοντέλα συσχέτισης σχετικά με τη χωροχρονική σχέση

μεταξύ του ύψους βροχόπτωσης και του σωρευτικού αριθμού κλήσεων ή σχετικά με τη χωρική επίδραση ενός συμβάντος πλημμύρας.

Στο επεισόδιο πλημμύρας του Οκτωβρίου 2014 που εξετάζεται στην παρούσα Διπλωματική εργασία καταγράφηκαν 275 κλήσεις προς το Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας, στο Δυτικό Τομέα της Περιφέρειας Αττικής. Αναλυτικότερα, τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν την ακριβή ώρα της κλήσης, την ταχυδρομική διεύθυνση του ακινήτου που έχει πληγεί και την αιτία κλήσης προς το Πυροσβεστικό Σώμα. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο πρόγραμμα ArcGIS Pro, όπου εκτελείται η διαδικασία της γεωκωδικοποίησης. Μέσω της διαδρομής Add Data > Address Layer > Geoprocessing > Geocode Addresses εισάγεται ο πίνακας των δεδομένων και επιλέγεται μέσω ArcGIS Geocoding Service η χώρα προέλευσης των δεδομένων (Greece). Στο τμήμα των Address Input Fields επιλέγεται για κάθε πεδίο διευθύνσεων το αντίστοιχο πεδίο του πίνακα διευθύνσεων. Στη συνέχεια επιλέγεται η τοποθεσία στην οποία θα αποθηκευτεί το νέο αρχείο, το οποίο χρησιμοποιεί το ίδιο προβολικό σύστημα με αυτό που έχει το Address Locator που χρησιμοποιήθηκε. Μετά την ολοκλήρωσή της διαδικασίας το νέο αρχείο εισάγεται στον πίνακα διαχείρισης των επιπέδων πληροφορίας, ενώ μέσω της εντολής Rematch πραγματοποιήθηκε αναθεώρηση και επαναταυτοποίηση των διευθύνσεων, όπου αυτό κρίθηκε απαραίτητο.



Σχήμα 10 Χάρτης θέσεων πλημμυρισμένων ιδιοκτησιών κατά το επεισόδιο Οκτωβρίου 2014 (Πηγή πρωτογενών δεδομένων: Πυροσβεστική Υπηρεσία Ελλάδος, Υπόβαθρο χάρτη: ESRI Basemaps)

3 Μεθοδολογία

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, πραγματοποιήθηκε συλλογή, ανάλυση και επεξεργασία διαφόρων γεωγραφικών δεδομένων. Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα ArcGIS Pro, μια γεωβάση με ονομασία “DIPLOMATIKH.gdb”, κατάλληλα σχεδιασμένη ώστε να αποθηκεύσει όλες τις οντότητες, αλλά και να συμπεριλάβει μια σειρά χαρακτηριστικών και περαιτέρω ποιοτικών και ποσοτικών πληροφοριών, καθώς και των αντίστοιχων μεταδεδομένων τους. Τα δεδομένα αυτά εξυπηρετούν διάφορα στάδια της διπλωματικής, όπως:

- (i) τη διερεύνηση διάφορων στατικών παραγόντων, κυρίως γεωμορφολογικών (π.χ. κλίσεων εδάφους), οι οποίοι συνδέονται (ή ενδέχεται να συνδέονται) με την εμφάνιση πλημμυρών.
- (ii) την χωρική απεικόνιση των υδρομετεωρολογικών κλπ. παραγόντων, για τη μετέπειτα στατιστική επεξεργασία τους

Τα πρωτογενή δεδομένα που εισάγονται στο πρόγραμμα ArcGIS Pro και τα οποία περιέχονται σε αντίστοιχα layers, καταγράφονται στον πίνακα 5 που ακολουθεί.

Πίνακας 5 Οργάνωση πρωτογενών δεδομένων στο ArcGIS Pro

Όνομασία Layer	Δεδομένα	Προέλευση
dimoi_orio_selected	Όρια Δήμων	https://geodata.gov.gr/
dianomi_okxe	Διανομή πινακίδων του ΟΚΧΕ	https://geodata.gov.gr/
dem_fill_blend	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM)	Ελληνικό Κτηματολόγιο Α.Ε.
calls_event_Oct2014	Συμβάντα πλημμύρας	Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδας
table_stations	Στοιχεία σταθμών	Δίκτυα NOANN / METEONET
Soil_Sealing	Βαθμός αδιαπερατότητας του εδάφους	European Environment Agency

Μέσω της επεξεργασίας των πρωτογενών δεδομένων στο ArcGISPro προκύπτουν τα raster αρχεία που περιλαμβάνουν τις τιμές των 13 εξεταζόμενων παραγόντων (Πίνακας 1) για όλη την περιοχή μελέτης. Η προτεινόμενη προσέγγιση διερευνά την επίδραση των παραγόντων αυτών και την πιθανή στατιστική συσχέτισή τους με την εμφάνιση πλημμύρας, ενώ η επιλογή τους έγινε βάσει της σχετικής βιβλιογραφίας (π.χ., Diakakis et al., 2016; Feloni, 2021; Feloni et al., 2021) σχετικά με τις παραμέτρους που επηρεάζουν τις πλημμύρες σε μια αστική περιοχή.

Για τη χωρική απεικόνιση της πλημμύρας η περιοχή μελέτης διαιρείται σε κανάβο με μέγεθος κελιού 500m X 500m και 1000m X 1000m για την εκτέλεση δύο διαφορετικών δοκιμών. Οι πλημμυρισμένες θέσεις αντιστοιχούν σε σημεία στο GIS και κάθε κελί του επικαλυπτόμενου κανάβου δίνει στη συνέχεια δύο τιμές, περιγράφοντας:

1. Εάν υπάρχει ή όχι πλημμυρισμένη θέση στο κελί (0: Δεν υπάρχει πλημμυρισμένη θέση, 1: Υπάρχει τουλάχιστον μια πλημμυρισμένη θέση)
2. Τον αριθμό των πλημμυρισμένων θέσεων που υπάρχουν σε κάθε κελί (0,1,2,...)

Σε κάθε κελί των δύο κανάβων εκχωρείται επίσης μια τιμή για καθένα από τους 13 εξεταζόμενους παράγοντες. Αυτή η τιμή αντιστοιχεί στον μέσο όρο των αντίστοιχων τιμών του raster που εμπίπτουν σε κάθε κελί του κανάβου.

Προκειμένου να μελετηθεί η πιθανή επιρροή κάθε παραμέτρου, θεωρήθηκε ότι όσο υψηλότερη είναι η στατιστική συσχέτιση μεταξύ κατανομής πλημμύρας και τιμής ενός παράγοντα, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η επίδραση (θετική ή αρνητική) που έχει στην πλημμύρα.

Η διερεύνηση της στατιστικής συσχέτισης μεταξύ αυτών των 13 παραγόντων και της εμφάνισης πλημμύρας γίνεται στο πρόγραμμα SPSS με τη χρήση:

1. Διαδικής λογιστικής παλινδρόμησης (Binary Logistic Regression 'BLR'), στην οποία ως εξαρτημένη λαμβάνεται η μεταβλητή που δείχνει αν υπάρχουν ή όχι πλημμυρισμένες θέσεις εντός του κελιού, με τιμές '0: δεν υπάρχει πλημμυρισμένη θέση' ή '1:υπάρχει τουλάχιστον μια πλημμυρισμένη θέση' και ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι 13 εξεταζόμενοι παράγοντες, ως σύνολο, αλλά

και επιλεκτικά έτσι ώστε να δώσουν ένα ισχυρό μοντέλο συσχέτισης. Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται ως δείκτης της χωρικής κατανομής της πλημμύρας.

2. Γενικευμένης γραμμικής παλινδρόμησης, (Linear Regression Model 'GLM'), στην οποία ως εξαρτημένη λαμβάνεται η μεταβλητή που δείχνει τον αριθμό των πλημμυρισμένων θέσεων εντός του κελιού και ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι 13 εξεταζόμενοι παράγοντες, ως σύνολο, αλλά και επιλεκτικά έτσι ώστε να δώσουν ένα ισχυρό μοντέλο συσχέτισης. Η παράμετρος αυτή χρησιμοποιείται ως δείκτης της έντασης της πλημμύρας.

3.1 Χωρική ανάλυση σε περιβάλλον Σ.Γ.Π.

3.1.1 Προσδιορισμός παραγόντων

Υδρομετεωρολογικοί παράγοντες

Τα δεδομένα βροχόπτωσης για την περιοχή μελέτης αποτελούν δεδομένα 10λεπτης καταγραφής βροχόπτωσης που προέρχονται από 13 γειτονικούς σταθμούς μέτρησης βροχόπτωσης του δικτύου NOANN (Lagouvardos et al., 2017), τα οποία αξιοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των εξής παραμέτρων:

- συνολική (αθροιστική) βροχόπτωση
- μέγιστες εντάσεις διάρκειας 10, 20 και 30 λεπτών
- μέγιστες εντάσεις διάρκειας 1, 2 και 6 ωρών
- προηγούμενες συνθήκες υγρασίας

Η αθροιστική βροχόπτωση υπολογίσθηκε ως το συνολικό σωρευμένο ύψος υετού από την αρχή έως το πέρας της καταιγίδας για κάθε σταθμό καταγραφής βροχόπτωσης. Ουσιαστικά, η αθροιστική βροχόπτωση αντιστοιχεί στο άθροισμα των 10λεπτων καταγραφής βροχόπτωσης από την έναρξη έως τη λήξη μιας καταιγίδας.

Η ένταση βροχής αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς δυναμικούς παράγοντες στην εκδήλωση πλημμυρών, καθώς έχει μελετηθεί πως οι καταιγίδες υψηλής έντασης και μικρής διάρκειας τείνουν να δημιουργούν πολύ μεγαλύτερους όγκους απορροής από ότι οι καταιγίδες μεγάλης διάρκειας ή οι καταιγίδες μεγάλου συνολικού ύψους βροχής. Γενικότερα, η αύξηση της

έντασης αυξάνει το ρυθμό εισόδου κατακρημνισμάτων στη λεκάνη, δημιουργώντας άνοδο της παροχής αιχμής και του όγκου απορροής. Στην περιοχή της Μεσογείου η πλημμυρογένεση συνδέεται πολύ συχνά με βροχοπτώσεις αυξημένης έντασης και μικρής διάρκειας (Diakakis, 2016).

Σε ότι αφορά τις μέγιστες εντάσεις, αυτές υπολογίστηκαν ως η μέγιστη καταγραφή (συσσώρευση βροχόπτωσης) σε διάστημα 10 και 30 λεπτών, 1, 2 και 6 ωρών κατά τη διάρκεια κάθε καταιγίδας.

Τέλος, με σκοπό να εκτιμηθούν οι συνθήκες εδαφικής υγρασίας πριν το ξεκίνημα κάθε καταιγίδας υπολογίστηκαν δείκτες, οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν ως μέτρο της εδαφικής υγρασίας:

- AMC - Antecedent Moisture Conditions (SCS 1972)
- API – Antecedent Precipitation Index (Blanchard 1981)

Ο δείκτης AMC (SCS 1972) υπολογίζεται στο ξεκίνημα κάθε καταιγίδας με βάση την αθροιστική βροχόπτωση των 5 προηγούμενων ημερών, όπως περιγράφεται στο SCS (1972). Τα εδάφη κατατάσσονται σε τέσσερις ομάδες, ανάλογα με τη διαπερατότητά τους και οι καταιγίδες κατατάσσονται ανάλογα με τις προηγούμενες συνθήκες υγρασίας, σε τρεις κατηγορίες: AMC I (στεγνές συνθήκες), AMC II (μέσες συνθήκες) και AMC III (υγρές συνθήκες).

Πίνακας 6 Κατηγορίες αρχικής εδαφικής υγρασίας (SCS, 1972)

Κατηγορία AMC	Συνολικό ύψος βροχής των 5 προηγούμενων ημερών	
	Χειμερινή περίοδος	Περίοδος βλάστησης
AMC I	<13 mm	<36 mm
AMC II	13-28 mm	36-53 mm
AMC III	>28 mm	>53 mm

Ο δείκτης API υπολογίστηκε στην έναρξη τής καταιγίδας, σύμφωνα με την εξίσωση των Kohlen & Linsley (1951):

$$API_i = P_i + (API_{i-1} \cdot K_i)$$

όπου:

API, ο δείκτης προηγούμενης βροχόπτωσης (mm)

P, ημερήσια βροχόπτωση

K_i: σταθερά (< 1).

i, ημέρα στην οποία γίνεται η εκτίμηση

Για το επεισόδιο πλημμύρας που εξετάζουμε επιλέχθηκε η σταθερά $k=0,95$, η οποία προτείνεται από τους Hill et al. (2014) ως μια ασφαλής επιλογή που ανταποκρίνεται ικανοποιητικά σε όλες τις εποχές τους χρόνου (Feloni, 2019).

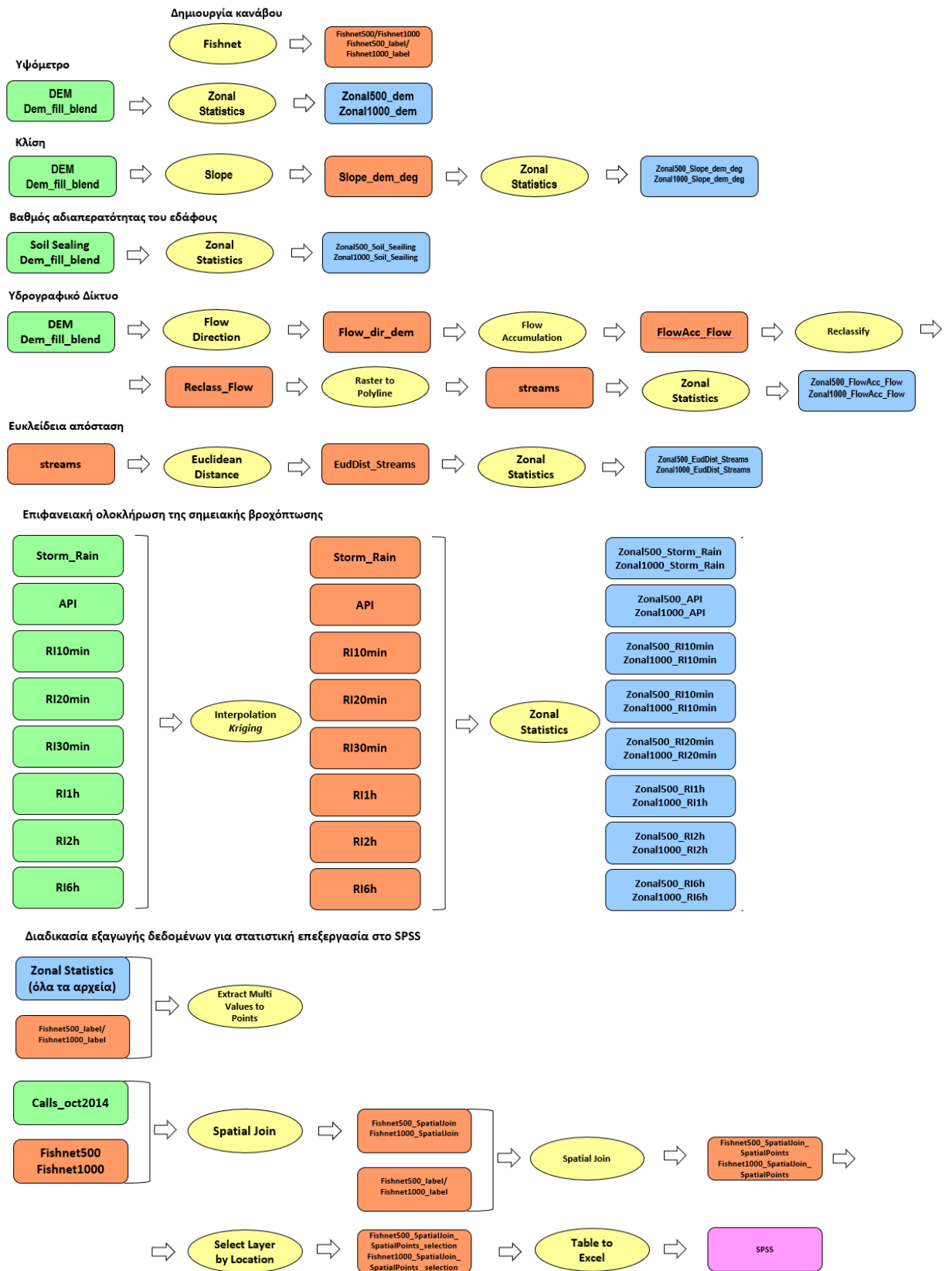
Οι παράμετροι που τελικά υπολογίστηκαν περιέχονται στον παρακάτω πίνακα, ο οποίος εισήχθη στο ArcGIS Pro, δημιουργώντας το θεματικό επίπεδο: table_stations.shp.

Πίνακας 7 Παράμετροι που προσδιορίστηκαν με βάση τις χρονοσειρές 10λεπτης βροχόπτωσης

A/A	Station Name	Name_EI	X	Y	Storm Rain	RI 10min	RI 20min	RI 30min	RI 1h	RI 2h	RI 6h	AMC Class	API
1	<i>ampelokipoi</i>	<i>Αμπελόκηποι</i>	478631.087	4203530.129	43.00	51.60	45.60	39.60	26.00	13.40	4.47	III	41.66
2	<i>athens</i>	<i>Αθήνα</i>	474860.818	4203169.976	33.20	24.00	19.20	12.80	8.40	4.30	2.93	III	32.78
3	<i>ekali</i>	<i>Εκάλη</i>	484311.422	4215491.165	47.00	42.00	40.20	32.00	16.80	8.60	4.37	III	46.14
4	<i>neasmyni</i>	<i>Νέα Σμύρνη</i>	474804.770	4200123.036	35.80	72.00	42.00	30.40	19.20	9.70	3.23	III	34.83
5	<i>patissia</i>	<i>Πατήσια</i>	476133.975	4207997.670	38.40	39.60	38.40	31.20	19.60	11.00	4.90	III	38.24
6	<i>peristeri</i>	<i>Περιστέρι</i>	473844.699	4205768.024	46.20	60.00	42.00	36.00	22.00	12.20	6.10	III	46.05
7	<i>menidi</i>	<i>Μενίδι</i>	475926.104	4216968.009	70.35	78.00	76.80	67.20	41.10	23.53	10.57	III	66.89
8	<i>ano liosia</i>	<i>Άνω Λιόσια</i>	470818.790	4213630.633	75.50	55.80	40.05	32.70	21.15	18.70	11.58	III	71.77
9	<i>mandra</i>	<i>Μάνδρα</i>	461466.132	4218974.948	69.65	84.60	80.25	74.10	44.25	26.00	11.10	III	66.17
10	<i>psittalia</i>	<i>Ψυττάλεια</i>	464082.020	4199014.739	39.80	27.90	23.10	20.90	14.20	8.63	5.54	III	37.83
11	<i>agioskosmas</i>	<i>Άγιος Κοσμάς</i>	475083.616	4193648.098	22.50	28.80	26.40	19.20	10.80	5.40	1.80	III	21.93
12	<i>ippokratios</i>	<i>Ιπποκράτειος Πολιτεία</i>	481515.871	4227284.065	68.60	49.20	44.4	39.2	25.20	18.70	9.47	III	65.23
13	<i>penteli</i>	<i>Πεντέλη</i>	487663.814	4214862.432	39.20	41.10	34.05	28.4	16.95	8.95	4.88	III	36.93

3.1.2 Παραγωγή θεματικών επιπέδων

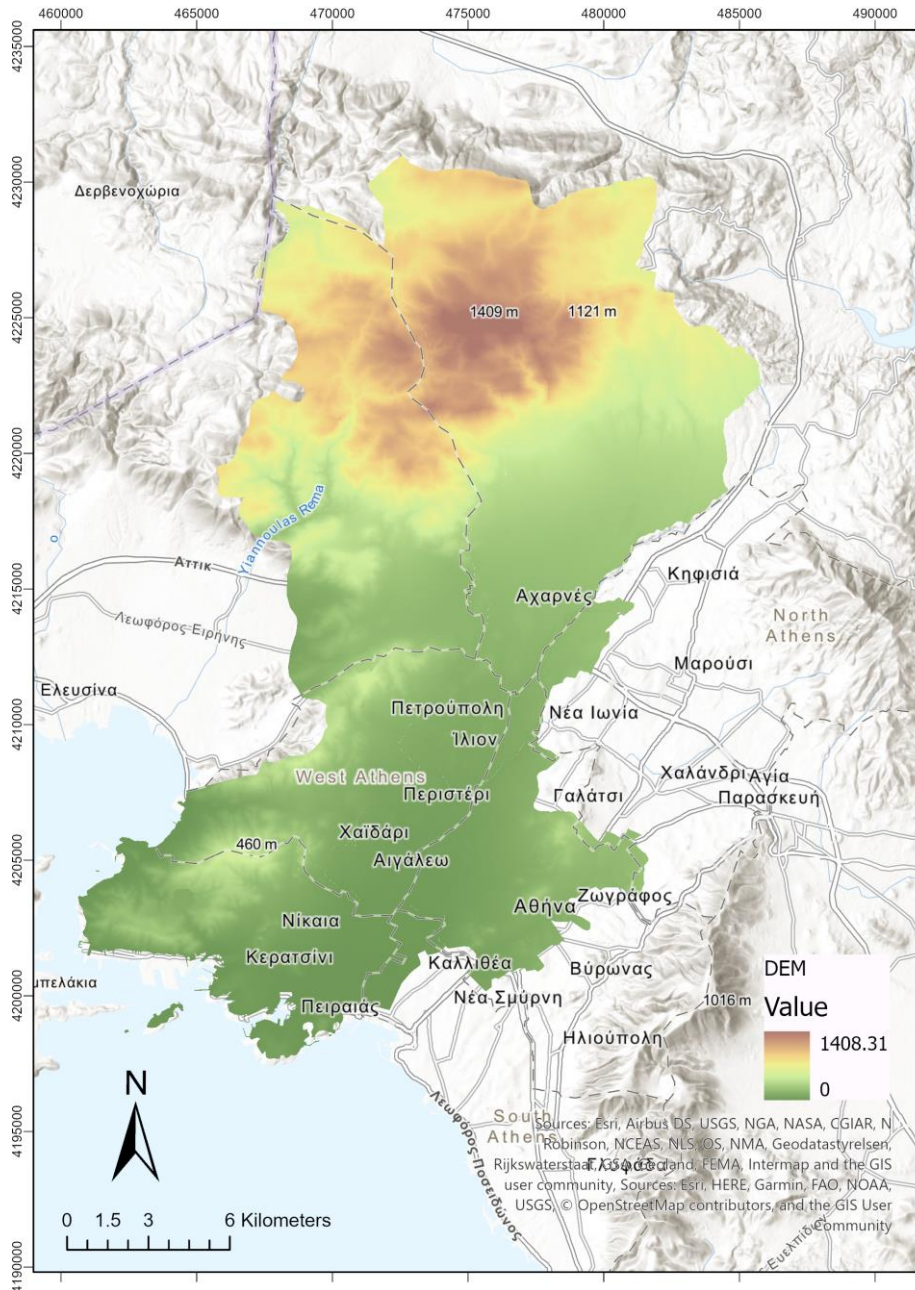
Στην παρούσα παράγραφο περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθήθηκε σε περιβάλλον ΣΓΠ για τον προσδιορισμό των υπόψη παραγόντων. Πριν την αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας, παρουσιάζονται διαγραμματικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν.



Σχήμα 11 Διάγραμμα μεθοδολογίας

- **Δημιουργία θεματικού επιπέδου υψομέτρου (dem)**

Το θεματικό επίπεδο του υψομέτρου δημιουργείται με την εισαγωγή του raster αρχείου που το περιέχει στη γεωβάση. Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζεται το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους στην περιοχή μελέτης.



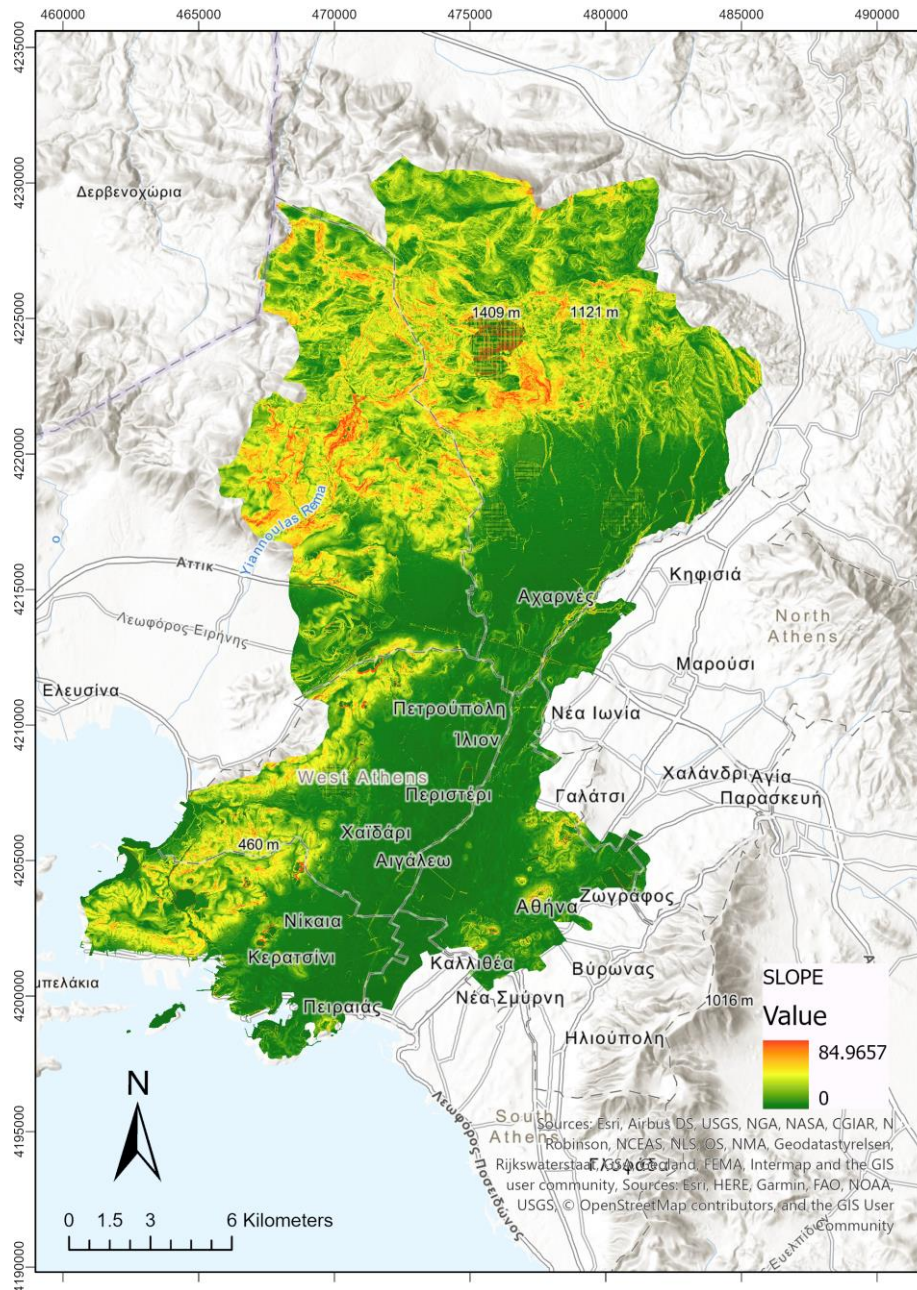
Σχήμα 12 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους στην περιοχή μελέτης (Πηγή δεδομένων ΨΜΕ: Ελληνικό Κτηματολόγιο Α.Ε.)

