



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η Τρωτότητα των κτηρίων της αστικής περιοχής της Μάνδρας, Αττικής, όπως
αυτή μεταβλήθηκε μετά την καταστροφική πλημμύρα της
15-11-2017**

Κοκκινιώτου Αρετή

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2022



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Η Τρωτότητα των κτηρίων της αστικής περιοχής της Μάνδρας, Αττικής, όπως
αυτή μεταβλήθηκε μετά την καταστροφική πλημμύρα της
15-11-2017**

Κοκκινιώτου Αρετή

Επιβλέπων Καθηγητής: Αναπλ. Καθηγητής Εμμανουήλ Βασιλάκης

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2022

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο συγκεκριμένο σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Συγκεκριμένα, τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Εμμανουήλ Βασιλάκη για όλη την βοήθεια που μου παρείχε, την άριστη συνεργασία και την καθοδήγηση καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας καθώς και τον Δρ Μιχαήλ Διακάκη για τις πολύτιμες συμβουλές και την καθοδήγηση όπου και όποτε αυτή χρειάστηκε.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συμφοιτητή και φίλο μου Γιάννη Τσιμπίδη για την πολύτιμη βοήθειά του και τις συμβουλές του καθώς και την φίλη μου Φιλίνα Χατζηγεωργαλλή για την βοήθεια και την παρέα της στις εργασίες υπαίθρου. Τέλος, είναι απαραίτητες οι ευχαριστίες στους φίλους μου και στην οικογένειά μου, για την στήριξη και την εμπιστοσύνη που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος. Σκοπός της είναι η μελέτη της τρωτότητας των κτηρίων της αστικής περιοχής της Μάνδρας, Αττικής, όπως αυτή μεταβλήθηκε μετά την καταστροφική πλημμύρα της 15-11-2017. Παρόλο που έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι για την πρόβλεψη της τρωτότητας των αστικών περιοχών στις πλημμύρες, υπάρχει ακόμη περιθώριο βελτίωσης στον προσδιορισμό της ευαισθησίας των μεμονωμένων κτιρίων. Αυτή η εργασία στοχεύει να προσδιορίσει τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την πιθανότητα ενός κτιρίου να υποστεί πλημμύρες και να αξιολογήσει την επιρροή τους. Η μελέτη χρησιμοποιεί το Google Street View για να εξετάσει 131 κτίρια που είναι γνωστό ότι πλημμύρισαν μετά από εκδήλωση ακραίων βροχοπτώσεων το 2017 στην Μάνδρα, Αττικής (συγκεκριμένα σε αυτά που εκτείνονται στην οδό Βαγγέλη Κοροπούλη) και για να τα συγκρίνει με χαρακτηριστικά κτιρίων που δεν είχαν πλημμυρίσει.

ABSTRACT

The present work was carried out as part of the graduation thesis of the undergraduate study program of the Department of Geology and Geoenvironment. Its purpose is to study the vulnerability of buildings in the urban area of Mandra, Attica, as it changed after the catastrophic flood of 15-11-2017. Even if many methods have been developed for the prediction of the vulnerability of buildings in urban areas, they can still be improved in respect to the sensitivity of each individual building. Also, this study aims to determine the characteristics of a building which make the possibility of flood higher. The study uses Google Street View to look at 131 buildings known to have flooded after heavy rains in 2017 in Mandra, Attica (specifically those on Vangeli Koropouli Street) and to compare them with features of buildings that did not have been flooded.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	8
1.1. Ξαφνική Πλημμυρα (Flash Flood).....	8
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	10
2.1. Πλημμυρική τρωτότητα κτιρίων	10
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	12
3.1. Γεωγραφία.....	12
3.2. Κλίμα.....	12
3.3. Γεωλογία.....	13
3.4. Ιστορικό πλημμυρών	14
4. Η ΠΛΗΜΜΥΡΑ ΤΗΣ 15 ^{ΗΣ} ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2017	15
4.1. Μετεωρολογικές συνθήκες.....	15
4.2. Η πλημμύρα στα ορεινά.....	15
4.3. Η πλημμύρα στη Δυτική Αττική.....	17
5. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	21
5.1. Κτίρια οδού Κοροπούλη	21
5.2. Μέθοδοι	22
5.2.1. Google Street View (GSV)	22
5.2.2. ArcGIS	22
5.3. Ανάλυση Μεθόδου.....	23
5.4. Αβεβαιότητες και περιορισμοί.....	33
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	36
6.1. Στατιστική επεξεργασία	36
6.2. Επιπτώσεις πλημμύρας και κτήρια που υπέστησαν ζημιές.....	42
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	47
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	48
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	54

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πλημμύρες είναι ένας από τους πιο καταστροφικούς φυσικούς κινδύνους που προκαλούν εκτεταμένες ζημιές σε ετήσια βάση και αποτελούν σημαντική απειλή για την ανθρώπινη ζωή. Σε αστικά περιβάλλοντα, οι πλημμύρες είναι συνήθως πιο καταστροφικές αφού η υψηλότερη συγκέντρωση ακίνητης περιουσίας και πληθυσμού τις καθιστά πιο δαπανηρές και δύσκολες στη διαχείριση. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα του αστικού περιβάλλοντος και των υποδομών (π.χ. τα περίπλοκα συστήματα αποχέτευσης προκαλούν συχνές αλλαγές στη μορφολογία) παρεμποδίζουν την πρόβλεψη τοποθεσιών που θα υποστούν πλημμύρα και το βαθμό στον οποίο η έντονη βροχόπτωση θα επηρεάσει τις δομημένες κατασκευές. Ειδικά, λόγω της κλιματικής αλλαγής, αυτό το πρόβλημα γίνεται πιο σημαντικό, καθώς αναμένεται η συχνότητα των ακραίων βροχοπτώσεων να αυξηθεί (Diakakis et al, 2017).