- **Δημιουργία επιπέδου κλίσεων (Slope_dem)**

Με το εργαλείο slope προσδιορίζεται η επιφανειακή κλίση ανά κάθε κελί ενός raster. Αυτό το εργαλείο χρησιμοποιεί ένα κινούμενο παράθυρο κελιών 3X3 για την επεξεργασία των δεδομένων. Εάν το κελί επεξεργασίας δεν περιέχει δεδομένα (NoData), η έξοδος για αυτήν τη θέση θα είναι ομοίως NoData. Από τα οκτώ κελιά που γειτνιάζουν με το κελί επεξεργασίας, αυτό το εργαλείο απαιτεί τουλάχιστον επτά από αυτά να έχουν έγκυρη τιμή. Εάν υπάρχουν λιγότερα από επτά έγκυρα κελιά, ο υπολογισμός δεν θα πραγματοποιηθεί και η έξοδος σε αυτό το κελί επεξεργασίας θα είναι NoData.

Ως raster εισαγωγής επιλέγεται το raster του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (dem_fill_blend). Η μεθοδολογία που επιλέγεται είναι "Planar", δηλαδή ο υπολογισμός πραγματοποιείται στο προβαλλόμενο επίπεδο μέσω δισδιάστατου (2D) καρτεσιανού συστήματος συντεταγμένων. Επίσης, οι τιμές κλίσης επιλέγεται να εμφανίζονται σε μοίρες. Το raster κλίσεων που προκύπτει μετά την επίλυση είναι το slope_dem_dec, όπου η τιμή του κάθε κελιού αντιπροσωπεύει την κλίση σε αυτό.

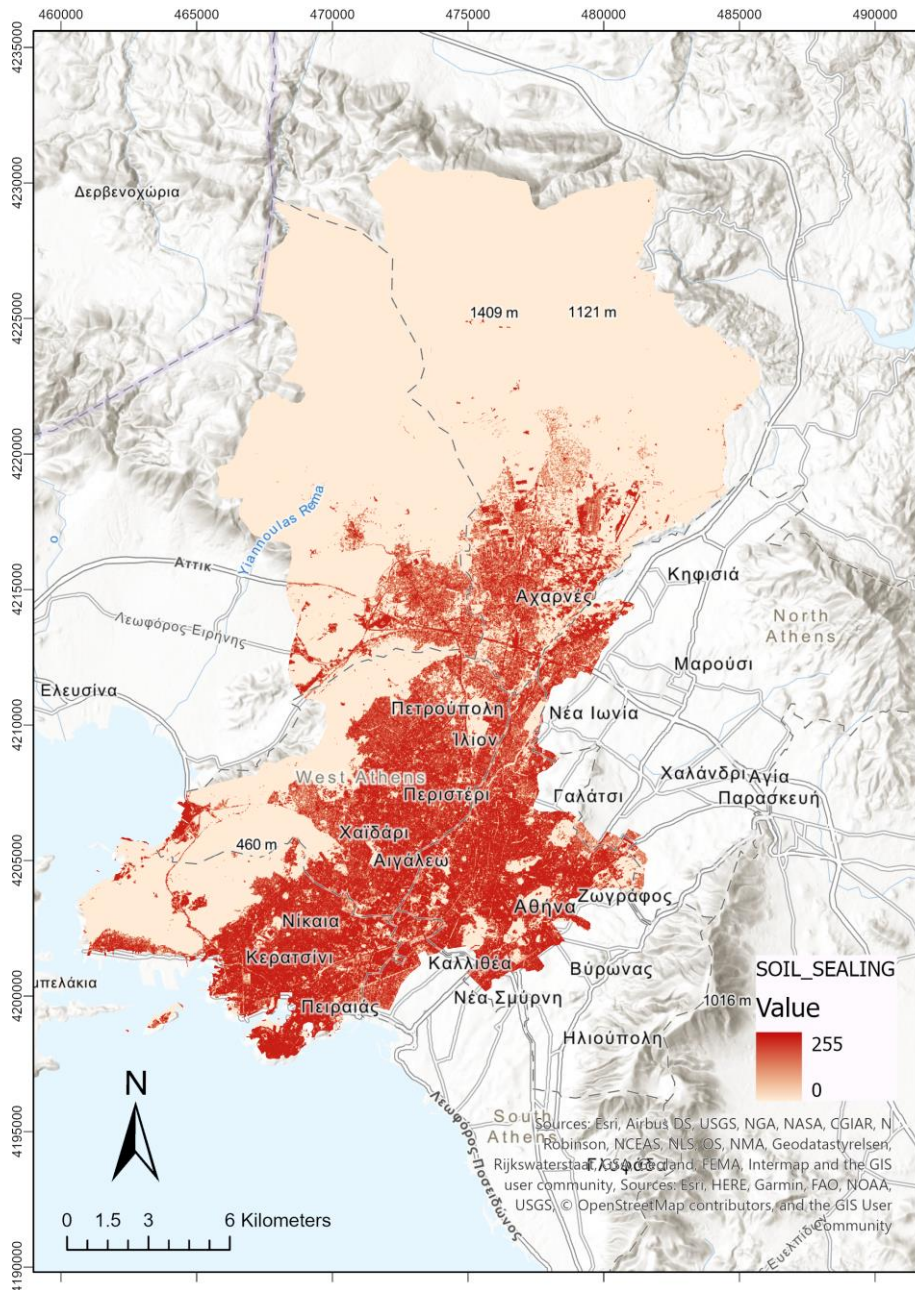
Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζονται οι κλίσεις του εδάφους στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 13 Χάρτης κλίσεων του εδάφους στην περιοχή μελέτης

- **Δημιουργία επιπέδου αδιαπερατότητας του εδάφους (soil sealing)**

Το θεματικό επίπεδο αδιαπερατότητας του εδάφους δημιουργείται με την εισαγωγή του raster αρχείου που το περιέχει στη γεωβάση. Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζεται η αδιαπερατότητα του εδάφους στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 14 Χάρτης αδιαπερατότητας του εδάφους (Πηγή δεδομένων αδιαπερατότητας: European Environment Agency)

- **Προσδιορισμός Υδρογραφικού Δικτύου**

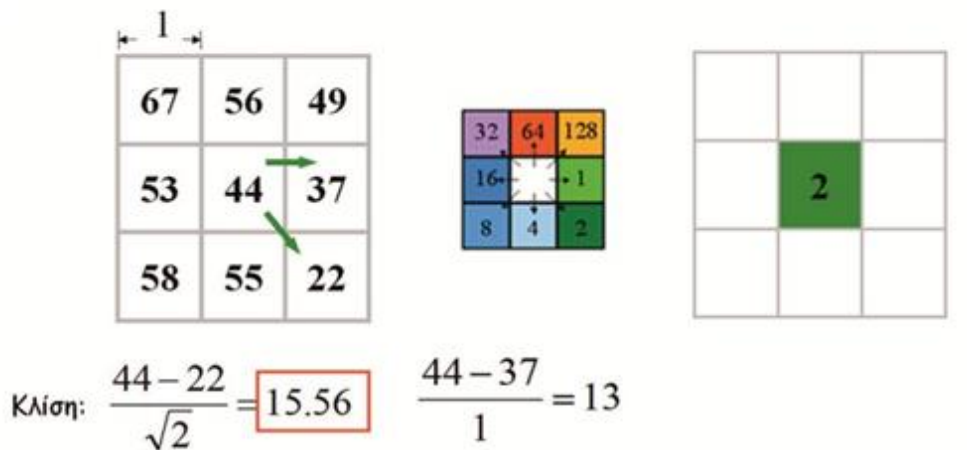
Για τη δημιουργία του raster αρχείου που θα περιλαμβάνει το υδρογραφικό απαιτείται η εκτέλεση μιας σειράς διαδοχικών εντολών (Flow Direction, Flow Accumulation, Reclassify, Raster to Polyline).

Flow Direction

Η διαδρομή που ακολουθούν τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα στην επιφάνεια του εδάφους –είτε αυτά προέρχονται από άμεση κατακρήμνιση, είτε οφείλονται στον κορεσμό του εδάφους– εξαρτάται άμεσα από τις υψομετρικές διαφορές, την κλίση του εδάφους και τον προσανατολισμό της επιφάνειας όπου κινούνται. Για τον λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα προσδιορισμού της διεύθυνσης απορροής με βάση ένα ΨΜΕ, εκ των οποίων το Μοντέλο Απορροής 8 Διευθύνσεων είναι εκείνο με την ευρύτερη χρήση. Με βάση το μοντέλο αυτό:

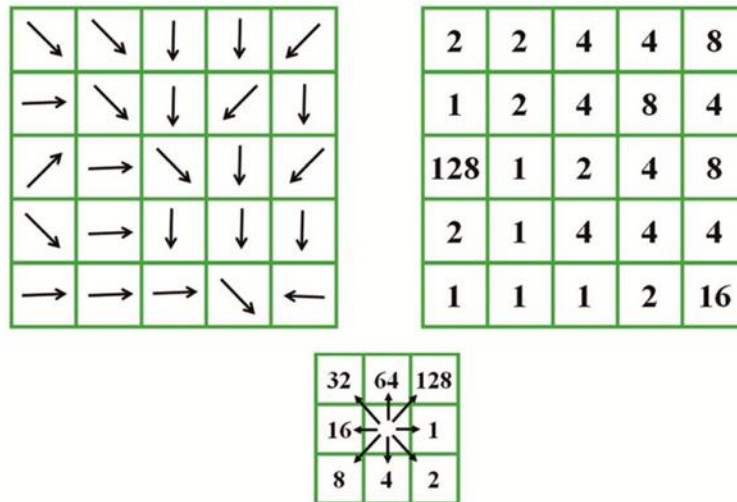
- Κάθε φαινίο του ΨΜΕ εξετάζεται σε σχέση με τα γειτονικά φαινία.
- Υπολογίζονται οι κλίσεις με βάση τις υψομετρικές διαφορές.
- Προσδιορίζεται η διεύθυνση της μέγιστης κλίσης.

Η διεύθυνση της μέγιστης κλίσης είναι η διεύθυνση απορροής του νερού στην επιφάνεια του εδάφους, οπότε το φαινίο κωδικοποιείται αναλόγως λαμβάνοντας μία από τις τιμές 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε κανονικοποιημένη δομή (raster), ως κάρναβος διεύθυνσης απορροής (Τσούλος κ.ά., 2015).



Μοντέλο απορροής 8 διευθύνσεων (D8 - Jensen and Domingue, 1988)

Σχήμα 15 Μοντέλο Απορροής Διευθύνσεων D8 (Πηγή: Τσούλος κ.ά., 2015)

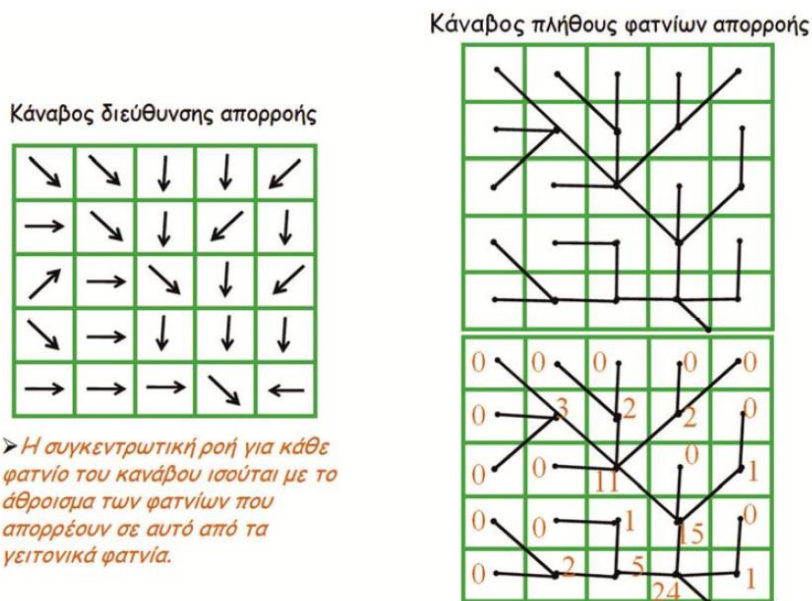


Σχήμα 16 Κωδικοποίηση των διευθύνσεων στο μοντέλο D8 (Πηγή: Τσούλος κ.ά., 2015)

Το εργαλείο Flow direction δημιουργεί ένα raster κατεύθυνσης ροής από κάθε κελί προς τον γείτονα ή τους γείτονές του, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο D8. Ως raster εισαγωγής επιλέγεται το raster του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (dem_fill_blend) και ως μέθοδος επίλυσης η D8.

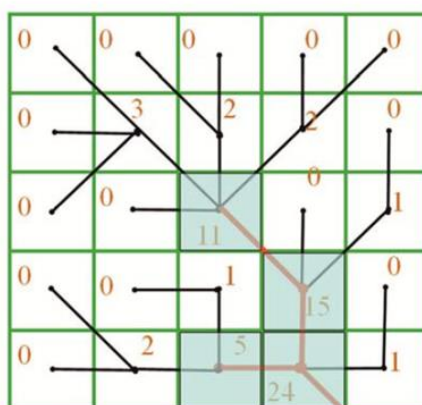
Flow Accumulation – Stream definition

Για τον προσδιορισμό του υδρογραφικού δικτύου, χρειάζεται να προσδιοριστούν οι περιοχές εκείνες του εδάφους, όπου συγκεντρώνονται τα επιφανειακά ύδατα. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία του κανάβου συγκεντρωτικής ροής που προκύπτει από τον κανάβο διευθύνσεων απορροής. Σε κάθε φατνίο του κανάβου συγκεντρωτικής ροής αποθηκεύεται το πλήθος των φατνίων τα οποία απορρέουν σ' αυτό. Το υδρογραφικό δίκτυο προκύπτει σε κανονικοποιημένη (raster) δομή, με την εφαρμογή ενός ορίου το οποίο καθορίζει το ελάχιστο πλήθος γειτονικών φατνίων που πρέπει να απορρέουν σε κάθε φατνίο, ώστε αυτό να ανήκει στο υδρογραφικό δίκτυο (Τσούλος κ.ά., 2015).



Σχήμα 17 Κάναβος συγκεντρωτικής ροής (Πηγή: Τσούλος κ.ά., 2015)

- Τα φατνία του κανάβου συγκεντρωτικής ροής με υψηλές τιμές αντιστοιχούν στις μισογάγγειες, ενώ τα φατνία με μηδενικές τιμές αντιστοιχούν στις κορυφογραμμές.
- Εφαρμογή "ορίου" στις τιμές του κανάβου συγκεντρωτικής ροής για τον προσδιορισμό του υδρογραφικού δικτύου (πχ 5)
- **Υδρογραφικό δίκτυο**
Επιλογή φατνίων με τιμή του κανάβου συγκεντρωτικής ροής ≥ 5



Σχήμα 18 Ο προσδιορισμός του υδρογραφικού δικτύου σε κανονικοποιημένη δομή (Πηγή: Τσούλος κ.ά., 2015)

Με το εργαλείο Flow Accumulation δημιουργείται ένα raster συσσωρευμένης ροής σε κάθε κελί του raster. Ως raster εισαγωγής επιλέγεται το raster διεύθυνσης απορροής (FlowDir_dem).

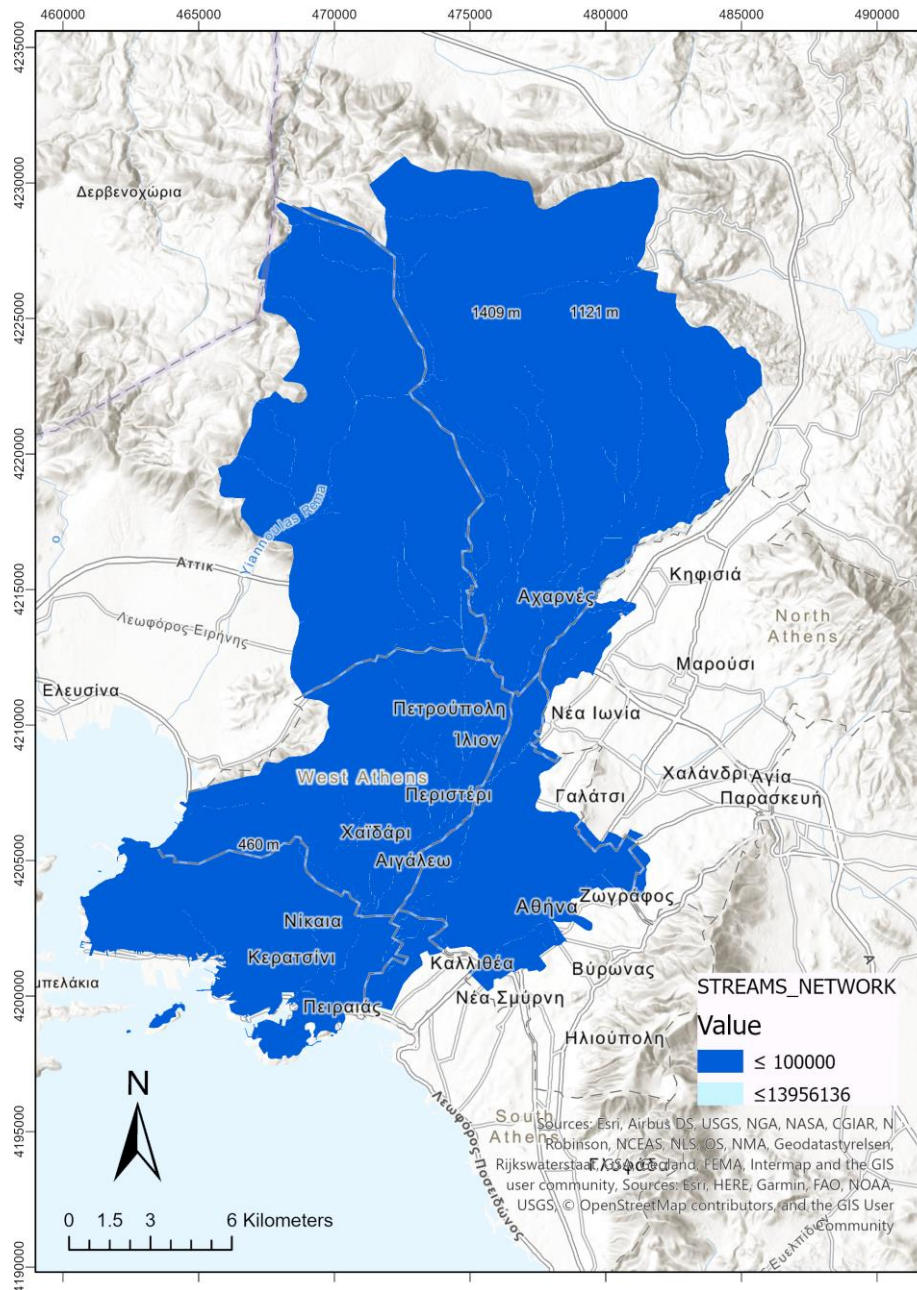
Reclassify

Με το εργαλείο Reclassify γίνεται ανακατάταξη ή αλλαγή των τιμών των κελιών ενός raster. Εδώ το εργαλείο Reclassify χρησιμοποιείται προκειμένου να δημιουργηθεί ένα raster αρχείο, από το οποίο στη συνέχεια θα προκύψει το διανυσματικό αρχείο που θα περιλαμβάνει το υδρογραφικό δίκτυο. Για το λόγο αυτό, στο εργαλείο Reclassify ως raster εισαγωγής επιλέγεται το raster αρχείο FlowAccu_flow.

Πραγματοποιήθηκε διερεύνηση στην περιοχή μελέτης προκειμένου να διαμορφωθεί ένα υδρογραφικό δίκτυο κατάλληλης πυκνότητας ώστε να είναι αντιπροσωπευτικό της περιοχής. Επιλέχθηκε να δίνεται στα κελιά η τιμή NoData για τιμές < 100.000 και 1 για τιμές ≥ 100000 .

Raster to Polyline

Μετατρέπει ένα raster αρχείο σε διανυσματικό που περιλαμβάνει τις polyline που αποτελούν το υδρογραφικό δίκτυο. Ως raster εισαγωγής επιλέγεται το raster αρχείο Reclass_Flow. Τα κελιά που δεν αποτελούν μέρος του υδρογραφικού δικτύου επιλέγεται να έχουν μηδενικές τιμές και ενεργοποιείται η επιλογή απλοποίησης των γραμμών του δικτύου με την αφαίρεση μικρών διακυμάνσεων.



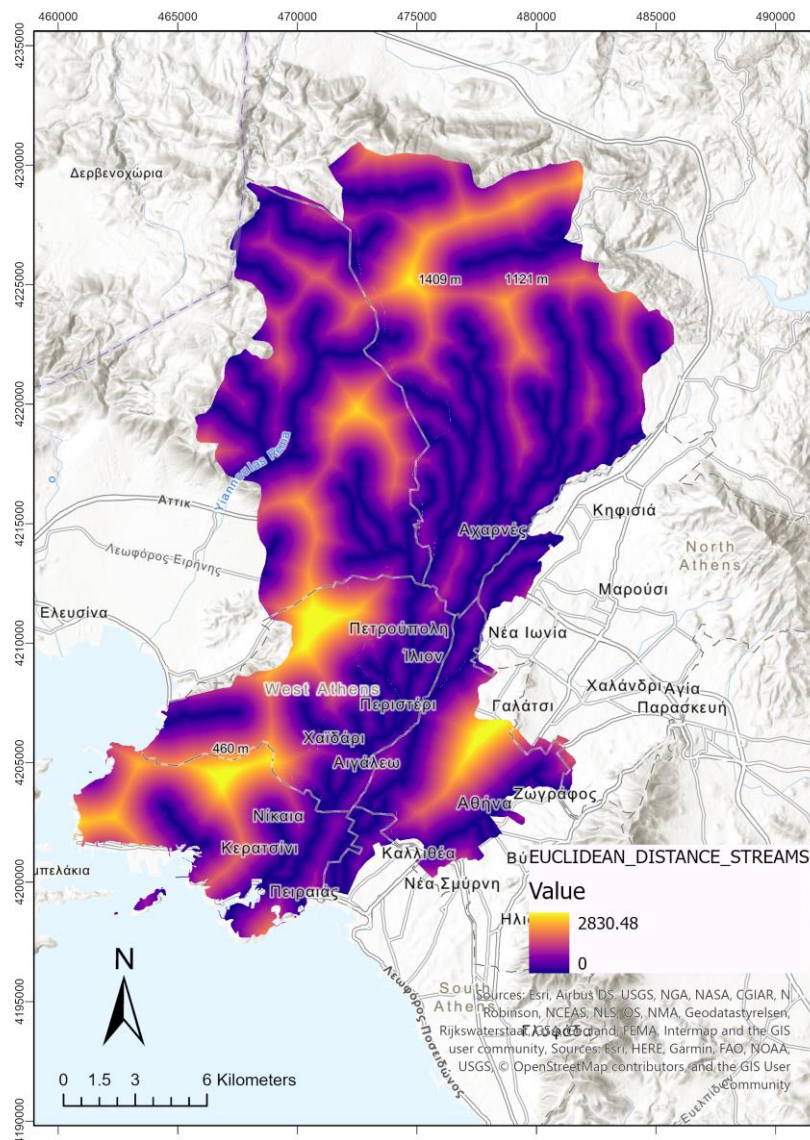
Σχήμα 19 Χάρτης καθορισμού υδρογραφικού δικτύου στην περιοχής μελέτης (γαλάζια φατνία)

- **Ευκλείδεια απόσταση από τα υδατορέματα**

Το εργαλείο Euclidean Distance δημιουργεί ένα raster αρχείο, στο οποίο η τιμή κάθε κελιού του αντιστοιχεί στην ευκλείδεια απόσταση του από τα την πηγή δεδομένων. Ως αρχείο εισαγωγής επιλέγεται το αρχείο που περιλαμβάνει το υδρογραφικό δίκτυο (streams) και ως μέγεθος κελιού για το νέο raster τα 5m.



Σχήμα 20 Τρόπος λειτουργίας του εργαλείου Euclidean Distance (Πηγή: ESRI)
 Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζεται η ευκλείδεια απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 21 Χάρτης ευκλείδειας απόστασης από το υδρογραφικό δίκτυο στην περιοχή μελέτης.

- **Επιφανειακή ολοκλήρωση της σημειακής βροχόπτωσης - Δημιουργία raster αρχείων της αθροιστικής βροχόπτωσης και των εντάσεων βροχόπτωσης με τη μέθοδο παρεμβολής (interpolation) από τα αρχικά vector αρχεία (storm_rain, API, RI10min, RI20min, RI30min RI1h, RI2h, RI6h)**

Η παρεμβολή (Interpolation) εφαρμόζεται στη δημιουργία raster αρχείων από vector αρχεία, και συγκεκριμένα στην πρόβλεψη τιμών στα κελιά που δεν περιέχουν δεδομένα.

Το εργαλείο IDW (Inverse Distance Weighting) χρησιμοποιεί μια μέθοδο παρεμβολής που εκτιμά τις τιμές των κελιών με τον μέσο όρο των τιμών των σημείων που βρίσκονται στη γειτονιά κάθε κελιού επεξεργασίας. Όσο πιο κοντά είναι ένα σημείο στο κέντρο του κελιού που εκτιμάται, τόσο μεγαλύτερη επιρροή ή βάρος έχει στη διαδικασία υπολογισμού του μέσου όρου. Η μέθοδος παρεμβολής IDW είναι ντετερμινιστική, επειδή βασίζεται άμεσα στις γύρω μετρημένες τιμές ή σε καθορισμένους μαθηματικούς τύπους, οι οποίοι καθορίζουν την ομαλότητα της παραγόμενης επιφάνειας.

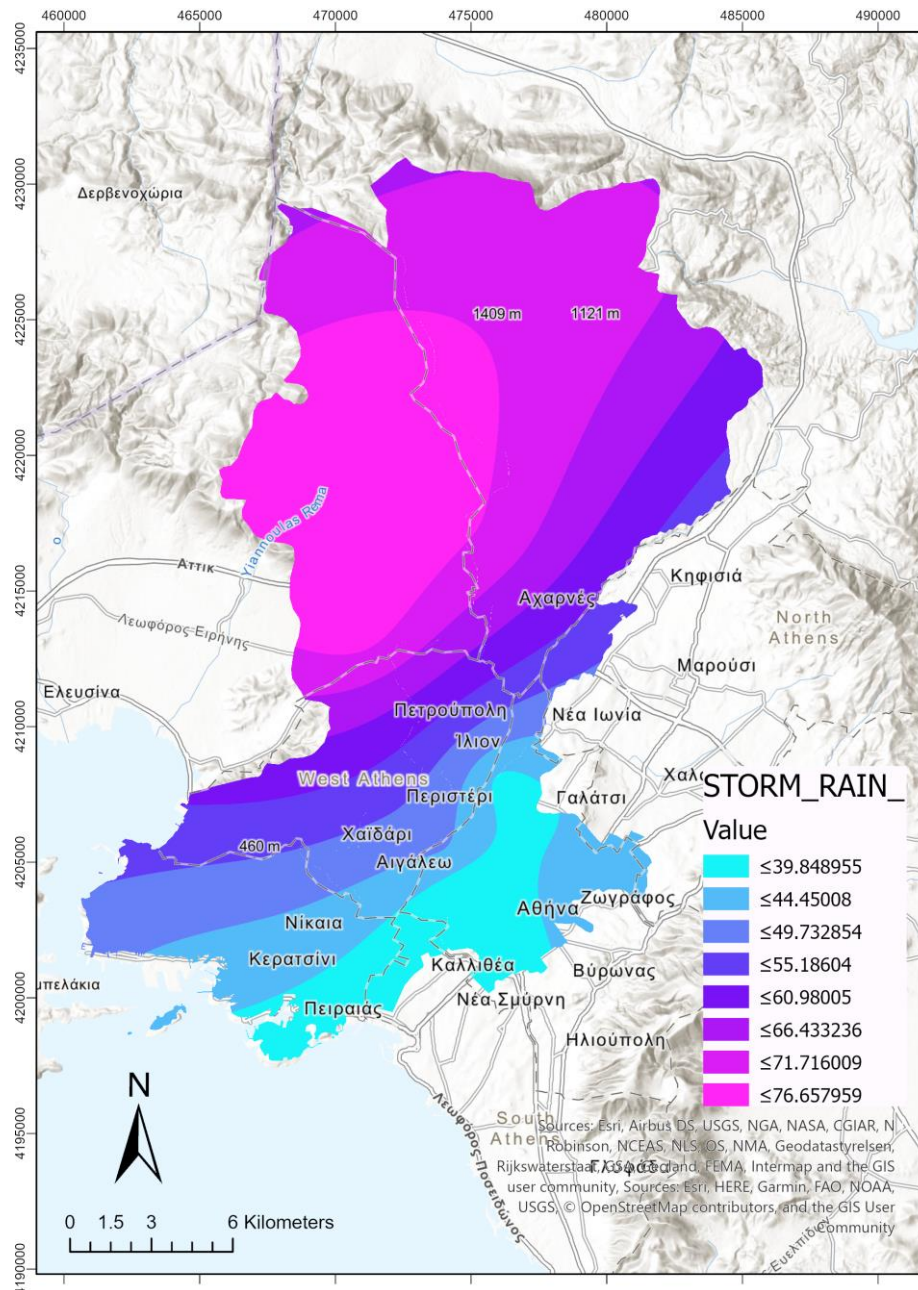
Το εργαλείο Kriging είναι μια προηγμένη γεωστατιστική μέθοδος παρεμβολής που δημιουργεί μια εκτιμώμενη επιφάνεια από ένα διάσπαρτο σύνολο σημείων με τιμές z. Η μέθοδος kriging βασίζεται σε στατιστικά μοντέλα που περιλαμβάνουν αυτοσυσχέτιση - δηλαδή τις στατιστικές σχέσεις μεταξύ των μετρημένων σημείων. Εξαιτίας αυτού, η μέθοδος kriging δεν έχει μόνο την ικανότητα να παράγει μια επιφάνεια πρόβλεψης, αλλά παρέχει επίσης και κάποιο μέτρο της βεβαιότητας ή της ακρίβειας των προβλέψεων.

Η μέθοδος kriging δεδομένης της βέλτιστης παρεμβολής στο χώρο που επιτυγχάνει, μπορεί να θεωρηθεί ως η καταλληλότερη για τη δημιουργία χαρτών ισοϋετίων καμπυλών (Κουτσογιάννης, 2005).

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία εφαρμόστηκαν και οι δυο μέθοδοι παρεμβολής (IDW, Kriging), για τη δημιουργία του raster αθροιστικής βροχόπτωσης, ενώ τελικά επιλέχθηκε η μέθοδος kriging, η οποία έδωσε καλύτερα αποτελέσματα. Η μέθοδος kriging εφαρμόστηκε ακολούθως στη δημιουργία των raster αρχείων των εντάσεων βροχόπτωσης.

Στο εργαλείο kriging εισάγουμε το αρχείο και συγκεκριμένα το πεδίο που περιέχει τις z τιμές, τη μέθοδο που θα εφαρμόσει, το μέγεθος του κελιού της raster επιφάνειας που θα δημιουργηθεί και τα όρια που θα την περικλείουν.

Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζεται η αθροιστική βροχόπτωση στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 22 Χάρτης αθροιστικής βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης (Πηγή δεδομένων: Δίκτυα NOANN / METEONET)

Μετά την παραγωγή των παραπάνω raster επιπέδων, γίνεται επεξεργασία των δεδομένων που περιέχουν, ώστε να είναι εφικτή η μετέπειτα στατιστική ανάλυση τους. Για το λόγο αυτό ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

➤ Δημιουργία πλέγματος (Fishnet500/Fishnet1000)

Στο πρόγραμμα ArcGIS Pro δημιουργείται ένα πλέγμα 500m X 500m καθώς και ένα πλέγμα 1000m X 1000m στην περιοχή όπου σημειώνονται τα συμβάντα πλημμύρας του εξεταζόμενου επεισοδίου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του εργαλείου Create Fishnet (Δημιουργία πλέγματος). Εκεί ορίζονται:

- η τοποθεσία της αποθήκευσης του shape file που θα δημιουργηθεί
- η οριοθέτηση του πλέγματος, που γίνεται βάσει των ορίων της περιοχής εντός της οποίας εμφανίζονται επεισόδια πλημμύρας
- το μέγεθος του κάθε επιμέρους τμήματος του κανάβου (500m X 500m) και (1000m X 1000m) για τα δυο πλέγματα αντίστοιχα
- η γεωμετρία του (πολύγωνο)
- η δημιουργία σημείου στο κέντρο του κάθε πολυγώνου.

Όταν επιλέγεται η συγκεκριμένη δυνατότητα, τότε δημιουργείται αυτόματα ένα ακόμη επίπεδο με την κατάληξη _label, το οποίο περιλαμβάνει το ID του κάθε σημείου, όπως και την πληροφορία για το σχήμα του (shape → point).

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται τα επίπεδα Fishnet500.shp και Fishnet500_label.shp καθώς και Fishnet1000.shp και Fishnet1000_label.shp για πλέγμα 500m X 500m και 1000m X 1000m αντίστοιχα.

➤ Απόδοση των μέσων τιμών των παραγόντων (ανεξάρτητων μεταβλητών) στο επίπεδο κελιού

Για τη δημιουργία των επιπέδων Zonal Statistics επιλέγεται ως raster εισαγωγής ζώνης το επίπεδο του πλέγματος Fishnet500/Fishnet1000 ενώ ως raster εισαγωγής τιμών επιλέγεται κάθε φορά το raster με τις τιμές των παραγόντων.

Το εργαλείο Zonal Statistics υπολογίζει μια μέση τιμή, από τις τιμές που περιλαμβάνει το raster εισαγωγής τιμών, σε κάθε πολύγωνο του Fishnet, επιλέγοντας ως τύπο στατιστικής επίλυσης τη μέση τιμή (Statistic type → Mean). Το αποτέλεσμα της επίλυσης Zonal Statistics είναι ένα raster αρχείο.

Μέσω του εργαλείου Zonal Statistics δημιουργούνται τα παρακάτω αρχεία:



Σχήμα 23 Λίστα αρχείων της γεωβάσης που δημιουργήθηκαν μέσω του εργαλείου ZonalStatistics

➤ Extract Multi Values to Points

Το εργαλείο Extract Multi Values to Points εξαγεί τιμές κελιών από ένα ή περισσότερα raster αρχεία και τις καταγράφει στον πίνακα χαρακτηριστικών της κατηγορίας χαρακτηριστικών σημείου. Στους πίνακες δεδομένων των αρχείων Fishnet500_label/ Fishnet500_label, που περιλαμβάνουν τα σημεία που βρίσκονται σε κάθε κελί του πλέγματος, προστίθενται οι τιμές των παραγόντων για κάθε κελί του πλέγματος, από τα αρχεία που προέκυψαν μετά την εφαρμογή του εργαλείου Zonal Statistics.

➤ Υπολογισμός του αριθμού των συμβάντων πλημμύρας σε κάθε πολύγωνο του κανάβου

Δημιουργία των θεματικών επιπέδων Fishnet500_Spatial Join/ Fishnet1000_Spatial Join

Με το εργαλείο Spatial Join δύναται να συνδεθούν δύο Πίνακες Περιγραφικών Δεδομένων χρησιμοποιώντας χωρικά κριτήρια, τα οποία δημιουργούνται μέσα από τις χωρικές σχέσεις που διέπουν τις οντότητες που περιγράφονται από τα

στοιχεία των δυο Πινάκων Περιγραφικών Δεδομένων. Ως προεπιλογή πραγματοποιείται σύνδεση όλων των χαρακτηριστικών των δυο πινάκων, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα σύνδεσης επιλεγμένων χαρακτηριστικών.

Για τη δημιουργία των επιπέδων Fishnet500_SpatialJoin/Fishnet1000_SpatialJoin συνδέονται οι πίνακες του επιπέδου Fishnet500/Fishnet1000 και του επιπέδου calls_oct2014_gg. Συγκεκριμένα, συνδέονται όλα τα πεδία (στήλες) του επιπέδου Fishnet500/Fishnet1000 με το πεδίο OBJECTID του επιπέδου calls_oct2014_gg, με τύπο σύνδεσης «one to one - ένα προς ένα». Δύο νέα πεδία, Join_Count και TARGET_FID, προστίθενται αυτόματα στον πίνακα του νέου επιπέδου. Το πεδίο Join_Count ουσιαστικά υποδεικνύει τον αριθμό των συμβάντων πλημμύρας που περιλαμβάνονται σε κάθε πολύγωνο του κανάβου. Επιπλέον δημιουργείται ακόμα μια στήλη SumCalls στον πίνακα του νέου επιπέδου, η οποία παίρνει τιμή 0 για κάθε πολύγωνο του κανάβου που δεν περιλαμβάνει συμβάντα πλημμύρας, ενώ όπου περιλαμβάνονται συμβάντα πλημμύρας παίρνει ως τιμή το σύνολο αυτών.

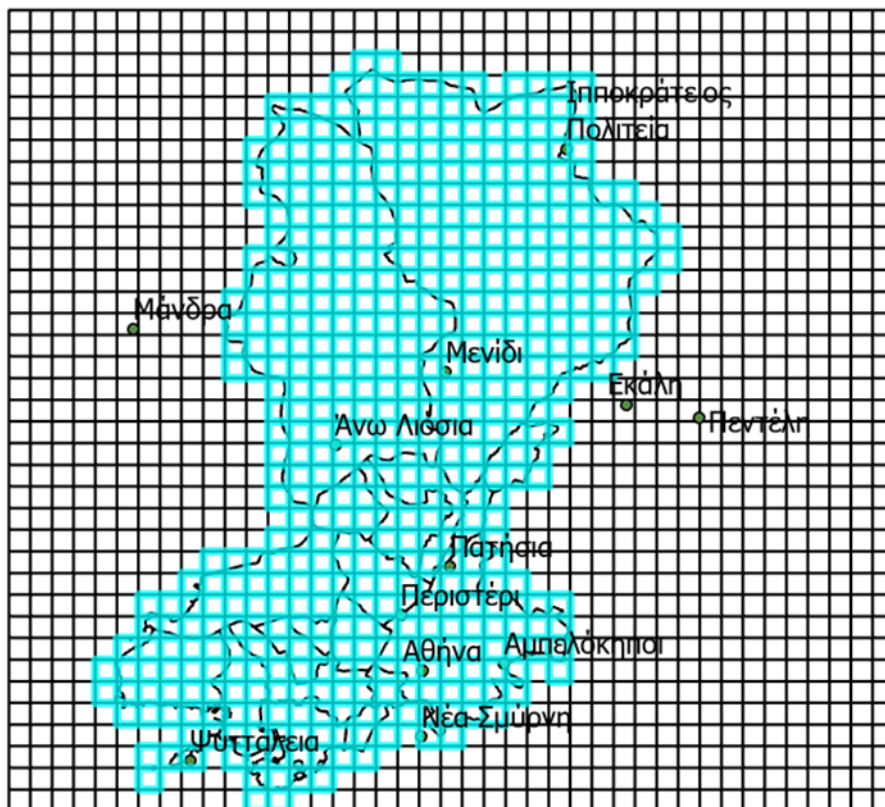
**Δημιουργία των θεματικών επιπέδων
(Fishnet500_SpatialJoin_SpatialPoints και Fishnet1000_Spatial
Join_SpatialPoints)**

Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται η διαδικασία εφαρμογής του εργαλείου Spatial Join για τη δημιουργία των επιπέδων Fishnet500_SpatialJoin_SpatialPoints και Fishnet1000_SpatialJoin_SpatialPoints. Αυτή τη φορά γίνεται σύνδεση των πινάκων του επιπέδου Fishnet500_SpatialJoin/Fishnet1000_SpatialJoin και του επιπέδου Fishnet500_label/Fishnet1000_label αντίστοιχα, με το τελευταίο να περιλαμβάνει τις τιμές των παραγόντων για κάθε κελί του πλέγματος.

➤ **Επιλογή των δεδομένων εντός της περιοχής μελέτης που ορίζεται από τα όρια των Δήμων που έχουν πληγεί από το εξεταζόμενο επεισόδιο πλημμύρας**

**Δημιουργία των θεματικών επιπέδων
(Fishnet500_SpatialJoin_SpatialPoints_selection και
Fishnet1000_Spatial Join_SpatialPoints_selection)**

Μέσω του εργαλείου Select Layer by Location επιλέγονται τα δεδομένα που περιέχονται στα κελιά εκείνα που περιλαμβάνονται στο θεματικό επίπεδο Fishnet500_SpatialJoin_SpatialPoints και Fishnet1000_SpatialJoin_SpatialPoints και ταυτόχρονα βρίσκονται εντός των ορίων του θεματικού επιπέδου των δήμων που περιλαμβάνονται στην ανάλυση dimoi_orio_selected, δηλαδή εκείνο το αρχείο που περιλαμβάνει τα όρια των Δήμων που έχουν πληγεί από το εξεταζόμενο επεισόδιο πλημμύρας, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 24 Επιλεγμένη περιοχή μελέτης (Πηγή: Αρχείο προγράμματος ArcGISPro)

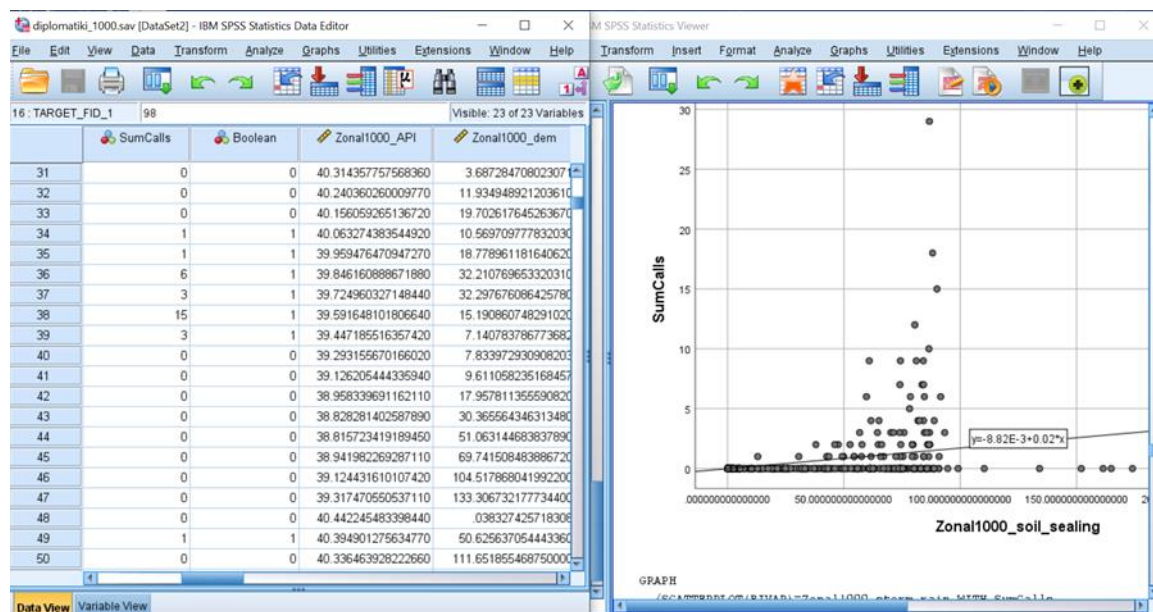
➤ Εξαγωγή των δεδομένων σε αρχείο Excel

Τέλος, μέσω του εργαλείου Table to Excel γίνεται εξαγωγή των δεδομένων σε αρχείο του προγράμματος Excel, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μετέπειτα στατιστική επεξεργασία τους.

3.2 Στατιστική ανάλυση στο SPSS

3.2.1 Γενικά Στοιχεία για το SPSS

Το πρόγραμμα SPSS της εταιρείας IBM είναι ένα από τα πιο δημοφιλή προγράμματα για τη στατιστική ανάλυση δεδομένων, που χρησιμοποιείται ευρύτατα σε όλους τους επιστημονικούς και ερευνητικούς χώρους. Πρόκειται για ένα στατιστικό πρόγραμμα που τρέχει σε ένα ιδιαίτερο φιλικό περιβάλλον (Windows) και που δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα δημιουργίας αναφορών, μοντελοποίησης και ανάλυσης δεδομένων αλλά και τη γραφική αναπαράσταση αυτών. Το πλεονέκτημα που προσφέρει το πρόγραμμα SPSS είναι ότι δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να αντλήσει χρήσιμες πληροφορίες, να δώσει λύσεις και απαντήσεις σε θέματα που απαιτούν χρήση της Στατιστικής Επιστήμης, χωρίς ωστόσο να απαιτείται από τον ίδιο να είναι γνώστης Στατιστικής. Στην παρούσα εργασία το πρόγραμμα SPSS χρησιμοποιείται για την εκτέλεση λογιστικής και γραμμικής παλινδρόμησης.



Σχήμα 25 Στιγμιότυπο οθόνης προγράμματος SPSS

3.2.2 Διαδικασία προσδιορισμού του μοντέλου χωρικής παλινδρόμησης

Η διερεύνηση της στατιστικής συσχέτισης μεταξύ των 13 παραγόντων πρόκλησης πλημμύρας και της εμφάνισης πλημμύρας γίνεται στο πρόγραμμα SPSS με τη χρήση Δυαδικής Λογιστικής Παλινδρόμησης (Binary Logistic

Regression - BLR) και Γενικευμένης Γραμμικής Παλινδρόμησης (Generalized Linear Regression Model - GLM).

Οι 13 εξεταζόμενοι παράγοντες πρόκλησης πλημμύρας που εξετάστηκαν είναι οι κάτωθι:

1. Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους.
2. Η κλίση του Εδάφους.
3. Το Υδρογραφικό Δίκτυο.
4. Η Ευκλείδεια απόσταση από τα Υδατορέματα.
5. Η αδιαπερατότητα του Εδάφους.
6. Η 10 λεπτη (10min) καταγεγραμμένη ένταση της βροχόπτωσης
7. Η 20 λεπτη (20min) καταγεγραμμένη ένταση της βροχόπτωσης
8. Η 30 λεπτη (30min) καταγεγραμμένη ένταση της βροχόπτωσης
9. Η ωριαία (1h) καταγεγραμμένη ένταση της βροχόπτωσης
10. Η δίωρη (2h) καταγεγραμμένη ένταση της βροχόπτωσης
11. Η εξάωρη (6h) καταγεγραμμένη ένταση της βροχόπτωσης
12. Η συνολική αθροιστική βροχόπτωση
13. Ο δείκτης API

Διαδική Λογιστική Παλινδρόμηση

Η δυαδική λογιστική παλινδρόμηση χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της πιθανότητας εμφάνισης ενός γεγονότος Στο μοντέλο αυτό όπου η μεταβλητή Y έχει δυαδικό χαρακτήρα, δηλαδή λαμβάνει δύο τιμές (εκβάσεις επιτυχία/αποτυχία, ΝΑΙ/ΟΧΙ, γεγονός απόν/παρόν) στοχεύεται η πρόβλεψη της έκβασης αυτής από ένα πλήθος προβλεπτικών μεταβλητών που μπορεί να είναι ονομαστικές, τακτικές ή ποσοτικές (Πετρίδης, 2015).

Στην περίπτωση της δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης, η εξαρτημένη μεταβλητή συνδέεται με τις ανεξάρτητες μεταβλητές μέσω της ακόλουθης εξίσωσης:

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

όπου:

Y : η εξαρτημένη μεταβλητή,

p : είναι η πιθανότητα εμφάνισης,

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

b_0 : η σταθερά της εξίσωσης,

b_1, b_2, \dots, b_n : οι συντελεστές παλινδρόμησης που υποδεικνύουν τη σχετική επίδραση μιας συγκεκριμένης ανεξάρτητης μεταβλητής (x_1, x_2, \dots, 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; Ρούσσο και Ευσταθίου, 2008).

Στη δική μας έρευνα δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης λαμβάνονται:

- I. Ως εξαρτημένη η μεταβλητή Boolean, με τιμές '0: δεν υπάρχει πλημμυρισμένη θέση' ή '1: υπάρχει τουλάχιστον μια πλημμυρισμένη θέση' εντός του κελιού
- II. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι τιμές (ποσοτικές) των 13 εξεταζόμενων παραγόντων κάθε κελιού αντίστοιχα.

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. (Πετρίδης, 2015).

Γενικευμένη Γραμμική Παλινδρόμηση

Η γραμμική σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών για δεδομένα από δείγμα εκφράζεται γενικά από την εξίσωση:

$$Y = a + bX + e$$

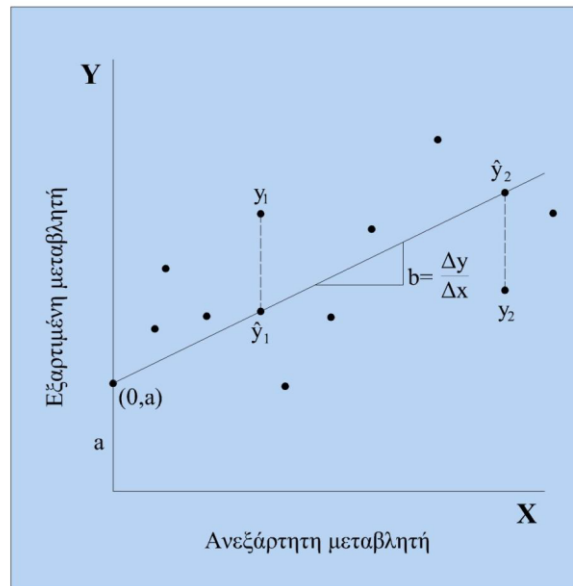
όπου Y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή, X η ανεξάρτητη μεταβλητή, a , b οι παράμετροι της εξίσωσης και e το σφάλμα της εκτίμησης.

Στη γραμμική σχέση για κάθε μεταβολή της μεταβλητής X κατά μία μονάδα, η μεταβλητή Y μεταβάλλεται με σταθερό τρόπο κατά b . Η παράμετρος b ονομάζεται συντελεστής παλινδρόμησης (regression coefficient) και εκφράζει την κλίση της ευθείας. Η τιμή του μπορεί να ελεγχθεί με τον έλεγχο t και μηδενική υπόθεση $\beta=0$. Η παράμετρος a είναι η τιμή της Y για $X=0$. Το a δεν μπορεί πάντα να ερμηνευτεί με αξιόπιστο τρόπο.

Σε γεωμετρική απεικόνιση, η εξίσωση της απλής παλινδρόμησης παριστάνεται με μια ευθεία γραμμή. Πάντα η μεταβλητή Y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή και η μεταβλητή X η ανεξάρτητη μεταβλητή, δηλαδή θεωρούμε ότι η μεταβλητή Y ερμηνεύεται ή μπορεί να προβλεφθεί από τη μεταβλητή X . Αυτή είναι η πιο απλή μορφή παλινδρόμησης, η οποία μπορεί να επεκταθεί με την προσθήκη περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Η ευθεία της απλής παλινδρόμησης φαίνεται στο Σχήμα 26. Στον κατακόρυφο άξονα τοποθετείται πάντα η εξαρτημένη μεταβλητή Y και στον οριζόντιο η ανεξάρτητη μεταβλητή X . Το a είναι το σημείο όπου η γραμμή τέμνει τον κατακόρυφο άξονα (σταθερά ή αποτέμνουσα), ενώ το b είναι η κλίση της ευθείας, δηλαδή η εφαπτομένη της γωνίας που σχηματίζει η γραμμή της παλινδρόμησης με τον άξονα X . Σε κάθε τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής Y αντιστοιχεί μία άλλη τιμή η οποία αποτελεί την εκτίμηση από την εξίσωση της παλινδρόμησης. Η τιμή αυτή συμβολίζεται με \hat{Y} και στο Σχήμα 26 εμφανίζεται πάνω στην ευθεία και ισχύει:

$$\hat{Y} = a + bX$$

Στην παραπάνω εξίσωση, για κάθε τιμή της μεταβλητής X προκύπτει η εκτιμώμενη τιμή (predicted value). Στο ίδιο σχήμα απεικονίζονται θετικές τιμές των X και Y αλλά θα μπορούσαν να υπάρχουν και αρνητικές τιμές.



Σχήμα 26 Ευθεία απλής παλινδρόμησης

Συνήθως η εξαρτημένη μεταβλητή δεν επηρεάζεται μόνο από μία μεταβλητή αλλά από δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές. Η παλινδρόμηση με περισσότερες από μία ανεξάρτητες μεταβλητές ονομάζεται *πολλαπλή παλινδρόμηση* και η εξίσωση έχει την ακόλουθη μορφή:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k + e$$

όπου k είναι ο αριθμός των εισαγόμενων ανεξάρτητων μεταβλητών.

Οι ανεξάρτητες μεταβλητές στην πολλαπλή παλινδρόμηση δεν πρέπει να έχουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους ή αλλιώς δεν πρέπει να έχουν πολυσυγγραμμικότητα (multicollinearity). Στην πολλαπλή παλινδρόμηση προσδιορίζονται περισσότερες παράμετροι με τρόπο ανάλογο όπως και για την απλή παλινδρόμηση, δηλαδή με την ελαχιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των καταλοίπων. Με περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές δεν υπάρχει δυνατότητα γεωμετρικής απεικόνισης του μοντέλου της παλινδρόμησης (Μπούτσικας, 2010).

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.

Λαμβάνοντας υπόψη το παραπάνω θεωρητικό πλαίσιο, στην παρούσα έρευνα εφαρμόζεται η γενικευμένη γραμμική παλινδρόμηση λαμβάνονται:

- I. Ως εξαρτημένη η μεταβλητή SumCalls, που περιλαμβάνει τις τιμές του συνόλου των πλημμυρισμένων θέσεων εντός του κάθε κελιού
- II. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι τιμές (ποσοτικές) των 13 εξεταζόμενων παραγόντων έχοντας υπολογίσει την μέση τιμή ανά παράγοντα εντός κάθε κελιού αντίστοιχα.

Τέλος, όπως έχει διαπιστωθεί σε προηγούμενες εργασίες, μεταξύ αυτών και των Samuel et al. (2011) and Naumann et al. (2010), η τρωτότητα των κτιρίων που βρίσκονται εντός του αστικού ιστού, κατά την εκδήλωση πλημμύρας σχετίζεται με ορισμένα χαρακτηριστικά των κτιρίων.

Επομένως, κρίθηκε σκόπιμο να συναξιολογηθούν σχετιζόμενοι παράγοντες και για το λόγο αυτό, μέσω της εφαρμογής Google Street View, εξετάστηκαν και καταγράφηκαν για 275 πλημμυρισμένα κτίρια (σύμφωνα με τις κλήσεις προς την Πυροσβεστική Υπηρεσία από περιοχές της Δυτικής Αθήνας, κατά το επεισόδιο πλημμύρας του Οκτωβρίου 2014) και 50 μη πλημμυρισμένα κτίρια (τυχαία επιλογή θέσεων) στην ίδια περιοχή. για τα χαρακτηριστικά κτιρίων του Πίνακα 8.