Αξίζει να αναφερθούμε στο γεγονός ότι η Δυτική Ελλάδα χαρακτηρίζεται ως υψηλού πλημμυρικού κινδύνου. Η απουσία της συχνής καταγραφής των πλημμυρών στην περιοχή μελέτης οφείλεται στην πολύ μεγάλη ανθρώπινη παρέμβαση στο υδρογραφικό δίκτυο.

Στον νομό Αττικής έχουν σημειωθεί τα πιο πολλά περιστατικά. Σημαντικές καταστροφές έχουν γίνει στον αστικό ιστό του λεκανοπεδίου, στον Μαραθώνα, στην Μάνδρα και στην Ελευσίνα. Το χαρακτηριστικό των ανωτέρω καταγραφών είναι η ξαφνική εκδήλωση του πλημμυρικού φαινομένου ύστερα από μια σφοδρή αλλά μικρής διάρκειας βροχόπτωση (Evelpidou, 2009).

Το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας είναι η πλημμύρα που εκδηλώθηκε τον Νοέμβριο του 2017 στην Μάνδρα και η τρωτότητα των κτηρίων στην οδό Βαγγέλη Κοροπούλη που αποτέλεσε και την κύρια δίοδο των φερτών υλικών.

Οι προσπάθειες για την αύξηση της ανθεκτικότητας, απαιτούν αναγνώριση των στοιχείων του δομημένου περιβάλλοντος με μεγαλύτερη ευαισθησία στις πλημμύρες (ή τάση να υποστούν βλάβες). Η βιβλιογραφία δείχνει ότι διακριτά δομικά στοιχεία των κτιρίων μπορεί να είναι κρίσιμα για την ευαισθησία τους στις πλημμύρες (Stephenson D. , 2014), συμπεριλαμβανομένων το σχεδιασμό και τα υλικά κατασκευής.

Προηγούμενες εργασίες προτείνουν μια σειρά διαφορετικών χαρακτηριστικών των κτιρίων που σχετίζονται με την τάση τους να πληγούν από ένα φαινόμενο πλημμύρας. Μερικά από αυτά είναι:

- το δομικό υλικό, (Stephenson D. , 2013)
- τη θέση του κτιρίου σε σχέση με το επίπεδο του εδάφους,
- η γειτνίαση με άλλα κτίρια,

- η επιμήκυνση, ο προσανατολισμός προς τη ροή και άλλα γεωμετρικές ιδιότητες, (Blanco-Vogt, 2014)
- ο αριθμός των ορόφων, (Stephenson D. , 2013)
- παράθυρα κάτω από το επίπεδο του εδάφους,
- οι συνθήκες εδάφους,
- υπόγεια,
- την κατάσταση ή την κατάσταση επισκευής,
- την ηλικία των κτιρίων, (Fedeski J. G., 2007)
- την παρουσία τούβλων, αεραγωγών και αγωγών.

Αν και οι προηγούμενες εργασίες περιγράφουν την ευαισθησία των κτιρίων ως κρίσιμη, με βάση τα χαρακτηριστικά τους, η έλλειψη δεδομένων μπορεί να εμποδίσει την εφαρμογή των μοντέλων τρωτότητας (Blanco-Vogt, 2014). Πρόσφατες εφαρμογές διαδικτυακής εικονικής πραγματικότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο παρακολούθησης, οπτικοποίησης, χαρτογράφησης και έρευνας αστικών περιβαλλόντων (Doyle, 1998). Μεταξύ αυτών των εφαρμογών, το Google Street View (εφεξής GSV) είναι μια διαδικτυακή δωρεάν εφαρμογή (maps.google.com) η οποία αποθηκεύει εικόνες που τραβήχτηκαν από αυτοκίνητα κινούμενα κατά μήκος του οδικού δικτύου (Anguelon, 2010). Οι εικόνες παρέχουν προβολές σε επίπεδο δρόμου που καταγράφηκαν σε συγκεκριμένες τοποθεσίες έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να πλοηγηθεί κατά μήκος ενός δρόμου και να περιστρέψει ή να κάνει μεγέθυνση και σμίκρυνση στην επιθυμητή εικόνα. Το GSV εισήχθη σε περιορισμένες πόλεις του κόσμου το 2007 και έκτοτε έχει επεκταθεί σε μεγάλο μέρος των παγκόσμιων οδικών δικτύων.

Ανεξάρτητα από τη σχετικά πρόσφατη κυκλοφορία του, το GSV έχει χρησιμοποιηθεί για ένα πλήθος εφαρμογών, κυρίως ως εναλλακτική πηγή συλλογής δεδομένων. Το GSV έχει αποδειχθεί ότι είναι ικανό εργαλείο για εικονική επιθεώρηση αστικών περιβαλλόντων για διάφορους σκοπούς. Οι Carrasco-Hernandez et al. (Carrasco-Hernandez, 2015) χρησιμοποίησαν εικόνες από το GSV για την ανακατασκευή κτιρίων και γεωμετρικών γειτονιών, καθώς και για την εκτίμηση της έντασης της ακτινοβολίας στο επίπεδο του δρόμου. Οι Hanson et al. χρησιμοποίησαν το GSV για τον έλεγχο των χαρακτηριστικών των πεζών και των οδικών υποδομών και