Πίνακας 8 Χαρακτηριστικά των κτιρίων που καταγράφηκαν μέσω της εφαρμογής Google Street View

Χαρακτηριστικά κτιρίων					
Κατώτατο Άνοιγμα/ Lower opening	Υλικό/ Material	Γενική κατάσταση της κατασκευής/ general condition of the structure	Κήπος/ Garden	Ύπαρξη πεζοδρομίου/ existence of pavement	Τύπος οδοστρώματος/ type of road
Ισόγειο/ basement	Γυαλί/ Glass	Παλιά/ poor	Ναι/ Yes	Ναι/ yes	Άσφαλτος/ asphalt
Υπόγειο/ ground - floor	Ξύλο/ Wood	Σύγχρονη/ modern	Όχι/ No	Όχι/ no	Χωματόδρομος/ dirt
Υπέργεια κατασκευή/ elevated structure	Μέταλλο/ Metal	Ημιτελής κατασκευή/ incomplete or lash - up structure			

Για την εξέταση της επίδρασης των χαρακτηριστικών αυτών στην εκδήλωση πλημμύρας στο εσωτερικό των κτιρίων, πραγματοποιήθηκε μια επιπλέον δυαδική λογιστική παλινδρόμηση (Binary Logistic Regression, BLR) μεταξύ πλημμυρισμένων και μη πλημμυρισμένων κτιρίων, στην οποία ως εξαρτημένη μεταβλητή λαμβάνεται η μεταβλητή FLOOD (η οποία παίρνει ως τιμές '0: όταν στη θέση αυτή υπάρχει κτίριο που δεν έχει πλημμυρίσει στο εξεταζόμενο επεισόδιο πλημμύρας' ή '1: όταν στη θέση αυτή υπάρχει κτίριο που έχει πλημμυρίσει στο εξεταζόμενο επεισόδιο πλημμύρας') και ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι 13 εξεταζόμενοι παράγοντες και επιπλέον ο παράγοντας που εκφράζει τη στάθμη του χαμηλότερου ανοίγματος του κτιρίου ' Lower opening' .

4 Αποτελέσματα και Συζήτηση

4.1 Συζήτηση επί των παραγόντων

Το πρώτο μέρος των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει την ανάλυση των παραγόντων που δυνητικά συνδέονται με την πλημμυρογέννηση σε αστικό περιβάλλον. Εξετάζονται οι τιμές που λαμβάνουν οι επιμέρους παράγοντες και διερευνάται η πιθανή σύνδεσή τους με τις δύο μεταβλητές που υπολογίστηκαν:

- Την ποσοτική μεταβλητή που εκφράζει τον αριθμό των αστικών συμβάντων ανά φατνίο ανάλυσης (≥ 0).
- Την κατηγορική μεταβλητή αναφορικά με την ύπαρξη ή όχι έστω και ενός συμβάντος ανά φατνίο (ναι/όχι).

Στο πρόγραμμα SPSS δημιουργούνται διαγράμματα σκεδασμού στα οποία ορίζεται ως εξαρτημένη η μεταβλητή Boolean, η οποία περιέχει ως τιμές το 0 (που αντιστοιχεί στα κελιά στα οποία δεν υπάρχουν πλημμυρισμένες θέσεις) και το 1 (που αντιστοιχεί στα κελιά στα οποία υπάρχουν πλημμυρισμένες θέσεις) και ως ανεξάρτητη μεταβλητή κάθε έναν από τους παράγοντες, για μέγεθος κελιών 500mX500m και 1000mX1000m.

Στη συνέχεια δημιουργούνται διαγράμματα σκεδασμού στα οποία ορίζεται ως εξαρτημένη η μεταβλητή SumCalls, η οποία εκφράζει το άθροισμα των πλημμυρισμένων θέσεων σε κάθε κελί της περιοχής μελέτης και ως ανεξάρτητη μεταβλητή κάθε έναν από τους παράγοντες, για μέγεθος κελιών 500mX500m και 1000mX1000m.

Επίσης, δημιουργούνται οι παρακάτω πίνακες (Πίνακας 9 και Πίνακας 10) που περιέχουν τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση των τιμών των κελιών i) που δεν περιλαμβάνουν πλημμυρισμένες θέσεις (NO FLOOD) ii) που περιλαμβάνουν πλημμυρισμένες θέσεις (FLOOD), για τα μεγέθη κελιών 500mX500m και 1000mX 1000m και για όλους τους υπό διερεύνηση παράγοντες.

Πίνακας 9 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των τιμών των κελιών i) που δεν περιλαμβάνουν πλημμυρισμένες θέσεις (NO FLOOD) και ii) που περιλαμβάνουν πλημμυρισμένες θέσεις (FLOOD), για μέγεθος κελιών 500mX500m.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	NO FLOOD		FLOOD	
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Zonal500_dem	390.35	320.17	82.93	63.30
Zonal500_EuclDist_Streams	731.07	544.89	423.44	367.08
Zonal500_FlowAcc	3316.20	14129.23	9660.30	29116.84
Zonal500_Slope_deg	11.23	8.08	2.50	1.46
Zonal500_Soil_Sealing	25.68	34.22	77.31	15.07
Zonal500_storm_rain	59.95	12.82	49.42	7.73
Zonal500_RI10min	54.94	5.18	51.29	3.15
Zonal500_RI20min	49.82	12.97	40.18	10.02
Zonal500_RI_30min	43.38	12.96	33.74	9.34
Zonal500RI_1h	26.63	6.94	21.02	4.86
Zonal500_RI2h	17.22	5.34	12.90	3.27
Zonal500_RI6h	8.46	2.46	6.75	1.36
Zonal500_API	40.49	0.54	40.24	0.49

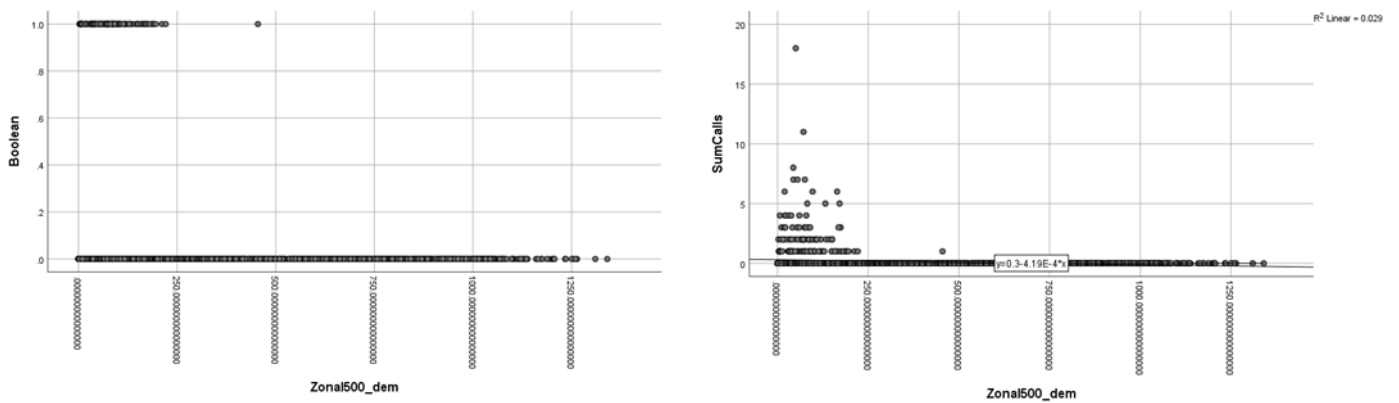
Πίνακας 10 Μέση τιμή και τυπική απόκλιση των τιμών των κελιών i) που δεν περιλαμβάνουν πλημμυρισμένες θέσεις (NO FLOOD) και ii) που περιλαμβάνουν πλημμυρισμένες θέσεις (FLOOD), για μέγεθος κελιών 1000mX1000m.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	NO FLOOD		FLOOD	
	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
Zonal1000_dem	402.06	316.32	95.40	74.39
Zonal1000_EuclDist_Streams	747.14	513.21	495.73	389.45
Zonal1000_FlowAcc	2857.62	9559.31	9350.84	18118.93
Zonal1000_Slope_deg	11.65	7.54	3.19	2.29
Zonal1000_Soil_Sealing	25.04	36.51	71.21	16.78
Zonal1000_storm_rain	60.23	12.91	50.17	8.29
Zonal1000_RI10min	54.99	5.30	51.54	3.33
Zonal1000_RI20min	49.94	12.90	41.17	10.76
Zonal1000_RI_30min	43.56	12.90	34.67	10.07
Zonal1000RI_1h	26.77	6.92	21.54	5.19
Zonal1000_RI2h	17.35	5.36	13.22	3.48
Zonal1000_RI6h	8.50	2.50	6.86	1.46
Zonal1000_API	40.49	0.54	40.29	0.52

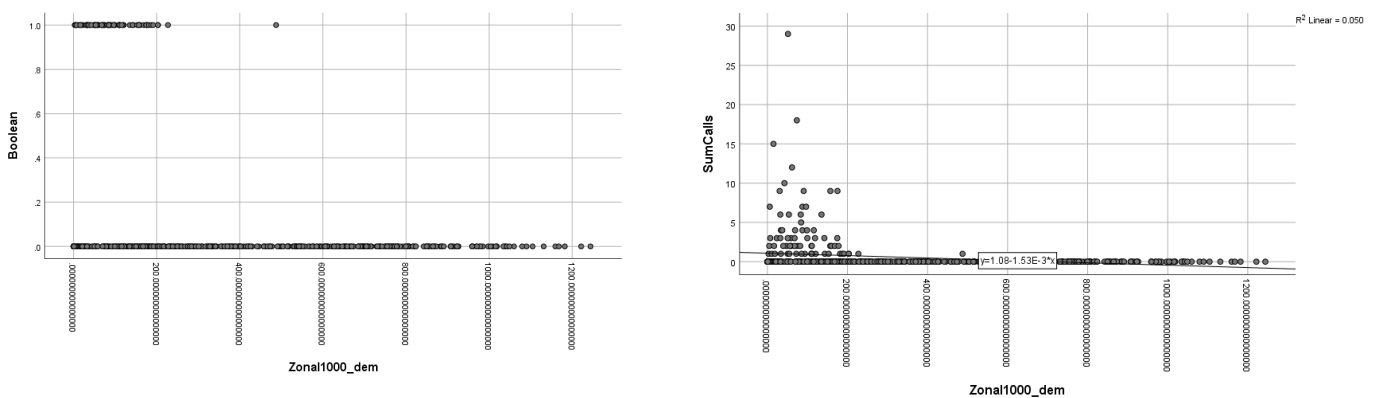
Με βάση τα παραπάνω, εξάγονται οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

Ο παράγοντας “**υψόμετρο**” παρατηρείται, όπως είναι αναμενόμενο, ότι επηρεάζει αρνητικά τις περιοχές που πλημμυρίζουν. Πράγματι, οι περιοχές που δεν πλημμυρίζουν βρίσκονται κατά μέσο όρο σε υψηλότερο υψόμετρο και

δίνουν μεγαλύτερη τυπική απόκλιση, δηλαδή μεγαλύτερο εύρος τιμών υψομέτρων (υψομετρικές διαφορές), διευκολύνοντας με αυτόν τον τρόπο την απορροή των υδάτων προς τα κατόντη. Αντίθετα, οι περιοχές που πλημμυρίζουν βρίσκονται σε χαμηλότερο υψόμετρο με μεγαλύτερη συγκέντρωση των τιμών, συνεπώς μικρότερη τυπική απόκλιση, γεγονός που σημαίνει ότι στις περιοχές αυτές γίνεται απορροή υδάτων από τα ανάντη και εξαιτίας των μικρών υψομετρικών διαφορών δημιουργούνται λεκάνες απορροής, που συντελούν στη συσσώρευση υδάτων και στην εμφάνιση πλημμύρας. Τα ίδια συμπεράσματα εξαγονται ανεξάρτητα από το μέγεθος των κελιών (500mX500,m 1000mX1000m), όπου παρατηρούμε μικρές διαφορές στις τιμές.

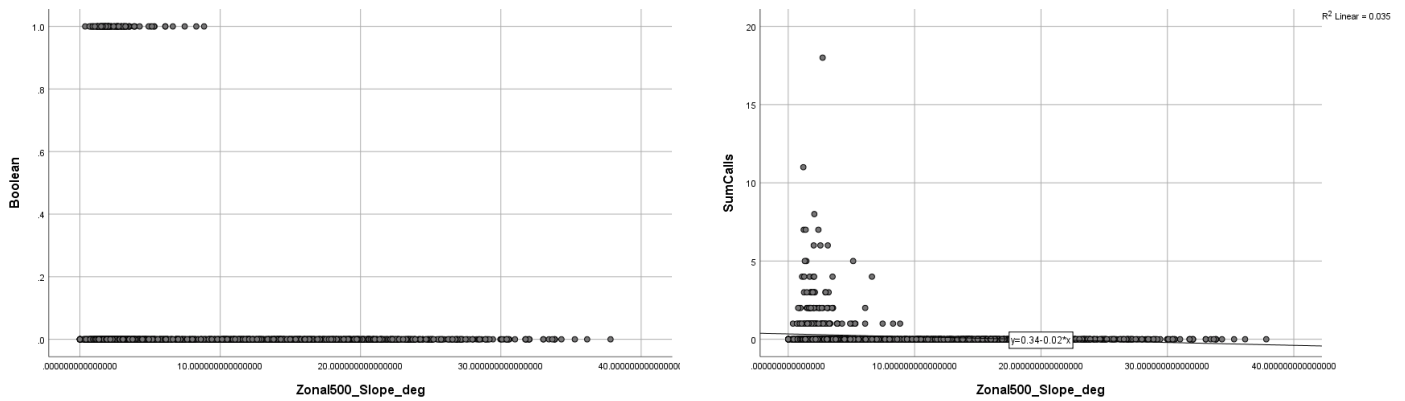


Σχήμα 27 (α) Διάγραμμα σκεδασμού υψομέτρου Binary Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού υψομέτρου Linear Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m.

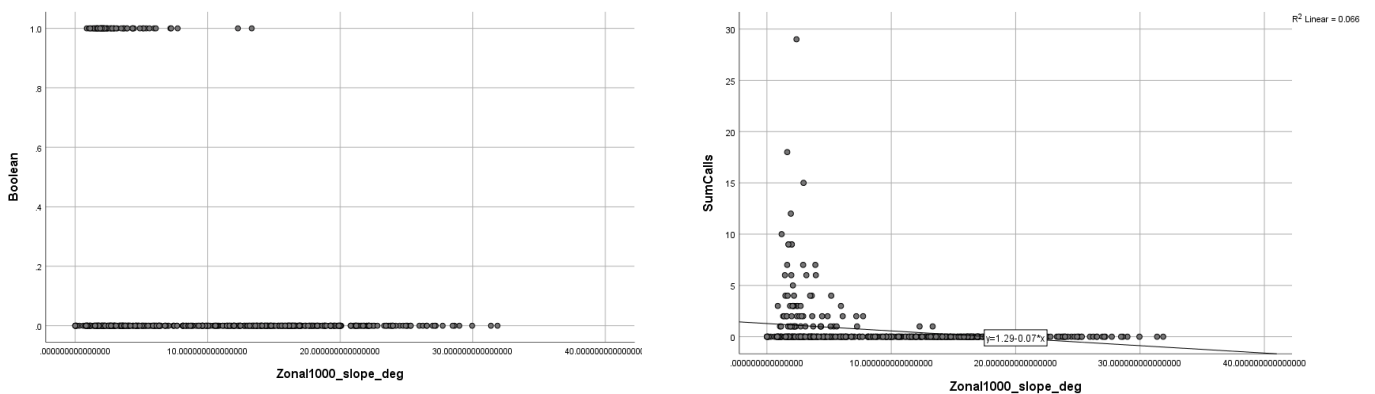


Σχήμα 28 (α) Διάγραμμα σκεδασμού υψομέτρου Binary Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού υψομέτρου Linear Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m.

Ο παράγοντας “κλίση του εδάφους” παρατηρείται ότι ακολουθεί παρόμοιο μοτίβο με το υψόμετρο, με αρνητική στατιστική συσχέτιση. Οι πλημμυρισμένες περιοχές βρίσκονται συγκεντρωμένες σε μικρότερες κλίσεις, ενώ οι κλίσεις στις μη πλημμυρισμένες περιοχές έχουν μεγαλύτερο εύρος τιμών με υψηλότερες τιμές κλίσεων. Το μέγεθος των κελιών (500X500, 1000X1000) δεν παρουσιάζει σημαντική διαφοροποίηση στις τιμές των κλίσεων των εδάφους.



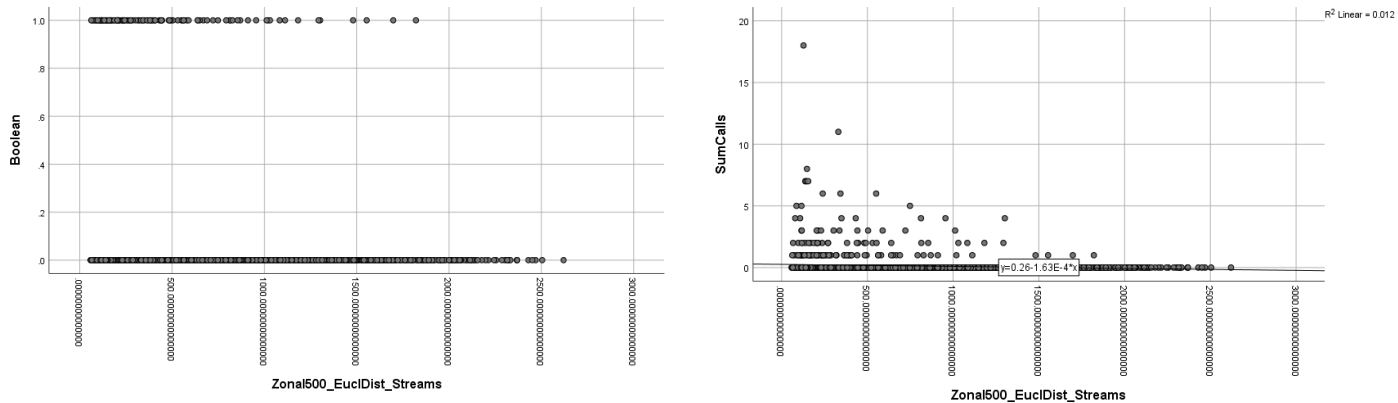
Σχήμα 29 (α) Διάγραμμα σκεδασμού κλίσης Binary Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού κλίσης Linear Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m.



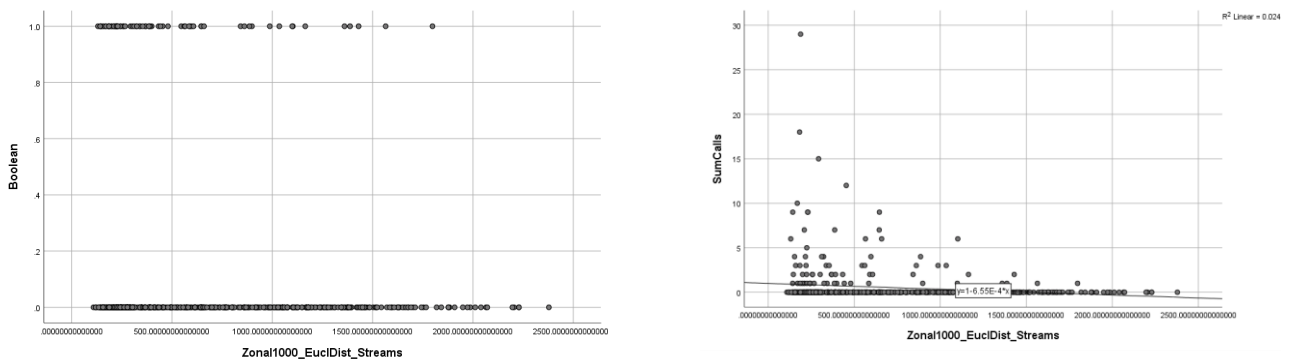
Σχήμα 30 (α) Διάγραμμα σκεδασμού κλίσης Binary Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού κλίσης Linear Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m.

Ο παράγοντας “ευκλείδεια απόσταση από τα υδατορέματα” παρατηρείται ότι επηρεάζει αρνητικά την εμφάνιση πλημμύρας. Οι πλημμυρισμένες περιοχές βρίσκονται σε κοντινότερη απόσταση από τα υδατορέματα, όπου γίνεται με φυσικό τρόπο η απορροή των υδάτων. Αντίθετα οι μη πλημμυρισμένες

περιοχές είναι πιο απομακρυσμένες από τα υδατορέματα, με τις τιμές των αποστάσεων τους από τα υδατορέματα να κυμαίνονται σε μεγαλύτερο εύρος.

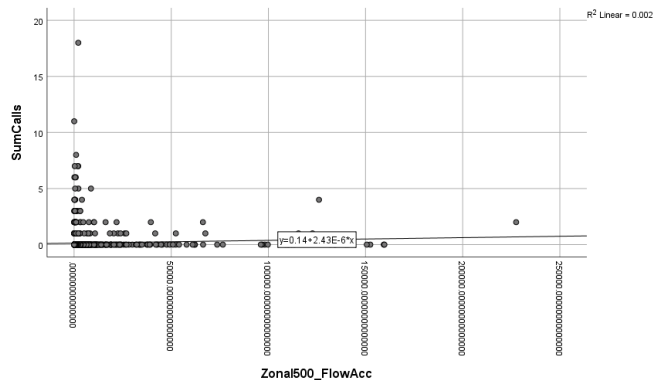
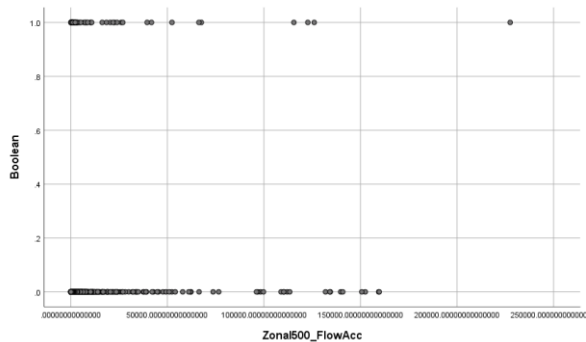


Σχήμα 31 (α) Διάγραμμα σκεδασμού ευκλείδειας απόστασης από τα υδατορέματα Binary Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού ευκλείδειας απόστασης από τα υδατορέματα Linear Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m.

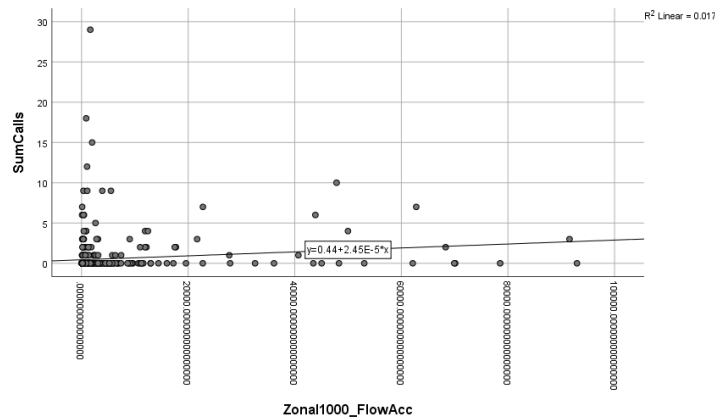
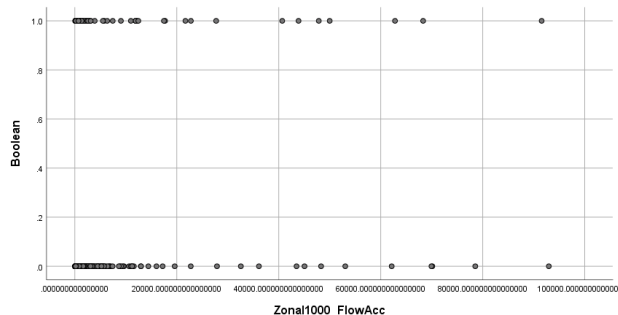


Σχήμα 32 (α) Διάγραμμα σκεδασμού ευκλείδειας απόστασης από τα υδατορέματα Binary Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού ευκλείδειας απόστασης από τα υδατορέματα Linear Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m.

Ο παράγοντας “**Υδρογραφικό Δίκτυο**” παρουσιάζει θετική στατιστική συσχέτιση στην εμφάνιση πλημμύρας. Όπως είναι λογικό, όπου υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση ροής, υπάρχει και μεγαλύτερη πιθανότητα να υπάρχουν πλημμυρισμένες θέσεις. Ωστόσο, αυτό που προβληματίζει είναι η μεγάλη τυπική απόκλιση που εμφανίζεται τόσο στις πλημμυρισμένες, όσο και στις μη πλημμυρισμένες θέσεις. Παρατηρείται μεγαλύτερη διασπορά τιμών στον κানাβο 1000mX1000m έναντι του κανάβου 500mX500m.

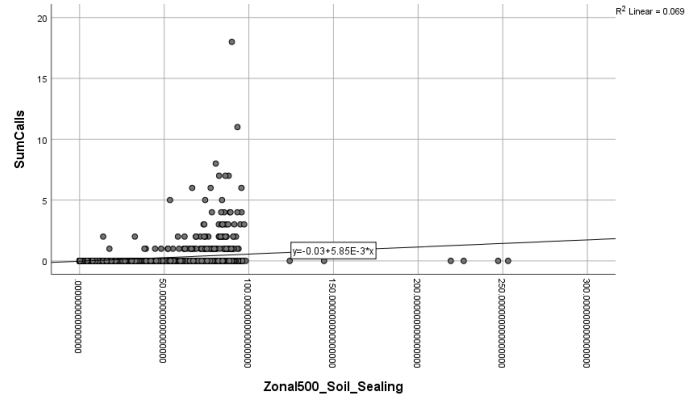
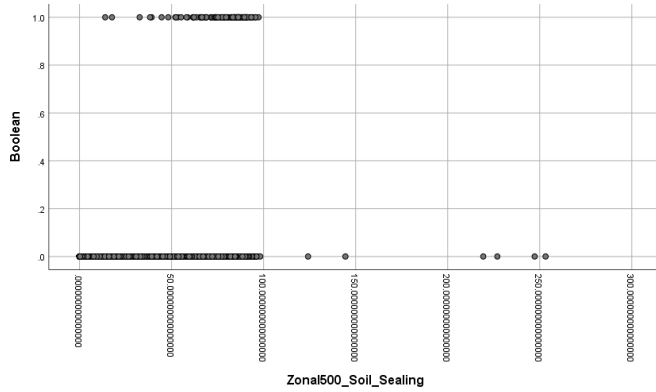


Σχήμα 33 (α) Διάγραμμα σκεδασμού υδρογραφικού δικτύου Binary Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού υδρογραφικού δικτύου Linear Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m.

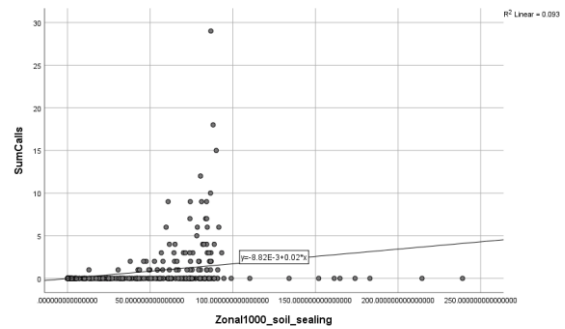
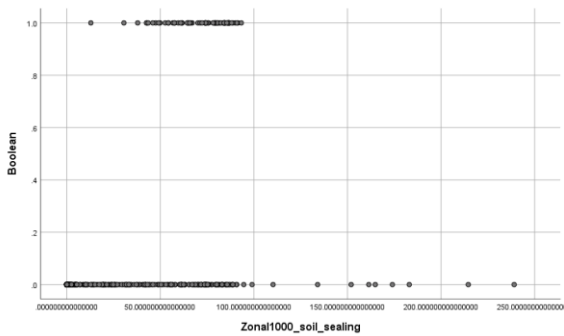


Σχήμα 34 (α) Διάγραμμα σκεδασμού υδρογραφικού δικτύου Binary Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού υδρογραφικού δικτύου Linear Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m.

Ο παράγοντας “**βαθμός αδιαπερατότητας του εδάφους – soil sealing**” παρατηρείται ότι επηρεάζει θετικά την εμφάνιση πλημμύρας. Πράγματι, όσο μεγαλύτερη είναι η στεγανοποίηση του εδάφους μιας περιοχής, τόσο πιο ευάλωτη καθίσταται στην εμφάνιση πλημμύρας. Θα πρέπει όμως να ληφθεί υπόψη στην αξιοπιστία του δείκτη τα ευρύτερα χαρακτηριστικά της περιοχή μελέτης η οποία είναι αστική, περιορισμένη σε έκταση και σχετικά ομοιόμορφη με βάση την αδιαπερατότητα της.

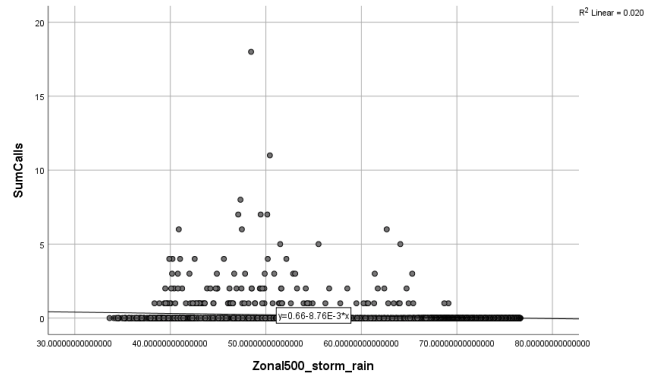
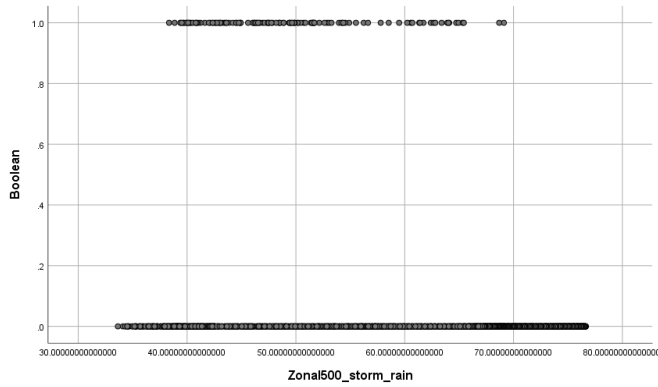


Σχήμα 35 (α) Διάγραμμα σκεδασμού βαθμού αδιαπερατότητας του εδάφους Binary Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού βαθμού αδιαπερατότητας του εδάφους Linear Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m.

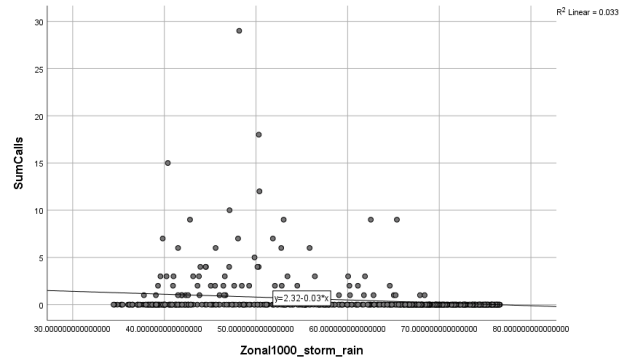
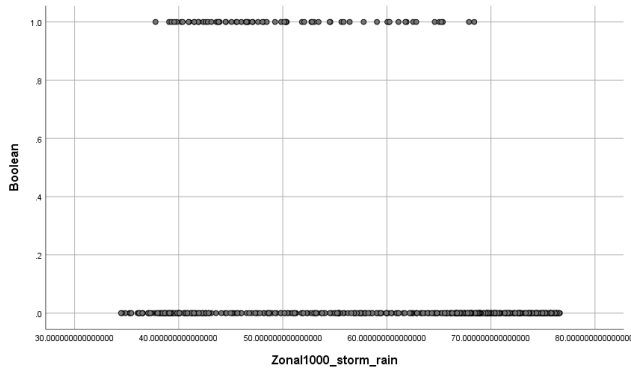


Σχήμα 36 (α) Διάγραμμα σκεδασμού βαθμού αδιαπερατότητας του εδάφους Binary Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού βαθμού αδιαπερατότητας του εδάφους Linear Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m.

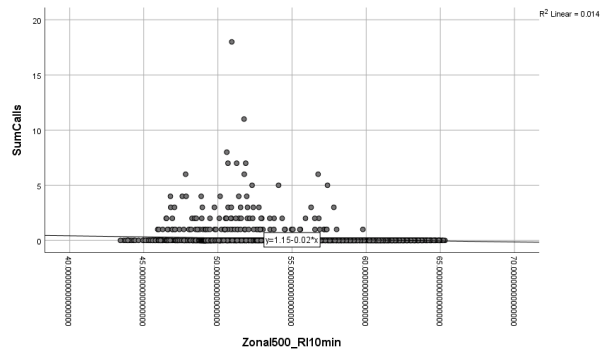
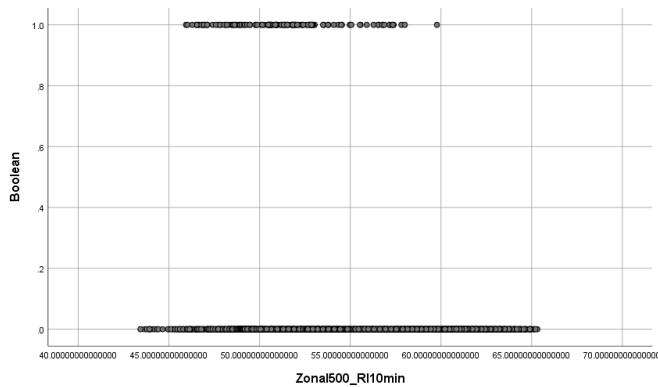
Οι παράγοντες που αφορούν την “ένταση βροχής” αλλά και την “αθροιστική βροχόπτωση” παρατηρείται αρχικά ότι παρουσιάζουν μικρή αρνητική στατιστική συσχέτιση με την εμφάνιση πλημμύρας. Το γεγονός αυτό εξηγείται λόγω του ότι η ένταση βροχής είναι μεγαλύτερη σε υψηλότερο υψόμετρο, ενώ οι πλημμυρισμένες θέσεις συναντώνται σε χαμηλότερα υψόμετρα. Εντούτοις, θα ήταν εφικτό να εξαχθούν πιο ακριβή συμπεράσματα εάν υπήρχαν περισσότεροι και πιο ομοιόμορφα κατανομημένοι σταθμοί βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης.



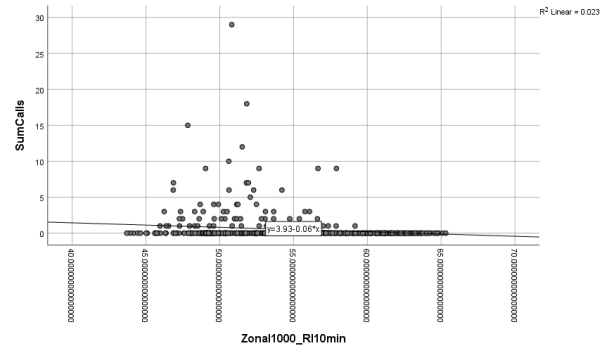
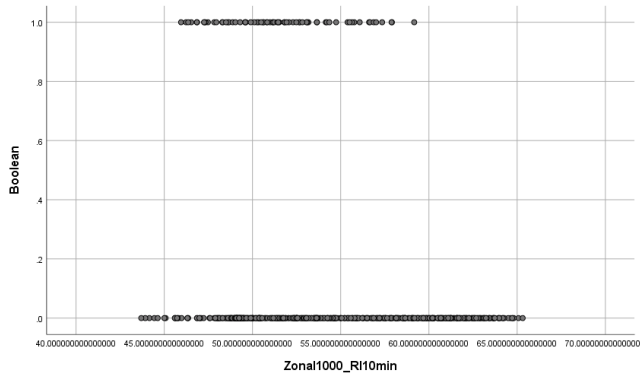
Σχήμα 37 (α) Διάγραμμα σκεδασμού αθροιστικής βροχόπτωσης Binary Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού αθροιστικής βροχόπτωσης Linear Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m.



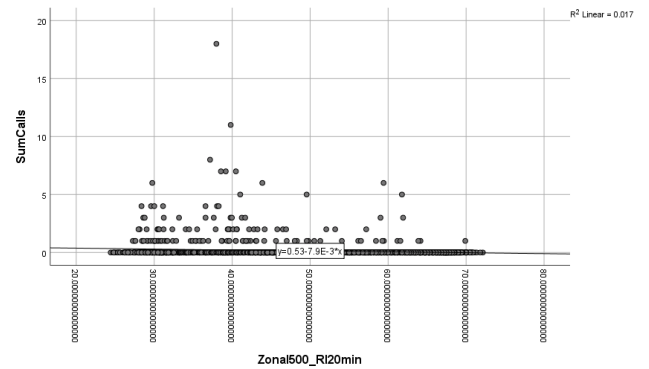
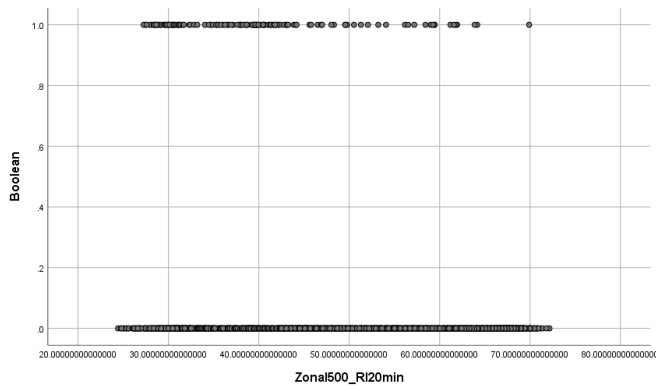
Σχήμα 38 (α) Διάγραμμα σκεδασμού αθροιστικής βροχόπτωσης Binary Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού αθροιστικής βροχόπτωσης Linear Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m.



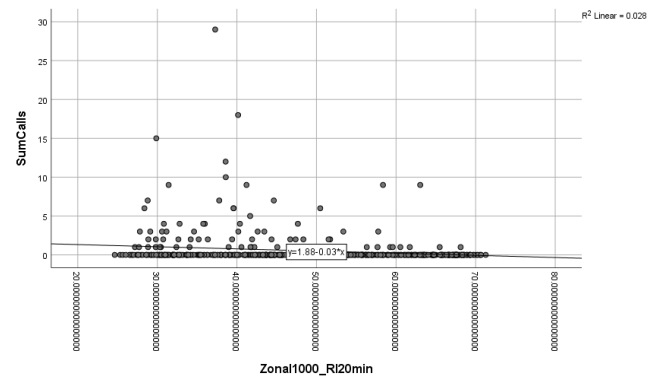
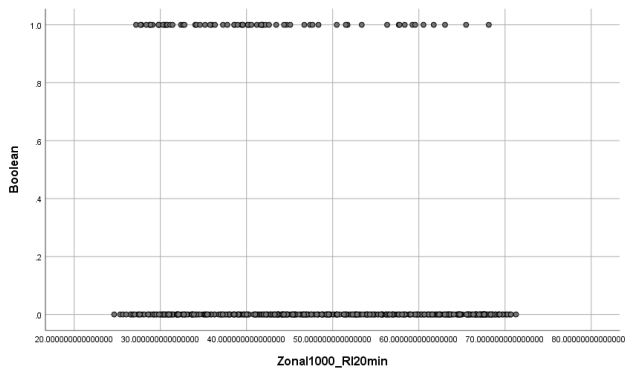
Σχήμα 39 (α) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 10min Binary Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 10min Linear Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m.



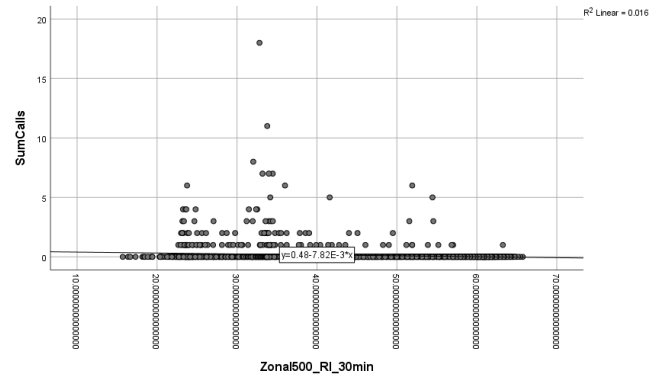
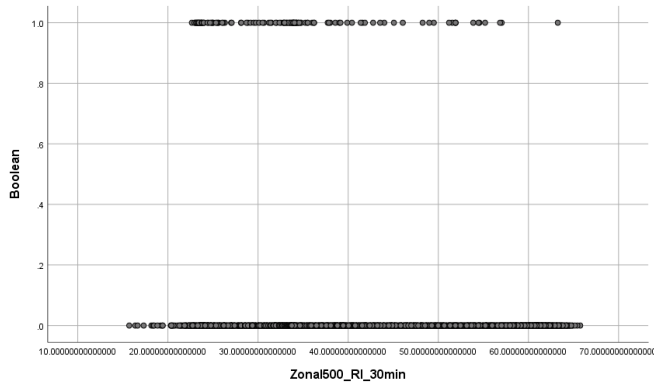
Σχήμα 40 (α) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 10min Binary Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 10min Linear Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m.



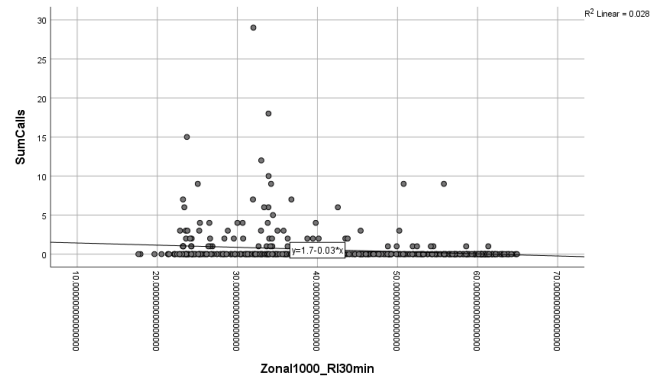
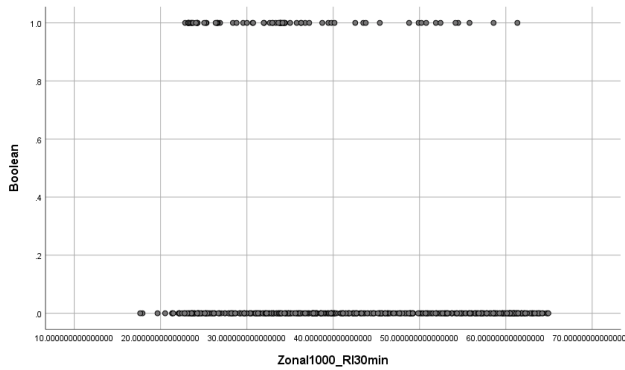
Σχήμα 41 (α) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 20min Binary Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 20min Linear Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m.



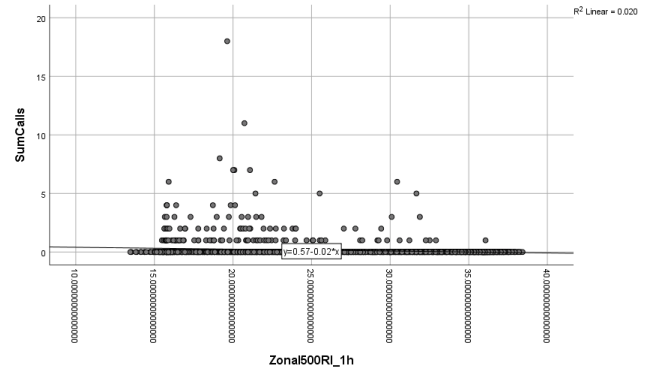
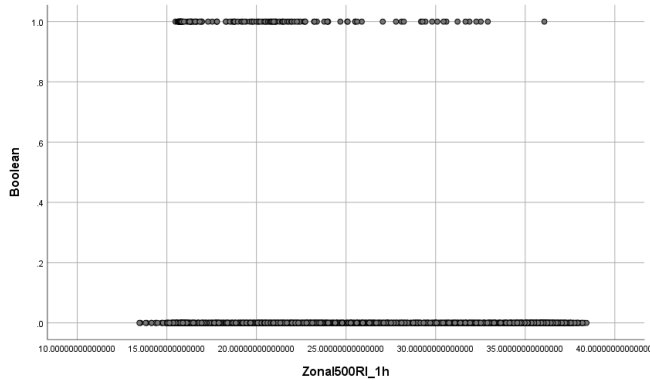
Σχήμα 42 (α) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 20min Binary Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 20min Linear Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m.



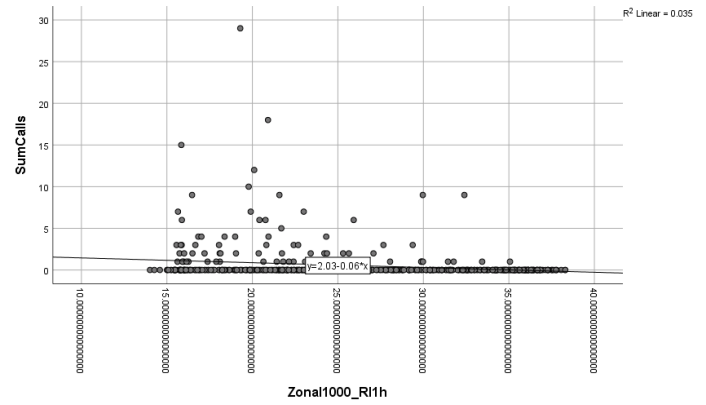
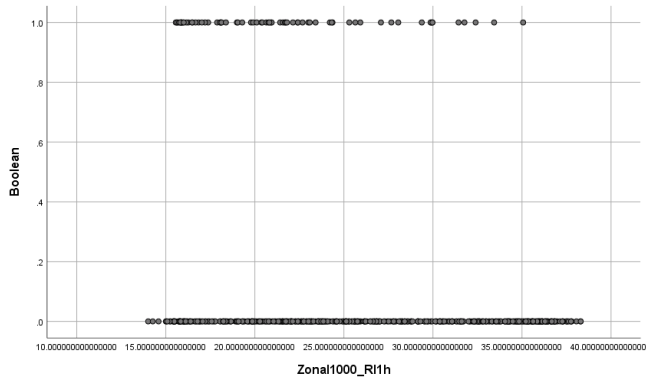
Σχήμα 43 (α) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 30min Binary Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 30min Linear Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m.



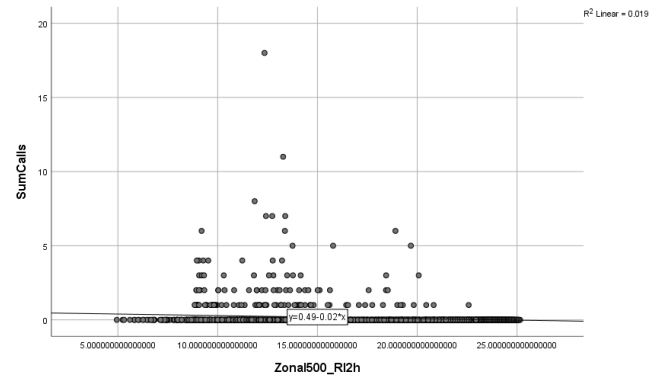
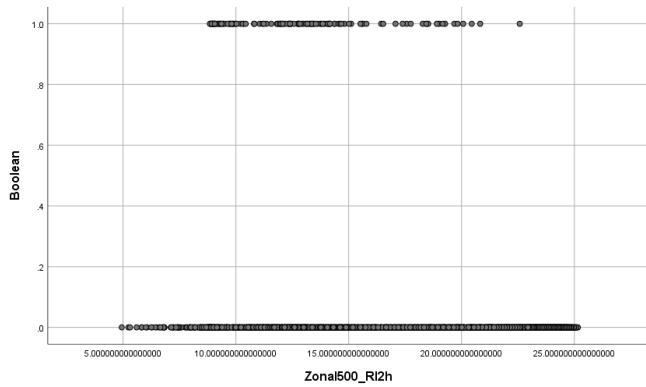
Σχήμα 44 (α) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 30min Binary Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 30min Linear Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m.



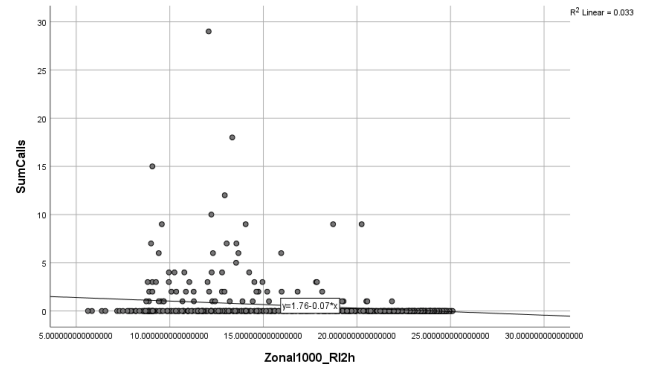
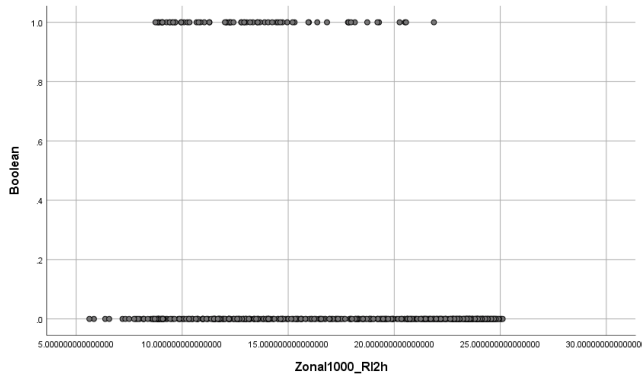
Σχήμα 45 (α) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 1h Binary Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 1h Linear Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m.



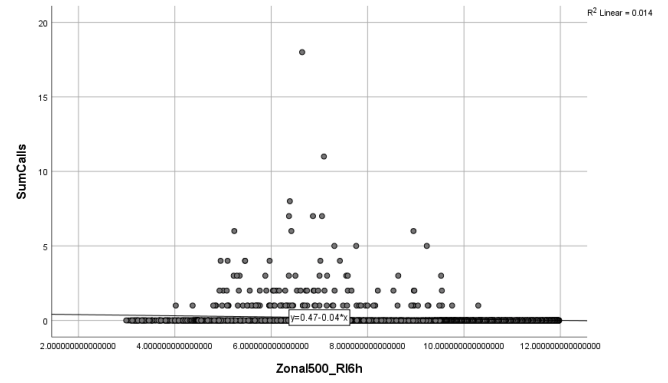
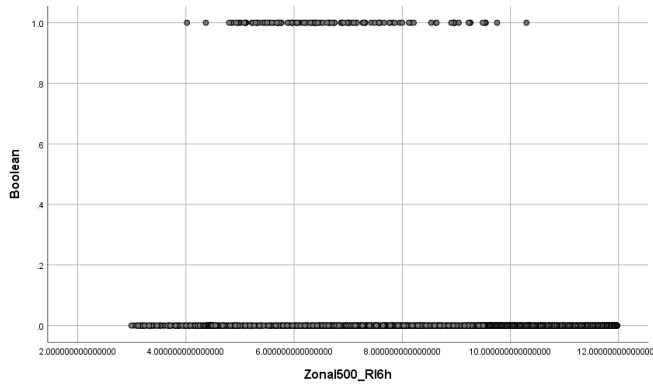
Σχήμα 46 (α) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 1h Binary Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 1h Linear Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m.



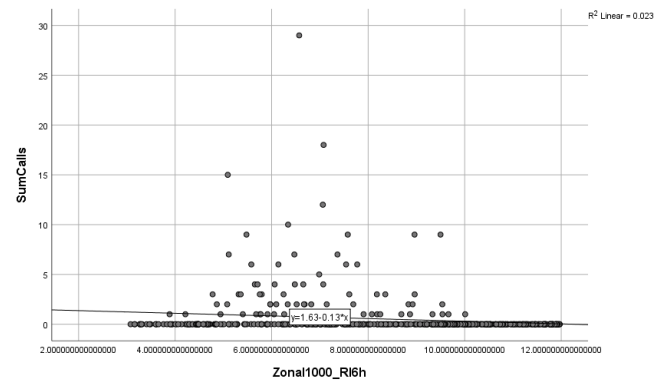
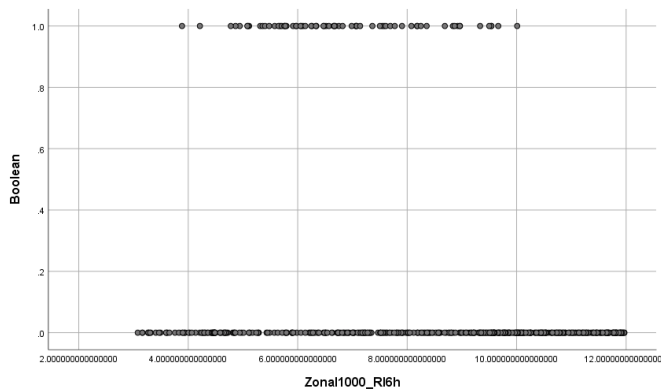
Σχήμα 47 (α) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 2h Binary Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 2h Linear Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m.



Σχήμα 48 (α) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 2h Binary Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 2h Linear Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m.

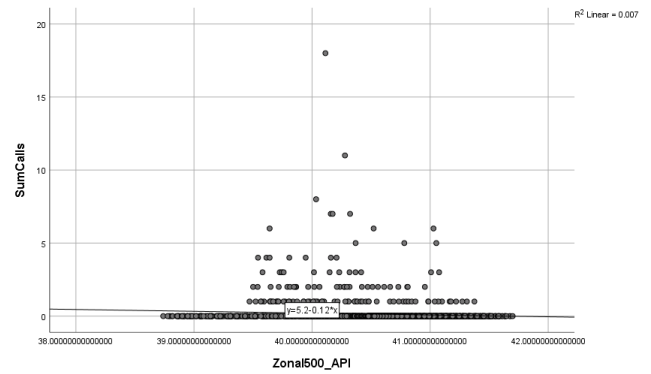
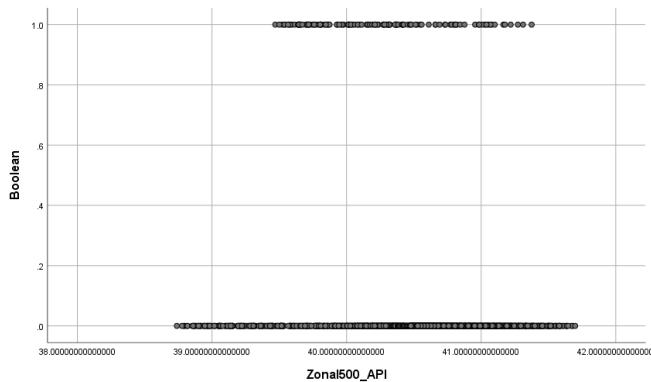


Σχήμα 49 (α) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 6h Binary Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 6h Linear Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m.

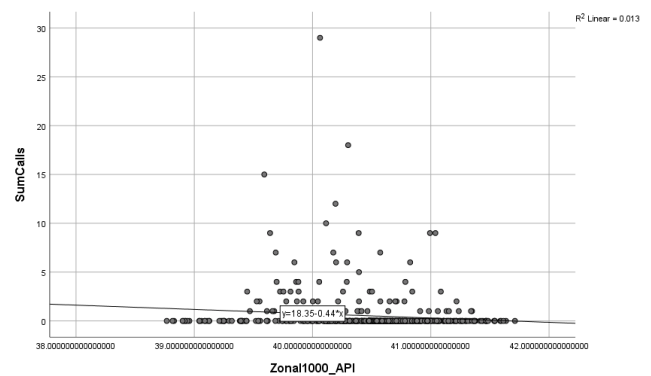
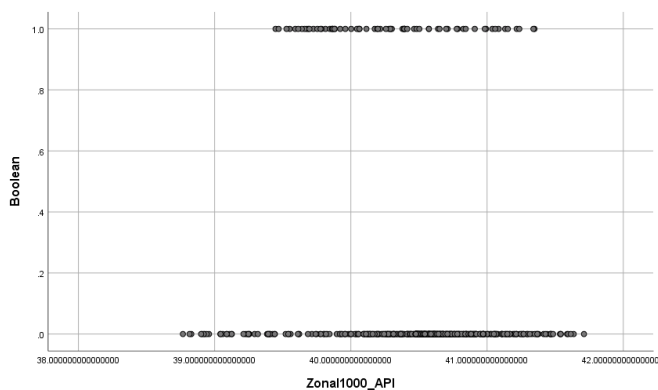


Σχήμα 50 (α) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 6h Binary Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού έντασης βροχής 6h Linear Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m.

Ο παράγοντες **API** που αφορά την “**προηγούμενη βροχοπτώση**” παρατηρείται ότι παρουσιάζει μικρή αρνητική στατιστική συσχέτιση με την εμφάνιση πλημμύρας, γεγονός που τον καθιστά μη αξιόπιστο. Πάραυτα, παρατηρούμαι ότι υπάρχει απουσία πλημμυρισμένων θέσεων στις χαμηλές τιμές του δείκτη API, οι οποίες συγκεντρώνονται στις μεσαίες και υψηλές τιμές, όπου ουσιαστικά το έδαφος είναι κορεσμένο από προηγούμενες βροχοπτώσεις.



Σχήμα 51 (α) Διάγραμμα σκεδασμού δείκτη API Binary Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού δείκτη API Linear Regression για μέγεθος κελιού 500mX500m.



Σχήμα 52 (α) Διάγραμμα σκεδασμού δείκτη API Binary Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, (β) Διάγραμμα σκεδασμού δείκτη API Linear Regression για μέγεθος κελιού 1000mX1000m.

4.2 Δυαδική Λογιστική Παλινδρόμηση (BLR)

Η δυαδική λογιστική παλινδρόμηση εκτελείται στο πρόγραμμα SPSS και εφαρμόζεται αρχικά για μέγεθος κελιών 500mX500m, λαμβάνοντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή Boolean (η οποία παίρνει ως τιμές '0': δεν υπάρχει πλημμυρισμένη θέση' ή '1': υπάρχει τουλάχιστον μια πλημμυρισμένη θέση εντός του κελιού) και ως ανεξάρτητες μεταβλητές όλους τους παράγοντες.

Η απόδοση του δυαδικού μοντέλου λογιστικής παλινδρόμησης που προκύπτει αξιολογείται με βάση την τιμή της παραμέτρου Nagelkerke R^2 , που αντιστοιχεί σε 0,458, υποδηλώνοντας μια μεσαία με ισχυρή στατιστική συσχέτιση. Η παράμετρος πρόβλεψης (predicted) αντιστοιχεί σε 93,8%, δηλαδή αρκετά καλή πρόβλεψη.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες που ακολουθούν:

Πίνακας 11 Αποτελέσματα BLR για μέγεθος κελιού 500mX500m και συμμετοχή όλων των παραγόντων στο στατιστικό μοντέλο.

Omnibus Tests of Model Coefficients

		Chi-square	df	Sig.
Step 1	Step	366.779	13	.000
	Block	366.779	13	.000
	Model	366.779	13	.000

Model Summary

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	551.300 ^a	.175	.458

a. Estimation terminated at iteration number 11 because parameter estimates changed by less than .001.

Classification Table^a

Observed		Predicted		
		Boolean	Percentage	Correct
Step 1	Boolean	0	1	
		0	1764	23
	1	95	29	23.4
Overall Percentage				93.8

a. The cut value is .500

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a Zonal500_dem	.003	.004	.507	1	.477	1.003
Zonal500_EuclDist_Streams	.000	.000	1.339	1	.247	1.000
Zonal500_FlowAcc	.000	.000	1.406	1	.236	1.000
Zonal500_Slope_deg	-.182	.072	6.459	1	.011	.833
Zonal500_Soil_Sealing	.023	.006	15.614	1	.000	1.023
Zonal500_storm_rain	-.986	.193	26.097	1	.000	.373
Zonal500_RI10min	-.965	.364	7.043	1	.008	.381
Zonal500_RI20min	1.973	.480	16.911	1	.000	7.194
Zonal500_RI_30min	-.120	.189	.401	1	.527	.887
Zonal500RI_1h	-3.524	.594	35.248	1	.000	.029
Zonal500_RI2h	.067	.823	.007	1	.935	1.070

Zonal500_RI6h	7.026	1.780	15.582	1	.000	1125.923
Zonal500_API	-.696	.698	.995	1	.318	.499
Constant	74.411	38.252	3.784	1	.052	2.07*10 ³²

a. Variable(s) entered on step 1: Zonal500_dem, Zonal500_EuclDist_Streams, Zonal500_FlowAcc, Zonal500_Slope_deg, Zonal500_Soil_Sealing, Zonal500_storm_rain, Zonal500_RI10min, Zonal500_RI20min, Zonal500_RI_30min, Zonal500RI_1h, Zonal500_RI2h, Zonal500_RI6h, Zonal500_API.

Στη συνέχεια επιλέγεται ένας συνδυασμός παραγόντων για την επανάληψη της δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης. Στους παράγοντες «Zonal500_Eucl_Dist_Streams: Ευκλείδεια απόσταση από τα υδατορέματα» και «Zonal500_FlowAcc: Υδρογραφικό δίκτυο» παρατηρείται ότι η τιμή του B είναι μηδέν, όπου ο "συντελεστής B" είναι ένας συντελεστής παλινδρόμησης που υποδεικνύει τη σχετική επίδραση μιας συγκεκριμένης ανεξάρτητης μεταβλητής στο αποτέλεσμα (σε αυτήν την περίπτωση στην εκδήλωση πλημμύρας). Για το λόγο αυτό οι παράγοντες αυτοί θα εξαιρεθούν από την διαδικασία της παλινδρόμησης. Επίσης από τους δυναμικούς παράγοντες επιλέγεται μόνο η αθροιστική βροχόπτωση (Zonal500_storm rain), καθώς δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα έναντι των 10min, 20min, 30min, 1h, 2h και 6h εντάσεων βροχόπτωσης.

Επομένως επανεκτελείται δυαδική λογιστική παλινδρόμηση, όπου ως εξαρτημένη μεταβλητή επιλέγεται η μεταβλητή Boolean και ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι ακόλουθες:

- Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους
- Κλίση του εδάφους
- Βαθμός αδιαπερατότητας του εδάφους
- Αθροιστική βροχόπτωση

Κατά τη νέα εφαρμογή δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης παρατηρείται ότι για τον δείκτη sig ισχύει $sig < 0,05$, γεγονός που υποδεικνύει ότι είναι ισχυρότερη η σχέση των παραγόντων με το προτεινόμενο μοντέλο. Η τιμή της παραμέτρου Nagelkerke R^2 αντιστοιχεί σε 0,353, υποδηλώνοντας μια μεσαία στατιστική συσχέτιση και η παράμετρος πρόβλεψης (predicted) αντιστοιχεί σε 93,2%, δηλαδή αρκετά καλή πρόβλεψη. Οι τιμές αυτές όμως είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές της προηγούμενης δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης.

Επιπλέον παρατηρείται ότι ο παράγοντας 'αθροιστική βροχόπτωση' φαίνεται να επηρεάζει θετικά το στατιστικό μοντέλο, γεγονός που έχει να κάνει με την εσωτερική επίλυση του μοντέλου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες που ακολουθούν:

Πίνακας 12 Αποτελέσματα BLR για μέγεθος κελιού 500mX500m και συμμετοχή επιλεγμένων παραγόντων στο στατιστικό μοντέλο

Omnibus Tests of Model Coefficients

		Chi-square	df	Sig.
Step 1	Step	276.412	4	.000
	Block	276.412	4	.000
	Model	276.412	4	.000

Model Summary

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	641.667 ^a	.135	.353

a. Estimation terminated at iteration number 9 because parameter estimates changed by less than .001.

Classification Table^a

Observed		Predicted		
		Boolean	1	Percentage Correct
Step 1	Boolean	0	1	
	0	1781	6	99.7
	1	124	0	.0
Overall Percentage				93.2

a. The cut value is .500

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a						
Zonal500_dem	-.006	.002	9.248	1	.002	.994
Zonal500_Slope_deg	-.190	.052	13.126	1	.000	.827
Zonal500_Soil_Sealing	.027	.006	22.708	1	.000	1.028
Zonal500_storm_rain	.059	.014	16.805	1	.000	1.061
Constant	-5.394	.898	36.106	1	.000	.005

a. Variable(s) entered on step 1: Zonal500_dem, Zonal500_Slope_deg, Zonal500_Soil_Sealing, Zonal500_storm_rain.

Στη συνέχεια εκτελείται δυαδική λογιστική παλινδρόμηση για μέγεθος κελιών 1000mX1000m, λαμβάνοντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη μεταβλητή Boolean (η οποία παίρνει ως τιμές '0: δεν υπάρχει πλημμυρισμένη θέση' ή '1: υπάρχει τουλάχιστον μια πλημμυρισμένη θέση εντός του κελιού) και ως ανεξάρτητες μεταβλητές όλους τους παράγοντες.

Η απόδοση του δυαδικού μοντέλου λογιστικής παλινδρόμησης αξιολογείται με βάση την τιμή της παραμέτρου Nagelkerke R^2 , που αντιστοιχεί σε 0,532, υποδηλώνοντας μια μεσαία με ισχυρή στατιστική συσχέτιση. Παρατηρείται ότι για μέγεθος κελιών 1000mX1000m παράγεται μια πιο ισχυρή στατιστική συσχέτιση έναντι της στατιστικής συσχέτισης που παράγεται για μέγεθος κελιών 500mX500m, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία και με τα αποτελέσματα των (Diakakis et al. 2016).

Η παράμετρος πρόβλεψης (predicted) αντιστοιχεί σε 90,6%, δηλαδή αρκετά καλή πρόβλεψη.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες που ακολουθούν:

Πίνακας 13 Αποτελέσματα BLR για μέγεθος κελιού 1000mX1000m και συμμετοχή όλων των παραγόντων στο στατιστικό μοντέλο.

		Chi-square	df	Sig.
Step 1	Step	178.873	13	.000
	Block	178.873	13	.000
	Model	178.873	13	.000

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	232.574 ^a	.290	.532

a. Estimation terminated at iteration number 9 because parameter estimates changed by less than .001.

Classification Table^a

Observed		Predicted		Percentage Correct
		Boolean 0	Boolean 1	
Step 1	Boolean 0	442	10	97.8
	Boolean 1	39	31	44.3
Overall Percentage				90.6

a. The cut value is .500

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a Zonal1000_dem	.001	.005	.050	1	.824	1.001
Zonal1000_EuclDist_Streams	.000	.001	.030	1	.863	1.000
Zonal1000_FlowAcc	.000	.000	.427	1	.513	1.000
Zonal1000_slope_deg	-.197	.091	4.728	1	.030	.821
Zonal1000_soil_sealing	.006	.007	.660	1	.417	1.006
Zonal1000_storm_rain	-1.107	.236	22.043	1	.000	.331
Zonal1000_RI10min	-.388	.378	1.057	1	.304	.678
Zonal1000_RI20min	1.514	.475	10.177	1	.001	4.544
Zonal1000_RI30min	.343	.297	1.337	1	.248	1.409
Zonal1000_RI1h	-4.055	.856	22.417	1	.000	.017
Zonal1000_RI2h	.951	1.169	.662	1	.416	2.587
Zonal1000_RI6h	6.073	1.929	9.908	1	.002	434.163
Zonal1000_API	.216	.820	.070	1	.792	1.242
Constant	25.677	41.331	.386	1	.534	14.2*10 ¹⁰

a. Variable(s) entered on step 1: Zonal1000_dem, Zonal1000_EuclDist_Streams, Zonal1000_FlowAcc, Zonal1000_slope_deg, Zonal1000_soil_sealing, Zonal1000_storm_rain, Zonal1000_RI10min, Zonal1000_RI20min, Zonal1000_RI30min, Zonal1000_RI1h, Zonal1000_RI2h, Zonal1000_RI6h, Zonal1000_API.

Στη συνέχεια επανεκτελείται δυαδική λογιστική παλινδρόμηση εξαιρώντας τους παράγοντες «Zonal1000_Eucl_Dist_Streams: Ευκλείδεια απόσταση από τα υδατορέματα» και «Zonal1000_FlowAcc: Υδρογραφικό δίκτυο» στους οποίους η τιμή του συντελεστή B ισούται με μηδέν, και επιλέγοντας από τους δυναμικούς παράγοντες μόνο την αθροιστική βροχόπτωση (Zonal1000_storm_rain). Ως εξαρτημένη μεταβλητή επιλέγεται η μεταβλητή Boolean και ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι ακόλουθες:

- Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους
- Κλίση του εδάφους
- Βαθμός αδιαπερατότητας του εδάφους
- Αθροιστική βροχόπτωση

Η τιμή της παραμέτρου Nagelkerke R^2 αντιστοιχεί σε 0,374, υποδηλώνοντας μια μεσαία στατιστική συσχέτιση και η παράμετρος πρόβλεψης (predicted) αντιστοιχεί σε 84,7%, δηλαδή αρκετά καλή πρόβλεψη. Οι τιμές αυτές όμως είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες τιμές της προηγούμενης δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης. Επιπλέον παρατηρείται ότι ο παράγοντας 'αθροιστική βροχόπτωση' φαίνεται να επηρεάζει θετικά το στατιστικό μοντέλο, γεγονός που έχει να κάνει με την εσωτερική επίλυση του μοντέλου. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν:

Πίνακας 14 Αποτελέσματα BLR για μέγεθος κελιού 1000mX1000m και συμμετοχή επιλεγμένων παραγόντων στο στατιστικό μοντέλο

Omnibus Tests of Model Coefficients

		Chi-square	df	Sig.
Step 1	Step	119.011	4	.000
	Block	119.011	4	.000
	Model	119.011	4	.000

Model Summary

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	292.436 ^a	.204	.374

a. Estimation terminated at iteration number 7 because parameter estimates changed by less than .001.

Classification Table^a

Observed		Predicted		
		Boolean	Percentage	Correct
Step 1	Boolean	0	1	
		0	442	10
	1	70	0	.0
Overall Percentage				84.7

a. The cut value is .500

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a Zonal1000_dem	-.006	.002	6.900	1	.009	.994
Zonal1000_slope_deg	-.178	.056	10.027	1	.002	.837
Zonal1000_soil_sealing	.007	.006	1.491	1	.222	1.007
Zonal1000_storm_rain	.043	.017	6.085	1	.014	1.044
Constant	-2.426	1.043	5.406	1	.020	.088

a. Variable(s) entered on step 1: Zonal1000_dem, Zonal1000_slope_deg, Zonal1000_soil_sealing, Zonal1000_storm_rain.

4.3 Γενικευμένη Γραμμική Παλινδρόμηση (GLM)

Η γενικευμένη γραμμική παλινδρόμηση (GLM) εκτελείται στο πρόγραμμα SPSS και εφαρμόζεται αρχικά για μέγεθος κελιών 500mX500m, λαμβάνοντας ως εξαρτημένη τη μεταβλητή Sumcalls, η οποία εκφράζει το άθροισμα των πλημμυρισμένων θέσεων σε κάθε κελί της περιοχής μελέτης και ως ανεξάρτητες μεταβλητές όλους τους παράγοντες.

Στον πίνακα Model Summary παρουσιάζονται τα μέτρα με τα οποία αξιολογείται η προσαρμογή του μοντέλου της παλινδρόμησης στα δεδομένα. Ο συντελεστής συσχέτισης ισούται με $R=0,375$, ενώ ο συντελεστής προσδιορισμού ισούται με $R^2=0,140$. Το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης εμφανίζεται στη στήλη Std. Error of the Estimate και ισούται με 0,736.

Στον τρίτο πίνακα ANOVA παρουσιάζεται η ανάλυση της διασποράς (Sum of Squares) σε ερμηνευόμενη (Regression) και μη ερμηνευόμενη (Residual).

Με βάση τα δεδομένα που προκύπτουν γίνεται απόλυτα κατανοητό ότι πρόκειται για ένα εξαιρετικά αδύναμο στατιστικό μοντέλο.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες που ακολουθούν:

Πίνακας 15 Αποτελέσματα GLM για μέγεθος κελιού 500mX500m και συμμετοχή όλων των παραγόντων στο στατιστικό μοντέλο.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.375 ^a	.140	.134	.736

a. Predictors: (Constant), Zonal500_API, Zonal500_EuclDist_Streams, Zonal500_FlowAcc, Zonal500_Slope_deg, Zonal500_RI10min, Zonal500_dem, Zonal500_Soil_Sealing, Zonal500_RI6h, Zonal500_RI_30min, Zonal500_storm_rain, Zonal500_RI2h, Zonal500_RI20min, Zonal500RI_1h

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	167.865	13	12.913	23.822	.000 ^b
	Residual	1028.273	1897	.542		
	Total	1196.138	1910			

a. Dependent Variable: SumCalls

b. Predictors: (Constant), Zonal500_API, Zonal500_EuclDist_Streams, Zonal500_FlowAcc, Zonal500_Slope_deg, Zonal500_RI10min, Zonal500_dem, Zonal500_Soil_Sealing, Zonal500_RI6h, Zonal500_RI_30min, Zonal500_storm_rain, Zonal500_RI2h, Zonal500_RI20min, Zonal500RI_1h

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.002	4.081		.246	.806
	Zonal500_dem	.000	.000	.114	2.112	.035
	Zonal500_EuclDist_Streams	.000	.000	-.091	-3.443	.001
	Zonal500_FlowAcc	-2.580E-6	.000	-.051	-2.235	.026
	Zonal500_Slope_deg	6.703E-6	.004	.000	.002	.998
	Zonal500_Soil_Sealing	.006	.001	.284	6.914	.000
	Zonal500_storm_rain	-.067	.017	-1.082	-3.848	.000
	Zonal500_RI10min	.027	.028	.179	.986	.324
	Zonal500_RI20min	.057	.033	.942	1.744	.081
	Zonal500_RI_30min	.175	.031	2.870	5.704	.000
	Zonal500RI_1h	-.689	.072	-6.063	-9.614	.000
	Zonal500_RI2h	.388	.063	2.619	6.173	.000
	Zonal500_RI6h	.164	.079	.507	2.094	.036
	Zonal500_API	.031	.086	.021	.364	.716

a. Dependent Variable: SumCalls

Στη συνέχεια επανεκτελείται γενικευμένη γραμμική παλινδρόμηση εξαιρώντας τους παράγοντες «Zonal500_dem: Ψηφιακό Μοντέλο εδάφους και

«Zonal500_Eucl_Dist_Streams: Ευκλείδεια απόσταση από τα υδατορέματα» στους οποίους η τιμή του συντελεστή B πλησιάζει το μηδέν, και επιλέγοντας από τους δυναμικούς παράγοντες μόνο την αθροιστική βροχόπτωση (Zonal500_storm_rain). Ως εξαρτημένη μεταβλητή επιλέγεται η μεταβλητή SumCalls και ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι ακόλουθες:

- Κλίση του εδάφους
- Υδρογραφικό δίκτυο
- Βαθμός αδιαπερατότητας του εδάφους
- Αθροιστική βροχόπτωση

Το στατιστικό μοντέλο που προκύπτει σε αυτή την περίπτωση είναι ακόμη πιο αδύναμο με τον συντελεστή συσχέτισης να ισούται με $R=0,273$, ενώ ο συντελεστής προσδιορισμού ισούται με $R^2=0,074$. Το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης εμφανίζεται στη στήλη Std. Error of the Estimate και ισούται με 0,762.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες που ακολουθούν:

Πίνακας 16 Αποτελέσματα GLM για μέγεθος κελιού 500mX500m και συμμετοχή επιλεγμένων παραγόντων στο στατιστικό μοντέλο

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.273 ^a	.074	.072	.762

a. Predictors: (Constant), Zonal500_storm_rain, Zonal500_FlowAcc, Zonal500_Slope_deg, Zonal500_Soil_Sealing

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	88.848	4	22.212	38.234	.000 ^b
	Residual	1107.290	1906	.581		
	Total	1196.138	1910			

a. Dependent Variable: SumCalls

b. Predictors: (Constant), Zonal500_storm_rain, Zonal500_FlowAcc, Zonal500_Slope_deg, Zonal500_Soil_Sealing

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Sig.
		B	Std. Error	Coefficients Beta		
1	(Constant)	-.410	.135		-3.042	.002
	Zonal500_Slope_deg	-.003	.003	-.026	-.827	.408
	Zonal500_FlowAcc	-4.012E-8	.000	-.001	-.035	.972
	Zonal500_Soil_Sealing	.007	.001	.319	8.835	.000
	Zonal500_storm_rain	.006	.002	.103	3.166	.002

a. Dependent Variable: SumCalls

Στη συνέχεια εκτελείται γενικευμένη γραμμική παλινδρόμηση (GLM) για μέγεθος κελιού 1000mX1000m, λαμβάνοντας ως εξαρτημένη τη μεταβλητή Sumcalls, η οποία εκφράζει το άθροισμα των πλημμυρισμένων θέσεων σε κάθε κελί της περιοχής μελέτης και ως ανεξάρτητες μεταβλητές όλους τους παράγοντες.

Και σε αυτή την περίπτωση το στατιστικό μοντέλο που προκύπτει δεν είναι ισχυρό, αλλά παρουσιάζεται βελτιωμένο σε σχέση με το αντίστοιχο μοντέλο που επιλύθηκε για μέγεθος κελιών 500mX500m. Ο συντελεστής συσχέτισης ισούται με $R=0,482$, ενώ ο συντελεστής προσδιορισμού ισούται με $R^2=0,233$. Το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης εμφανίζεται στη στήλη Std. Error of the Estimate και ισούται με 1,902.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες που ακολουθούν:

Πίνακας 17 Αποτελέσματα GLM για μέγεθος κελιού 1000mX1000m και συμμετοχή όλων των παραγόντων στο στατιστικό μοντέλο

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.482 ^a	.233	.213	1.902

a. Predictors: (Constant), Zonal1000_API, Zonal1000_EuclDist_Streams, Zonal1000_FlowAcc, Zonal1000_slope_deg, Zonal1000_RI10min, Zonal1000_dem, Zonal1000_soil_sealing, Zonal1000_RI6h, Zonal1000_RI30min, Zonal1000_storm_rain, Zonal1000_RI2h, Zonal1000_RI20min, Zonal1000_RI1h

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	557.763	13	42.905	11.856	.000 ^b
	Residual	1838.306	508	3.619		
	Total	2396.069	521			

a. Dependent Variable: SumCalls

b. Predictors: (Constant), Zonal1000_API, Zonal1000_EuclDist_Streams, Zonal1000_FlowAcc, Zonal1000_slope_deg, Zonal1000_RI10min, Zonal1000_dem, Zonal1000_soil_sealing, Zonal1000_RI6h, Zonal1000_RI30min, Zonal1000_storm_rain, Zonal1000_RI2h, Zonal1000_RI20min, Zonal1000_RI1h

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	13.479	19.279		.699	.485
	Zonal1000_dem	.001	.001	.148	1.461	.145
	Zonal1000_EuclDist_Streams	-.001	.000	-.127	-2.587	.010
	Zonal1000_FlowAcc	-1.099E-5	.000	-.058	-1.320	.187
	Zonal1000_slope_deg	-.011	.021	-.039	-.519	.604
	Zonal1000_soil_sealing	.015	.004	.265	3.518	.000
	Zonal1000_storm_rain	-.301	.086	-1.804	-3.481	.001
	Zonal1000_RI10min	.073	.133	.178	.549	.583
	Zonal1000_RI20min	.333	.155	2.013	2.153	.032
	Zonal1000_RI30min	.644	.155	3.879	4.144	.000
	Zonal1000_RI1h	-2.843	.349	-9.201	-8.136	.000
	Zonal1000_RI2h	1.606	.305	3.996	5.257	.000
	Zonal1000_RI6h	.785	.388	.897	2.025	.043
	Zonal1000_API	-.059	.408	-.015	-.145	.884

a. Dependent Variable: SumCalls

Στη συνέχεια επανεκτελείται γενικευμένη γραμμική παλινδρόμηση εξαιρώντας τους παράγοντες «Zonal1000_dem: Ψηφιακό Μοντέλο εδάφους και «Zonal1000_Eucl_Dist_Streams: Ευκλείδεια απόσταση από τα υδατορέματα» στους οποίους η τιμή του συντελεστή B πλησιάζει το μηδέν, και επιλέγοντας από τους δυναμικούς παράγοντες μόνο την αθροιστική βροχόπτωση (Zonal1000_storm rain). Ως εξαρτημένη μεταβλητή επιλέγεται η μεταβλητή SumCalls και ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι ακόλουθες:

- Κλίση του εδάφους
- Υδρογραφικό δίκτυο
- Βαθμός αδιαπερατότητας του εδάφους
- Αθροιστική βροχόπτωση

Το στατιστικό μοντέλο που προκύπτει σε αυτή την περίπτωση είναι πιο αδύναμο με τον συντελεστή συσχέτισης να ισούται με $R=0,319$, ενώ ο συντελεστής προσδιορισμού ισούται με $R^2=0,102$. Το τυπικό σφάλμα της εκτίμησης εμφανίζεται στη στήλη Std. Error of the Estimate και ισούται με 2,040.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται αναλυτικά στους πίνακες που ακολουθούν:

Πίνακας 18 Αποτελέσματα GLM για μέγεθος κελιού 500mX500m και συμμετοχή επιλεγμένων παραγόντων στο στατιστικό μοντέλο

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.319 ^a	.102	.095	2.040

a. Predictors: (Constant), Zonal1000_storm_rain, Zonal1000_FlowAcc, Zonal1000_slope_deg, Zonal1000_soil_sealing

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	243.989	4	60.997	14.654	.000 ^b
	Residual	2152.080	517	4.163		
	Total	2396.069	521			

a. Dependent Variable: SumCalls

b. Predictors: (Constant), Zonal1000_storm_rain, Zonal1000_FlowAcc, Zonal1000_slope_deg, Zonal1000_soil_sealing

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-.857	.694		-1.234	.218
	Zonal1000_FlowAcc	8.832E-6	.000	.047	1.058	.290
	Zonal1000_slope_deg	-.027	.018	-.095	-1.484	.138
	Zonal1000_soil_sealing	.017	.004	.302	4.298	.000
	Zonal1000_storm_rain	.019	.011	.112	1.776	.076

a. Dependent Variable: SumCalls

4.4 Ανάλυση χαρακτηριστικών κτιρίων - Δυαδική Λογιστική Παλινδρόμηση

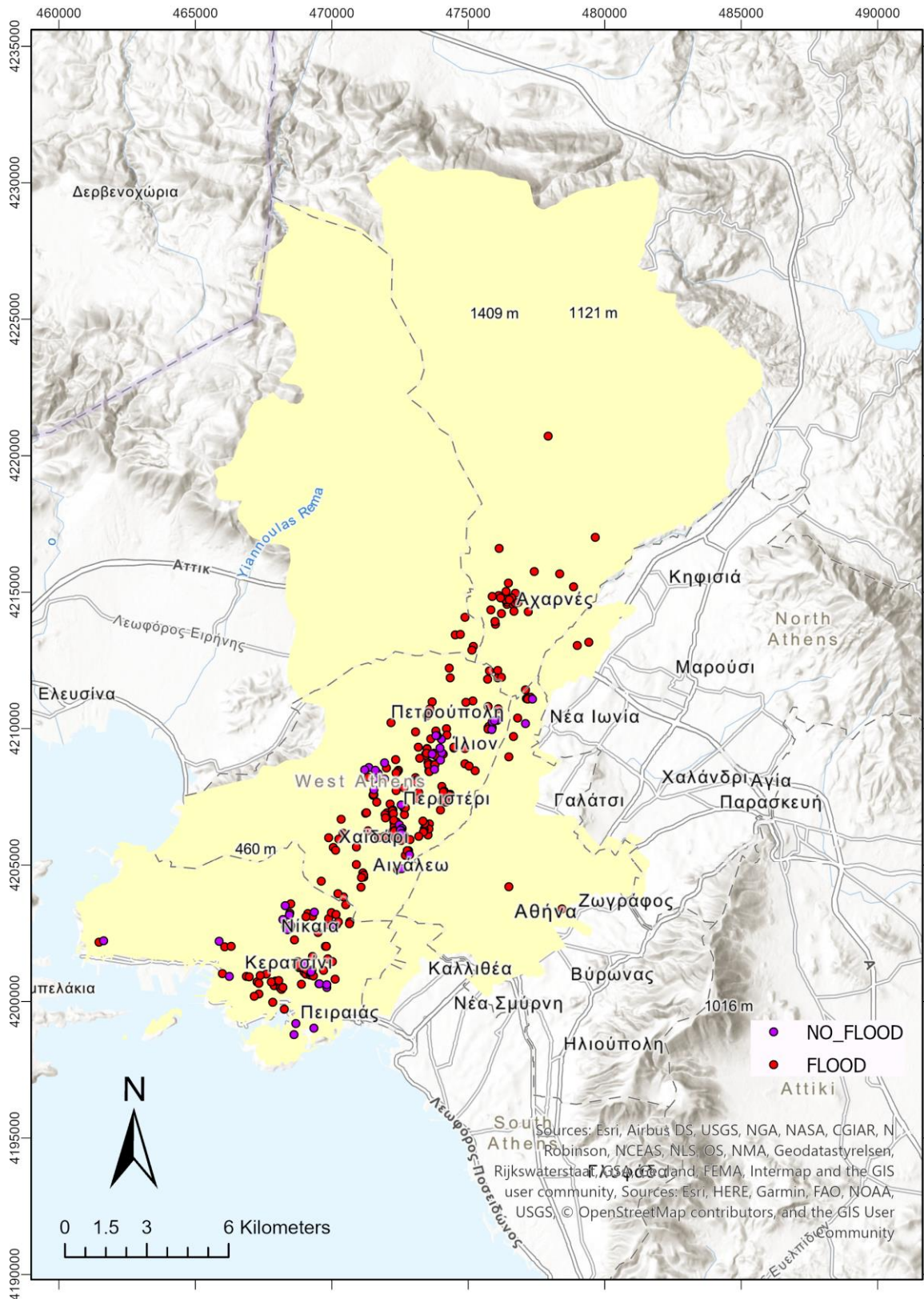
Αναφορικά με την υλοποίηση της μεθοδολογίας που περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο, αρχικά πραγματοποιείται μια στατιστική ανάλυση για το δείγμα που περιλαμβάνει 275 πλημμυρισμένα κτίρια και 50 μη πλημμυρισμένα κτίρια (βλ. Σχήμα 53), για το σύνολο των οποίων έχει υπολογιστεί η τιμή των εξεταζόμενων παραγόντων στο σημείο που αντιστοιχεί στη θέση του κάθε κτιρίου καθώς και τα χαρακτηριστικά που έχουν καταγραφεί μέσω Google Street View για κάθε κτίριο.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των κτιρίων διαπιστώνονται τα εξής:

- Στον παράγοντα ‘Lower opening: Χαμηλότερο άνοιγμα’ παρατηρείται ότι όλα τα πλημμυρισμένα κτίρια είχαν χαμηλότερο άνοιγμα στο ισόγειο ή στο υπόγειο και όχι υπέργεια, γεγονός που συντελεί στην εκδήλωση πλημμύρας στο εσωτερικό των κτιρίων, ενώ στις μη πλημμυρισμένες θέσεις υπάρχει μεγαλύτερο ποσοστό κτιρίων με χαμηλότερο άνοιγμα στο ισόγειο έναντι του υπογείου που είναι πιο ευάλωτο.
- Στον παράγοντα ‘Material: Υλικό κατασκευής του χαμηλότερου ανοίγματος’ παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αφορά σε μεταλλικά (metal) ανοίγματα. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι στις περισσότερες περιπτώσεις τα γυάλινα (glass) ανοίγματα ανήκουν σε καταστήματα και τα μεταλλικά ανοίγματα στα υπόγεια συμπεριλαμβάνουν τις μεταλλικές γκαραζόπορτες. Ο παράγοντας αυτός φαίνεται ότι δεν επηρεάζει την εμφάνιση πλημμύρας.
- Στον παράγοντα ‘General condition of the structure: Γενική κατάσταση της κατασκευής’ παρατηρείται μικρή διαφορά στο ποσοστό μεταξύ των παλαιών (root) και σύγχρονων (modern) κατασκευών και επομένως ο παράγοντας δεν δείχνει να επηρεάζει την εμφάνιση πλημμύρας. Κατά την καταγραφή των χαρακτηριστικών των κτιρίων μέσω Google Street View διαπιστώθηκε πως οι σύγχρονες κατασκευές διαθέτουν υπόγεια που χρησιμοποιούνται ως αποθήκες και χώροι στάθμευσης αυτοκινήτων, με την είσοδο σε αυτά να βρίσκεται κάτω από τη στάθμη του φυσικού εδάφους και να διευκολύνεται η εισροή των ομβρίων

υδάτων. Για το λόγο αυτό οι σύγχρονες κατασκευές πλημμυρίζουν σε τόσο μεγάλο βαθμό.

- Στον παράγοντα 'Garden: Κήπος' παρατηρείται ότι τα μη πλημμυρισμένα κτίρια διαθέτουν σε λίγο μεγαλύτερο ποσοστό κήπο, τα ποσοστά όμως που καταγράφονται δεν συνιστούν τον παράγοντα αυτό στατιστικά σημαντικό στην εμφάνιση πλημμύρας. Γενικά πρόκειται για μια αστική περιοχή με εξαιρετικά μεγάλη κάλυψη-σφράγιση του εδάφους και ελάχιστους κήπους μικρών διαστάσεων.
- Σχετικά με τους υπόλοιπους εξεταζόμενους παράγοντες παρατηρείται μεγαλύτερη ένταση βροχής σε όλες τις χρονικές διάρκειες στα πλημμυρισμένα κτίρια, έναντι των μη πλημμυρισμένων κτιρίων. Για τους γεωμορφολογικούς παράγοντες δεν προκύπτουν αξιοποιήσιμα συμπεράσματα.



Σχήμα 53 Θέσεις κατοικιών που λήφθηκαν υπόψη στην τελευταία ανάλυση (Πηγή Δεδομένων: Ελληνική Πυροσβεστική Υπηρεσία)

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα^(*).

Πίνακας 19 Στατιστική ανάλυση του συνόλου των εξεταζόμενων παραγόντων για 275 πλημμυρισμένα και 50 μη πλημμυρισμένα κτίρια.

Πλημμυρισμένα		Μη πλημμυρισμένα	
basement	51.1%	basement	64.0%
ground - floor	48.9%	ground - floor	36.0%
Elevated structure	0%	Elevated structure	0%
metal	60.9%	metal	84.0%
wood	5.1%	wood	8.0%
glass	33.3%	glass	8.0%
poor	52.5%	poor	52.0%
modern	46.4%	modern	48.0%
garden	15.2%	garden	24.0%
no garden	84.8%	no garden	76.0%
API (max)	41.3955	API (max)	40.78146
API (min)	39.4393	API (min)	39.47173
API (mean)	40.22085	API (mean)	40.08436
API (stdev)	0.442996	API (stdev)	0.360981
API (cv)	0.011014	API (cv)	0.009006
Total pcp (max)	69.0494	Total pcp (max)	55.45893
Total pcp (min)	38.1186	Total pcp (min)	38.5167
Total pcp (mean)	49.29509	Total pcp (mean)	46.99478
Total pcp (stdev)	6.906896	Total pcp (stdev)	5.090688
Total pcp (cv)	0.140113	Total pcp (cv)	0.108325
RI10min (max)	59.8141	RI10min (max)	52.94079
RI10min (min)	46.0793	RI10min (min)	46.13861
RI10min (mean)	51.29949	RI10min (mean)	50.2932
RI10min (stdev)	2.840858	RI10min (stdev)	2.159436
RI10min (cv)	0.055378	RI10min (cv)	0.042937
RI20min (max)	70.5849	RI20min (max)	47.34411
RI20min (min)	27.333	RI20min (min)	27.42778
RI20min (mean)	39.91751	RI20min (mean)	36.37102
RI20min (stdev)	9.081481	RI20min (stdev)	5.680431
RI20min (cv)	0.227506	RI20min (cv)	0.15618
RI30min (max)	64.0407	RI30min (max)	39.48162
RI30min (min)	22.8151	RI30min (min)	22.96758
RI30min (mean)	33.62609	RI30min (mean)	30.13431
RI30min (stdev)	8.447854	RI30min (stdev)	5.057196
RI30min (cv)	0.251229	RI30min (cv)	0.167822
RI1h (max)	36.3892	RI1h (max)	24.13835
RI1h (min)	15.5491	RI1h (min)	15.70139
RI1h (mean)	20.83047	RI1h (mean)	19.16615
RI1h (stdev)	4.429345	RI1h (stdev)	2.675943
RI1h (cv)	0.212638	RI1h (cv)	0.139618
RI2h (max)	22.6912	RI2h (max)	14.27114
RI2h (min)	8.79571	RI2h (min)	8.833361

RI2h (mean)	12.85303	RI2h (mean)	11.79128
RI2h (stdev)	2.979765	RI2h (stdev)	2.044411
RI2h (cv)	0.231834	RI2h (cv)	0.173383
RI6h (max)	10.2753	RI6h (max)	8.073632
RI6h (min)	3.92132	RI6h (min)	4.671654
RI6h (mean)	6.759584	RI6h (mean)	6.398839
RI6h (stdev)	1.213341	RI6h (stdev)	0.997073
RI6h (cv)	0.179499	RI6h (cv)	0.155821
ELV (max)	439.415	ELV (max)	118.92
ELV (min)	0	ELV (min)	3.637
ELV (mean)	74.95985	ELV (mean)	62.99188
ELV (stdev)	52.84093	ELV (stdev)	34.22921
ELV (cv)	0.704923	ELV (cv)	0.543391
SLO (max)	15.6899	SLO (max)	10.47261
SLO (min)	0	SLO (min)	0
SLO (mean)	2.393207	SLO (mean)	2.618705
SLO (stdev)	2.343016	SLO (stdev)	2.43617
SLO (cv)	0.979028	SLO (cv)	0.930296
FLOA (max)	99473	FLOA (max)	203141
FLOA (min)	0	FLOA (min)	0
FLOA (mean)	1301.384	FLOA (mean)	4210.46
FLOA (stdev)	9727.196	FLOA (stdev)	28716.87
FLOA (cv)	7.4745	FLOA (cv)	6.820364
EUST (max)	1862.592	EUST (max)	1677.178
EUST (min)	0	EUST (min)	0
EUST (mean)	362.479	EUST (mean)	477.0129
EUST (stdev)	341.7893	EUST (stdev)	404.9927
EUST (cv)	0.942922	EUST (cv)	0.849018
SSEAL (max)	100	SSEAL (max)	100
SSEAL (min)	0	SSEAL (min)	36
SSEAL (mean)	83.28986	SSEAL (mean)	88.68
SSEAL (stdev)	25.31796	SSEAL (stdev)	16.25742
SSEAL (cv)	0.303974	SSEAL (cv)	0.183327

^(*)Για την πλήρη κατανόηση του παραπάνω πίνακα δίνονται οι επεξηγήσεις των συντομογραφιών: API (Ο δείκτης API), Total rcp (Αθροιστική βροχόπτωση), RI10min, RI20min, RI30min, RI1h, RI2h, RI6h (Εντάσεις βροχόπτωσης 10 λεπτών, 20 λεπτών, 30 λεπτών, 1 ώρας, 2 ωρών και 6 ωρών αντίστοιχα), ELV (υψόμετρο), SLO (Κλίση), FLOA (Υδρογραφικό Δίκτυο), EUST (Ευκλείδεια απόσταση από τα υδατορέματα), SSEAL (Βαθμός αδιαπερατότητας του εδάφους).

Ακολούθως πραγματοποιείται στατιστική ανάλυση για μέρος του παραπάνω δείγματος που περιλαμβάνει ισάριθμα κτίρια, δηλαδή 50 πλημμυρισμένα και 50

μη πλημμυρισμένα κτίρια. Συγκριτικά με τα προηγούμενα αποτελέσματα διαπιστώνονται τα εξής:

- Στους παράγοντες 'Lower opening: Χαμηλότερο άνοιγμα' και Material: Υλικό κατασκευής του χαμηλότερου ανοίγματος' δεν παρατηρείται κάποια σημαντική μεταβολή, ενώ στους παράγοντες 'General condition of the structure: Γενική κατάσταση της κατασκευής' και 'Garden: Κήπος' παρατηρείται μια πιο ισχυρή στατιστική συσχέτιση, όπου η παλιές κατασκευές και η έλλειψη κήπου επηρεάζουν θετικά την εμφάνιση πλημμύρας .
- Αναφορικά με τους υπόλοιπους εξεταζόμενους παράγοντες δεν παρατηρείται κάποια σημαντική μεταβολή.

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης στο δεύτερο δείγμα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 20 Στατιστική ανάλυση του συνόλου των εξεταζόμενων παραγόντων για 50 πλημμυρισμένα και 50 μη πλημμυρισμένα κτίρια.

Πλημμυρισμένα		Μη Πλημμυρισμένα	
basement	51.0%	basement	64.0%
ground - floor	49.0%	ground - floor	36.0%
Elevated structure	0%	Elevated structure	0%
metal	56.9%	metal	84.0%
wood	2.0%	wood	8.0%
glass	41.2%	glass	8.0%
poor	68.6%	poor	52.0%
modern	31.4%	modern	48.0%
garden	5.9%	garden	24.0%
no garden	94.1%	no garden	76.0%
API (max)	40.3796	API (max)	40.78146
API (min)	39.52	API (min)	39.47173
API (mean)	39.79037	API (mean)	40.08436
API (stdev)	0.203182	API (stdev)	0.360981
API (cv)	0.005106	API (cv)	0.009006
Total pcp (max)	52.3498	Total pcp (max)	55.45893
Total pcp (min)	39.0022	Total pcp (min)	38.5167
Total pcp (mean)	43.36397	Total pcp (mean)	46.99478
Total pcp (stdev)	3.630459	Total pcp (stdev)	5.090688
Total pcp (cv)	0.083721	Total pcp (cv)	0.108325
RI10min (max)	52.0196	RI10min (max)	52.94079
RI10min (min)	46.0793	RI10min (min)	46.13861
RI10min (mean)	48.52455	RI10min (mean)	50.2932
RI10min (stdev)	1.647364	RI10min (stdev)	2.159436

RI10min (cv)	0.033949	RI10min (cv)	0.042937
RI20min (max)	38.4568	RI20min (max)	47.34411
RI20min (min)	27.333	RI20min (min)	27.42778
RI20min (mean)	31.23396	RI20min (mean)	36.37102
RI20min (stdev)	2.958694	RI20min (stdev)	5.680431
RI20min (cv)	0.094727	RI20min (cv)	0.15618
RI30min (max)	32.5302	RI30min (max)	39.48162
RI30min (min)	22.9008	RI30min (min)	22.96758
RI30min (mean)	25.48532	RI30min (mean)	30.13431
RI30min (stdev)	2.799946	RI30min (stdev)	5.057196
RI30min (cv)	0.109865	RI30min (cv)	0.167822
RI1h (max)	20.2297	RI1h (max)	24.13835
RI1h (min)	15.5818	RI1h (min)	15.70139
RI1h (mean)	16.74926	RI1h (mean)	19.16615
RI1h (stdev)	1.320192	RI1h (stdev)	2.675943
RI1h (cv)	0.078821	RI1h (cv)	0.139618
RI2h (max)	13.3124	RI2h (max)	14.27114
RI2h (min)	8.87752	RI2h (min)	8.833361
RI2h (mean)	9.992817	RI2h (mean)	11.79128
RI2h (stdev)	1.240682	RI2h (stdev)	2.044411
RI2h (cv)	0.124157	RI2h (cv)	0.173383
RI6h (max)	7.46494	RI6h (max)	8.073632
RI6h (min)	4.86323	RI6h (min)	4.671654
RI6h (mean)	5.736247	RI6h (mean)	6.398839
RI6h (stdev)	0.702292	RI6h (stdev)	0.997073
RI6h (cv)	0.12243	RI6h (cv)	0.155821
ELV (max)	88.285	ELV (max)	118.92
ELV (min)	0	ELV (min)	3.637
ELV (mean)	35.40492	ELV (mean)	62.99188
ELV (stdev)	26.31187	ELV (stdev)	34.22921
ELV (cv)	0.74317	ELV (cv)	0.543391
SLO (max)	14.7172	SLO (max)	10.47261
SLO (min)	0	SLO (min)	0
SLO (mean)	2.692276	SLO (mean)	2.618705
SLO (stdev)	2.525626	SLO (stdev)	2.43617
SLO (cv)	0.9381	SLO (cv)	0.930296
FLOA (max)	1362	FLOA (max)	203141
FLOA (min)	0	FLOA (min)	0
FLOA (mean)	58.94118	FLOA (mean)	4210.46
FLOA (stdev)	203.9489	FLOA (stdev)	28716.87
FLOA (cv)	3.46021	FLOA (cv)	6.820364
EUST (max)	1681.019	EUST (max)	1677.178
EUST (min)	15	EUST (min)	0
EUST (mean)	587.1476	EUST (mean)	477.0129

EUST (stdev)	390.4162	EUST (stdev)	404.9927
EUST (cv)	0.664937	EUST (cv)	0.849018
SSEAL (max)	100	SSEAL (max)	100
SSEAL (min)	0	SSEAL (min)	36
SSEAL (mean)	83.52941	SSEAL (mean)	88.68
SSEAL (stdev)	26.22697	SSEAL (stdev)	16.25742
SSEAL (cv)	0.313985	SSEAL (cv)	0.183327

Στη συνέχεια πραγματοποιείται δυαδική λογιστική παλινδρόμηση στο δείγμα των 100 κτιρίων (50 πλημμυρισμένα και 50 μη πλημμυρισμένα κτίρια) λαμβάνοντας ως εξαρτημένη τη μεταβλητή FLOOD (η οποία παίρνει ως τιμές '0: όταν στη θέση αυτή υπάρχει κτίριο που δεν έχει πλημμυρίσει στο εξεταζόμενο επεισόδιο πλημμύρας' ή '1: όταν στη θέση αυτή υπάρχει κτίριο που έχει πλημμυρίσει στο εξεταζόμενο επεισόδιο πλημμύρας') και ως ανεξάρτητες μεταβλητές τους 13 εξεταζόμενους παράγοντες και επιπλέον τον παράγοντα που εκφράζει τη στάθμη του κατώτατου ανοίγματος του κτιρίου (Lower opening).

Η απόδοση του δυαδικού μοντέλου λογιστικής παλινδρόμησης με την προσθήκη των χαρακτηριστικών του κτιρίου παρουσιάζεται ελαφρά βελτιωμένη με την τιμή της παραμέτρου Nagelkerke R^2 να αυξάνεται από 0,458 (για μέγεθος κελιού 500mX500m) σε 0,667, ενώ η παράμετρος πρόβλεψης από 93,8% (για μέγεθος κελιού 500mX500m) μειώνεται σε 87,1%. Τέλος προκαλούν εντύπωση οι τιμές που καταγράφονται στον δείκτη B, αφού στις εντάσεις βροχόπτωσης και στον δείκτη API, είναι εξαιρετικά υψηλές.

Πίνακας 21 Αποτελέσματα BLR με συμμετοχή όλων των παραγόντων στο στατιστικό μοντέλο και επιπλέον του παράγοντα “Lower opening”.

Omnibus Tests of Model Coefficients

		Chi-square	df	Sig.
Step 1	Step	70.065	14	.000
	Block	70.065	14	.000
	Model	70.065	14	.000

Model Summary

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R	Nagelkerke R
		Square	Square
1	69.941 ^a	.500	.667

a. Estimation terminated at iteration number 11 because parameter estimates changed by less than .001.

Classification Table^a

	Observed	Predicted		Percentage Correct
		0	1	
Step 1	flood 0	42	8	84.0
	1	5	46	90.2
Overall Percentage				87.1

a. The cut value is .500

Variables in the Equation

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a	Lower_open(1)	-1.044	.809	1.666	1	.197	.352
	API	-118.512	96.641	1.504	1	.220	.000
	RI6h	53.157	74.301	.512	1	.474	1,22 * 10 ²³
	RI2h	-23.515	30.217	.606	1	.436	.000
	RI1h	12.795	25.803	.246	1	.620	360445.2
	RI30min	4.990	4.368	1.305	1	.253	147.004
	RI20min	-.671	7.750	.007	1	.931	.511
	RI10min	-13.231	11.380	1.352	1	.245	.000
	storm_rain	1.330	9.151	.021	1	.884	3.781
	dem_fill_b	-.141	.044	10.371	1	.001	.868
	EuclDist_S	.001	.002	.539	1	.463	1.001
	Slope_dem_	.296	.207	2.047	1	.152	1.345
	FlowAcc_FI	-.001	.001	.566	1	.452	.999
	Soil_Seali	-.023	.018	1.644	1	.200	.977
	Constant	4917.599	3987.491	1.521	1	.217	.

a. Variable(s) entered on step 1: Lower_open, API, RI6h, RI2h, RI1h, RI30min, RI20min, RI10min, storm_rain, dem_fill_b, EuclDist_S, Slope_dem_, FlowAcc_FI, Soil_Seali.

5 Συμπεράσματα

5.1 Συμπεράσματα

Στο πλαίσιο εκπόνησης της εν λόγω διπλωματικής εργασίας εξετάστηκε το ακραίο περιστατικό πλημμύρας που έπληξε τον Οκτώβριο του 2014 την Αθήνα, κυρίως τις περιοχές της Δυτικής Αθήνας, μέσω της διερεύνησης των παραγόντων που συνδέονται με την εκδήλωση πλημμύρας σε αστικό περιβάλλον και της αξιοποίησης των δυνατοτήτων που παρέχουν τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών για την εφαρμογή μεθόδων χωρικής στατιστικής ανάλυσης.

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε είχε ως σκοπό να εξετάσει ποιοι από τους παράγοντες που διερευνήθηκαν, και σε ποιο βαθμό, θα μπορούσαν να συνδέονται με την κατανομή των πλημμυρών στα όρια μιας αστικής περιοχής. Για το σκοπό της ανάλυσης, χρησιμοποιήθηκαν δυο διαφορετικά πλέγματα κανάβου με μέγεθος κελιού 500mX500m και 1000mX1000m αντίστοιχα, για τη διερεύνηση της χωρικής κατανομής της πλημμύρας σε επίπεδο φατινίου, στα οποία αρχικά προσδιορίζονται δύο μεταβλητές που δηλώνουν: (α) την ύπαρξη ή μη πλημμυρισμένων θέσεων εντός του κελιού ανάλυσης και (β) τον αριθμό αυτών των συμβάντων.

Μέσω των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών δημιουργήθηκαν τα αναγκαία σύνολα δεδομένων raster που αφορούν στα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, καθώς και στα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχόπτωσης.

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε στατιστική ανάλυση και εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι α) δυαδικής λογιστικής παλινδρόμησης (BLR) και β) γενικευμένης γραμμικής παλινδρόμησης (GLM) που περιλάμβαναν όλους τους διερευνώμενους παράγοντες, αλλά και συνδυασμό αυτών.

Τα συμπεράσματα που απορρέουν συνοψίζονται στα εξής:

- Η δυαδική λογιστική παλινδρόμηση παράγει ένα πιο ισχυρό μοντέλο στατιστικής συσχέτισης, σε όλες τις περιπτώσεις που εφαρμόστηκε, έναντι της γενικευμένης γραμμικής παλινδρόμησης, από την οποία προκύπτει πάντα ένα πιο αδύναμο μοντέλο στατιστικής συσχέτισης.
- Η στατιστική συσχέτιση που παράγεται για μέγεθος κελιών 1000mX1000m είναι πιο ισχυρή, έναντι της στατιστικής συσχέτισης που παράγεται για μέγεθος κελιών 500mX500m, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία και με τα αποτελέσματα των (Diakakis et al. 2016). Το ίδιο ισχύει και με την ικανότητα πρόβλεψης των μοντέλων.
- Από το σύνολο των παραγόντων που διερευνήθηκαν για την επιρροή τους στην πρόκληση πλημμύρας, προέκυψε πως κάποιοι από αυτούς είναι στατιστικά σημαντικοί, δηλαδή εμπλέκονται στην εκδήλωση πλημμύρας.
- Οι στατικοί παράγοντες που σχετίζονται με τη γεωμορφολογία τους εδάφους παρουσιάζουν αρνητική στατιστική συσχέτιση στην πρόκληση πλημμύρας. Εξαιρέση αποτελεί ο βαθμός αδιαπερατότητας του εδάφους που παρουσιάζει μια ισχυρή θετική στατιστική συσχέτιση.
- Οι δυναμικοί παράγοντες που σχετίζονται με τις εντάσεις βροχόπτωσης επιδρούν αρνητικά στο στατιστικό μοντέλο, καθόσον αυτές τείνουν να αυξάνονται στα μεγαλύτερα υψόμετρα, όπου δεν καταγράφονται πλημμυρισμένες θέσεις.

Η μέθοδος που εφαρμόζεται σε αυτή την εργασία βασίζεται σε δεδομένα που μπορούν εύκολα να ανευρεθούν και διακρίνονται σε αυτά που σχετίζονται με τη γεωμορφολογία τους εδάφους, σε υδρολογικά αλλά και σε χαρακτηριστικά κτιρίων. Μέσα από τη διαδικασία της στατιστικής ανάλυσης προσδιορίζονται οι παράγοντες που επιδρούν στην εκδήλωση πλημμύρας σε μια αστική περιοχή καθώς και ο βαθμός επιρροής τους. Η μέθοδος αυτή δύναται να αποτελέσει μια βάση ανάλυσης δεδομένων που σχετίζονται με την εμφάνιση πλημμύρας σε αστικό περιβάλλον.

5.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη η εφαρμογή της μεθόδου που ακολουθήθηκε σε αυτή την εργασία, σε άλλες ερευνητικές εργασίες, οι οποίες θα αποσκοπούν στη διερεύνηση παραγόντων πρόκλησης πλημμύρας. Σε αυτό το πλαίσιο θα μπορούσαν να προστεθούν και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την πλημμυρογένεση, όπως για παράδειγμα η καταγεγραμμένη ύπαρξη υδρογραφικού δικτύου (φυσικά ρέματα, τεχνητοί αγωγού ομβρίων) στις περιοχές μελέτης. Επίσης θα μπορούσε να ενσωματωθεί στο στατιστικό μοντέλο η διερεύνηση ενός δείκτη που θα μετασχημάτιζε την κατανομή της βροχόπτωσης σε απορροή, ώστε να αποτυπώνεται ουσιαστικά στην επιφάνεια ο αντίκτυπος του επεισοδίου βροχής. Θα μπορούσε ακόμη να διερευνηθεί η επίδραση του προβλήματος μεταβαλλόμενης χωρικής μονάδας – Modifiable Area Unit Problem (MAUP), που συμβαίνει επειδή τα χωρικά στατιστικά αθροιστικών δεδομένων (όπως αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία), διαφέρουν από τα χωρικά στατιστικά των επιμέρους (ατομικών) τιμών τους. Επιπλέον, όσον αφορά τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, θα μπορούσε επιπρόσθετα με το πρόγραμμα SPSS να πραγματοποιηθεί χωρική στατιστική ανάλυση μέσω του προγράμματος ArcGISPro, με τη βοήθεια του εργαλείου Generalized Linear Regression, το οποίο παρέχει και την επιλογή Binary Logistic Regression. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θα είχε επίσης η εφαρμογή της μεθόδου σε μη αστικές περιοχές ή ακόμα σε περιοχές που έχουν πληγεί από πυρκαγιές, προκειμένου να αξιολογηθούν και συγκριτικά τα μοντέλα που προκύπτουν σε περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Ακόμα, θα μπορούσε να εφαρμοστεί η ακολουθούμενη μέθοδος σε επεισόδια πλημμύρας που έχουν πλήξει διαχρονικά την ίδια περιοχή, κάτι που θα συμβάλει στην αξιολόγηση των πλέον καθοριστικών παραγόντων που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τα προτεινόμενα μοντέλα. Τέλος, θα ήταν ωφέλιμη μια εκτενέστερη ανάλυση κυρίως αναφορικά με παράγοντες που σχετίζονται με κατασκευές, ώστε τα τρωτά στοιχεία αυτών να αντιμετωπίζονται με τις κατάλληλες δράσεις, στο βαθμό που είναι εφικτό, και τελικά να περιορίζονται οι συνέπειες των μελλοντικών πλημμυρών στην περιοχή μελέτης.

Αναφορές

- Bracken, L.J., Cox, N.J. and Shannon, J., 2008. The relationship between rainfall inputs and flood generation in south–east Spain. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(5), pp.683-696.
- Cannon, S.H., Gartner, J.E., Wilson, R.C., Bowers, J.C. and Laber, J.L., 2008. Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in southwestern Colorado and southern California. *Geomorphology*, 96(3-4), pp.250-269.
- 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.
- 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., Priskos, G. and Skordoulis, M., 2018. Public perception of flood risk in flash flood prone areas of Eastern Mediterranean: The case of Attica Region in Greece. *International journal of disaster risk reduction*, 28, pp.404-413.
- 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).

- Feloni E. (2021). Flood occurrence in urbanized areas: Spatial analysis of controlling factors. 3rd Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration, 10-13 June 2021, Sousse, Tunisia.
- Feloni E., Anayiotos A. and Baltas E. (2021). Evaluation of urban flood characteristics through the spatial analysis of flood-related factors and flood incidents recorded in the western side of Athens basin on October 24, 2014. 17th International Conference on Environmental Science and Technology, 1-4 September 2021, Athens, Greece.
- Fowler, A.M. and Hennessy, K.J., 1995. Potential impacts of global warming on the frequency and magnitude of heavy precipitation. *Natural Hazards*, 11(3), pp.283-303.
- Kohler, M.A. and Linsley, R.K., 1951. *Predicting the runoff from storm rainfall* (Vol. 30). US Department of Commerce, Weather Bureau.
- 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.
- Lee, M.J., Kang, J.E. and Jeon, S., 2012, July. Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. In *2012 IEEE international geoscience and remote sensing symposium* (pp. 895-898). IEEE.
- Naumann, T., Nikolowski, J., Golz, S., Schinke, R., resilience and resistance of buildings and built structures to flood impacts – approaches to analysis and evaluation, in: B. Müller (Ed.), *German Annual of Spatial Research and Policy*, Springer, Berlin Heidelberg, 2010, pp.89–100.
- Pradhan, B., Oh, H.J. and Buchroithner, M., 2010. Weights-of-evidence model applied to landslide susceptibility mapping in a tropical hilly area. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 1(3), pp.199-223.

- Samuels, P., Gouldby, B., Klijn, F., Messner, F., VanOs, A., Sayers, P., Schanze, J., Udale-Clarke, H., Language of Risk – Project Definitions, 2nd edition, 2011, Διαθέσιμο στο: (http://www.floodsite.net/html/partner_area/search_results3b.asp?docID%4747). (Τελευταία προσπέλαση: 20 Σεπτεμβρίου 2021).
- SCS (1972) National Engineering Handbook, Section 4 Hydrology, Soil Conservation Service Washington US
- Tehrany, M.S., Pradhan, B. and Jebur, M.N., 2013. Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *Journal of Hydrology*, 504, pp.69-79.
- 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).
- Κουτσογιάννης Δ, 2005. *Σχετικά με την επιλογή μεθόδου επιφανειακής ολοκλήρωσης της σημειακής βροχόπτωσης στα νησιά του Αιγαίου*, Τεχνικό Υπόμνημα
- Μπούτσικας, Μ., 2010. «Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση (Multiple Linear Regression)», Ενότητα 6 μαθήματος: Στατιστικά Προγράμματα, 7ο εξάμηνο, Τμήμα Στατιστικής και Ασφ. Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, http://www.unipi.gr/faculty/mbouts/statprog/SPSS_lesson11.pdf
- Πετρίδης, 2015, Κεφάλαιο 3: Λογιστική Παλινδρόμηση, Διαθέσιμο στο: (https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/2128/1/04_chapter03.pdf). (Τελευταία προσπέλαση: 20 Σεπτεμβρίου 2021).
- Τσούλος, Λ., Σκοπελίτη, Α. και Στάμου, Λ., 2015. Υδρολογική ανάλυση με βάση το ΨΜΕ.

Ιστοσελίδες

2021, https://floods.ypeka.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=240&Itemid=514 [Τελευταία προσπέλαση 11 Οκτωβρίου 2021].

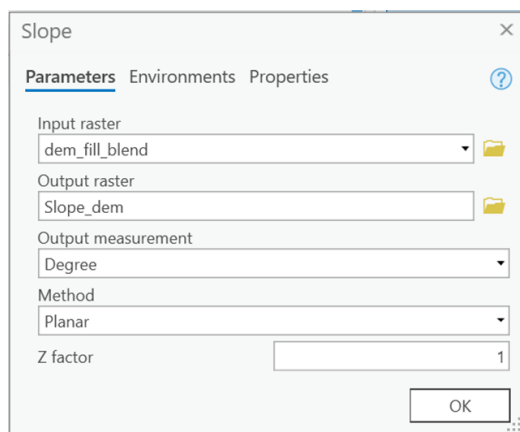
2021. <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/status-maps/imperviousness-density-2018>
[Τελευταία προσπέλαση 11 Οκτωβρίου 2021].

2021. <http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE> [Τελευταία προσπέλαση 11 Οκτωβρίου 2021].

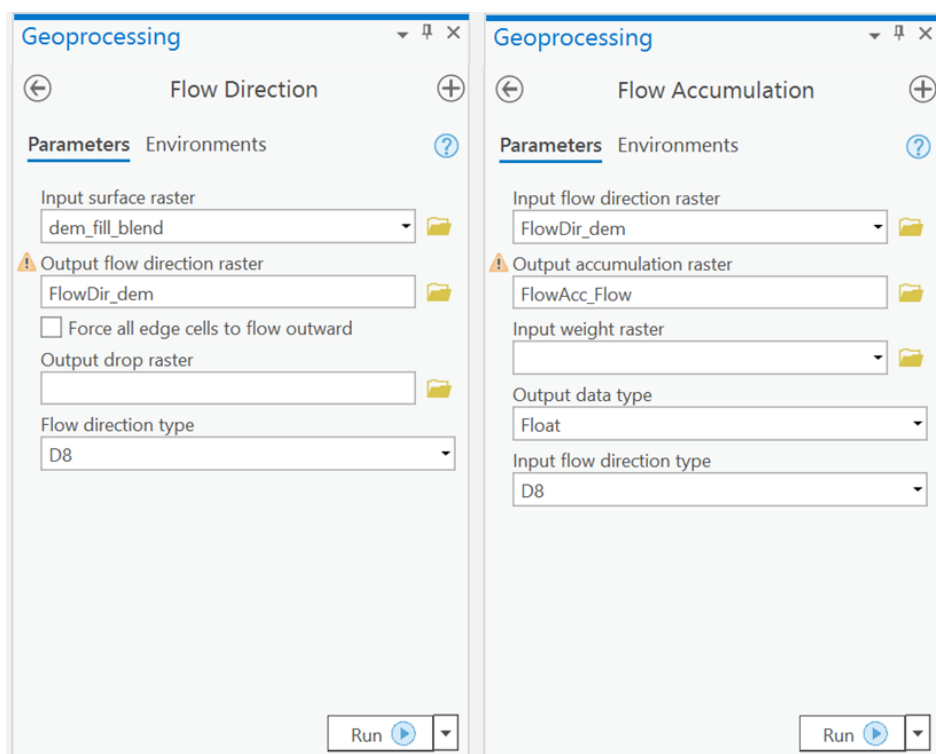
2021. <https://www.emdat.be/> [Τελευταία προσπέλαση 11 Οκτωβρίου 2021].

Παράρτημα

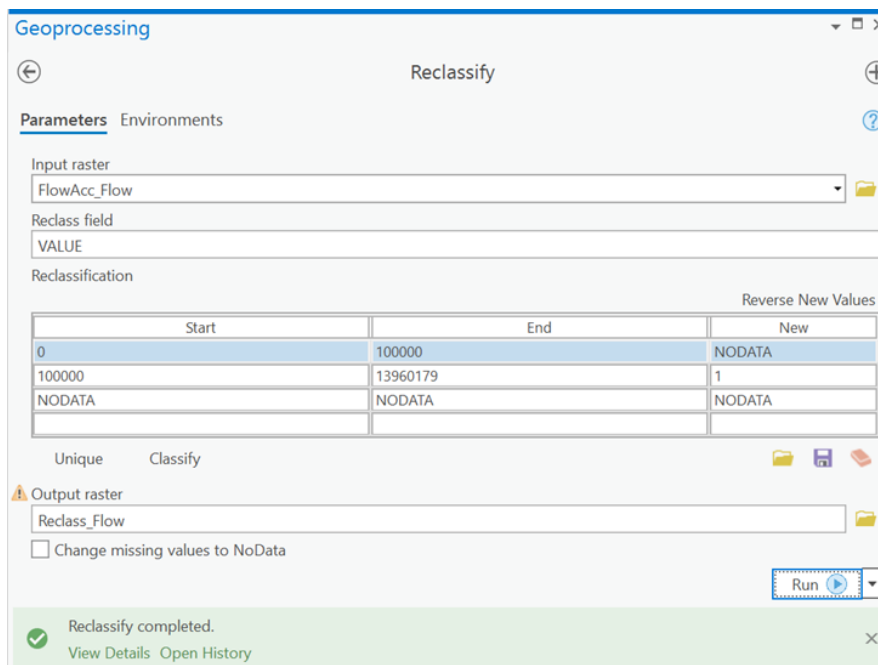
- Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Slope:



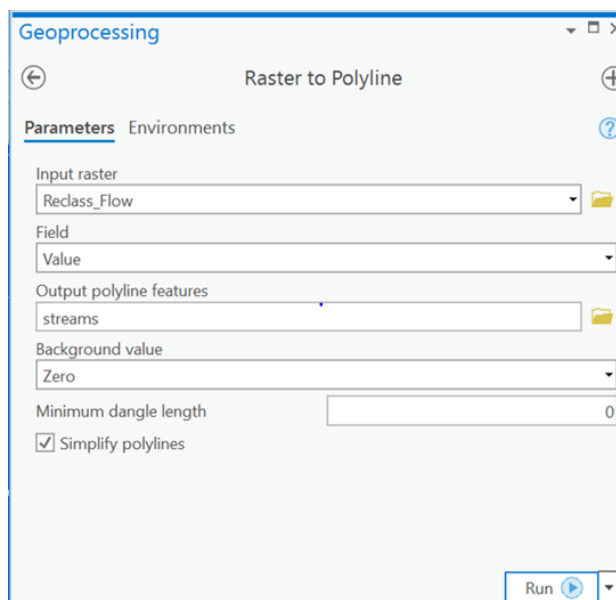
- α) Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Flow Direction, (β) Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Flow Accumulation:



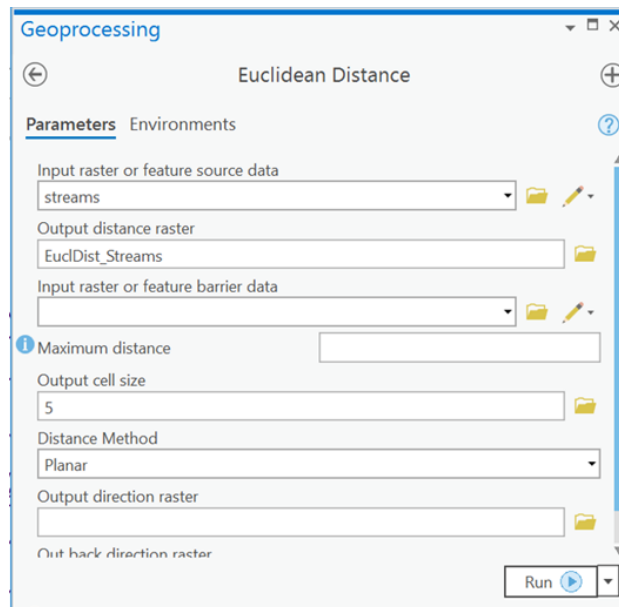
- Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Reclassify:



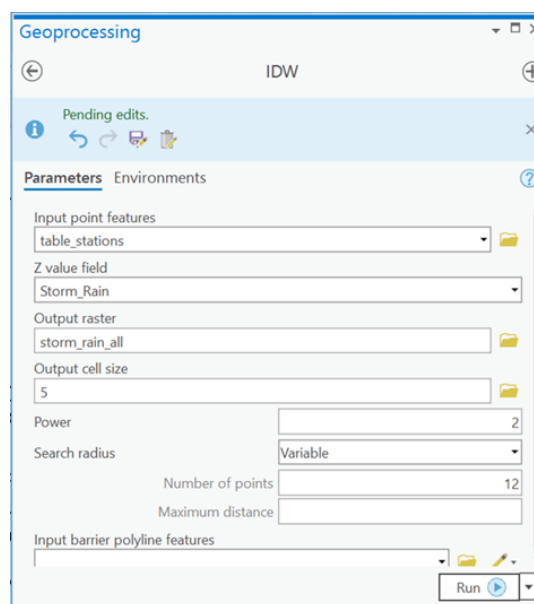
- Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Reclassify:



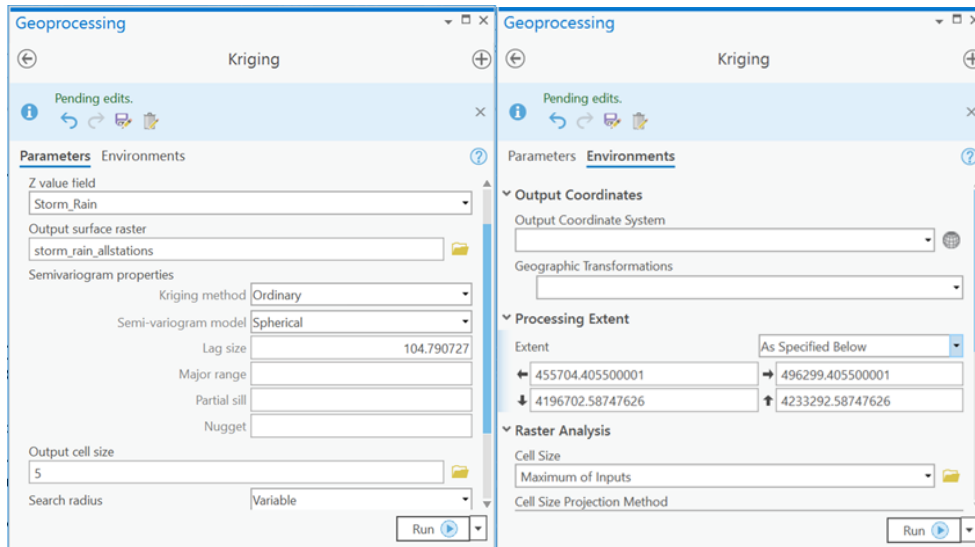
- Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Euclidean Distance:



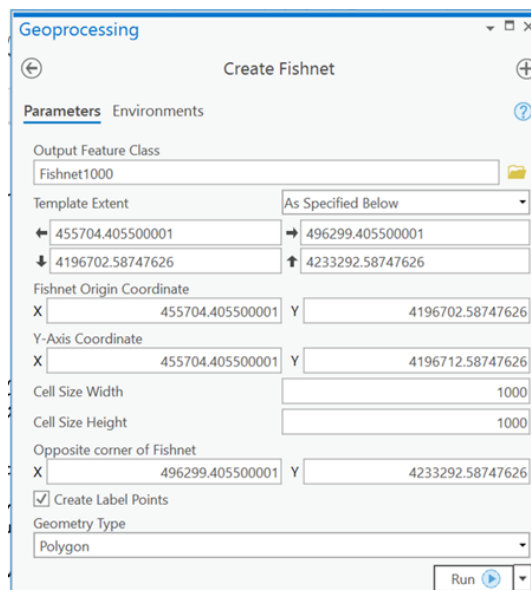
- Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής IDW:



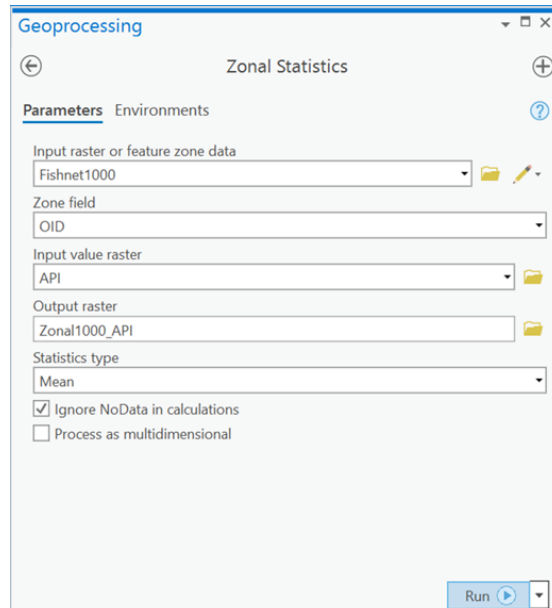
- Αποσπάσματα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Kriging:



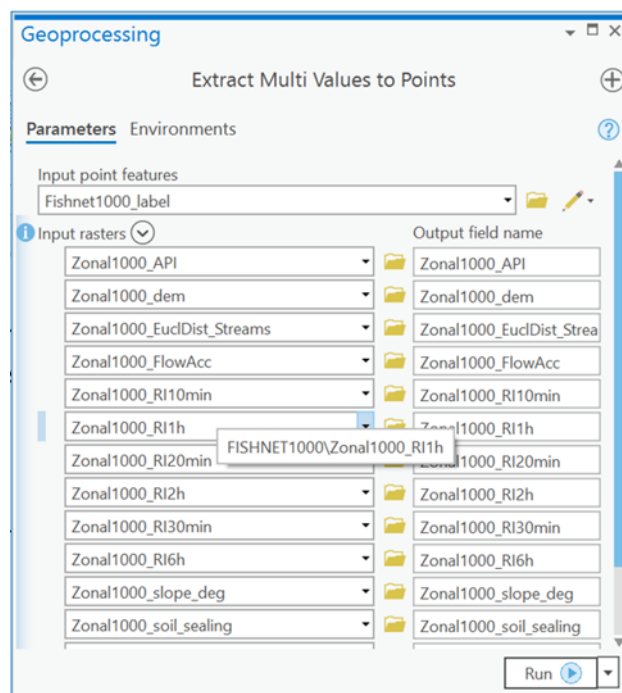
- Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Create Fishnet:



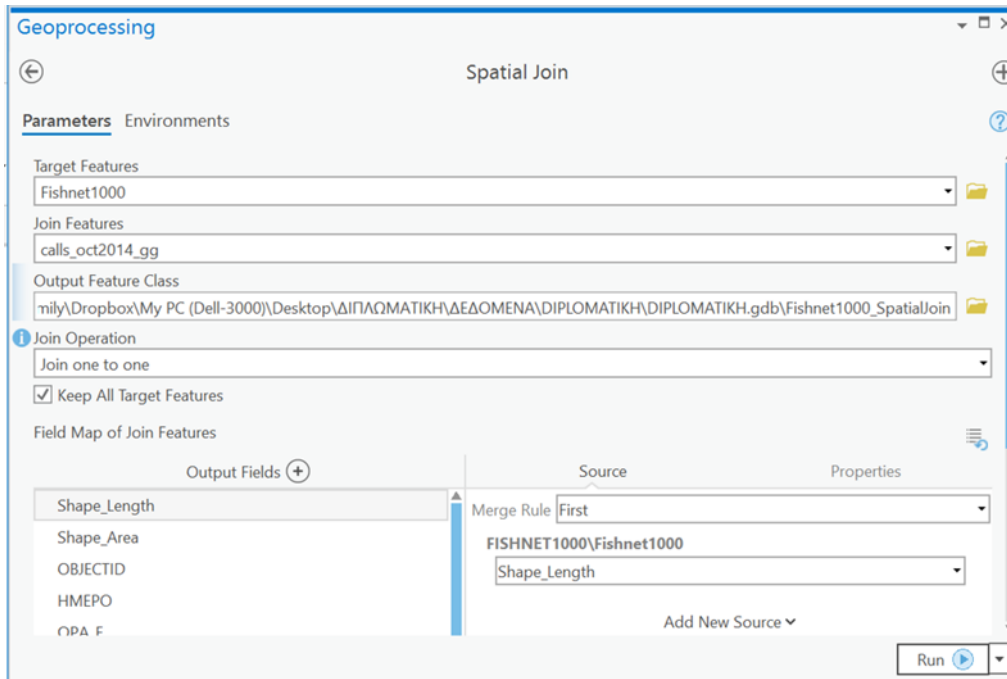
- Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Zonal Statistics:



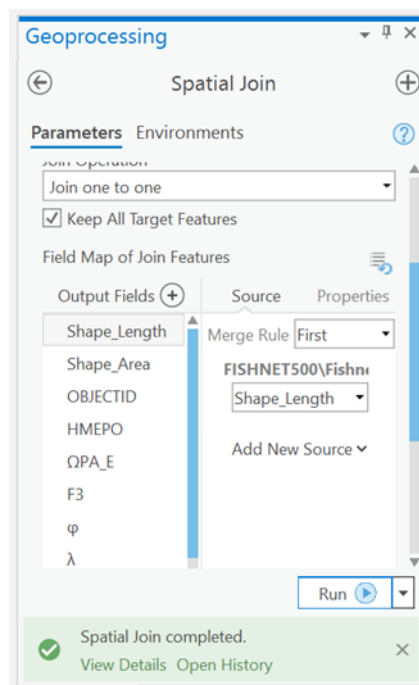
- Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Zonal Statistics:



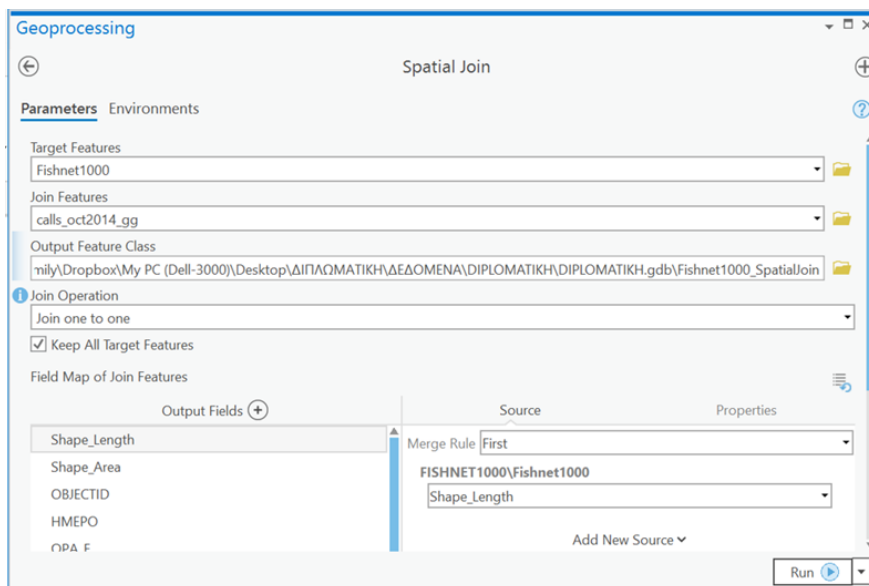
- Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Spatial Join:



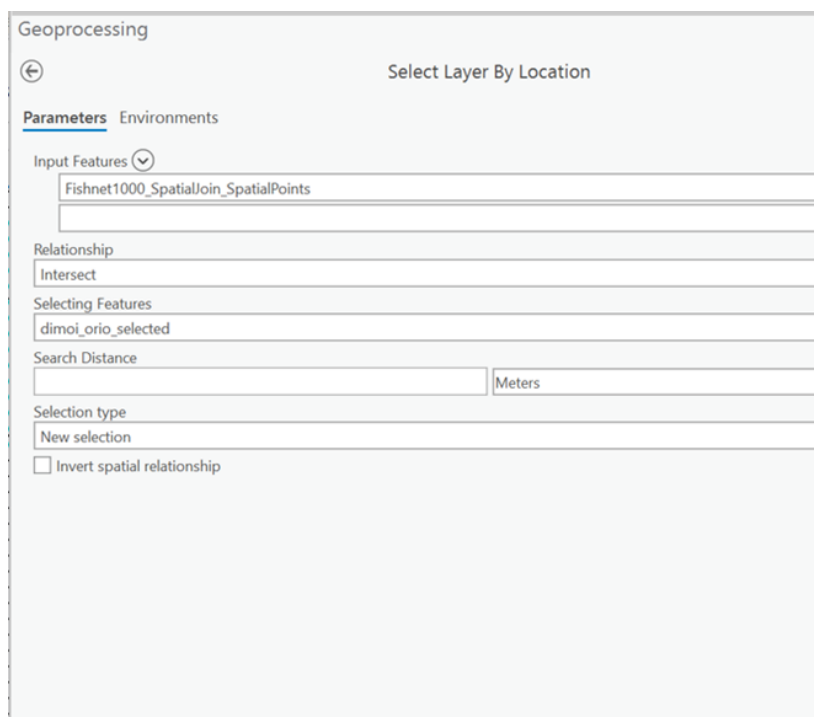
- Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Spatial Join:



- Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Spatial Join:



- Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Select by Location:



- Απόσπασμα οθόνης λειτουργίας του προγράμματος ArcGISPro της εντολής Table To Excel:

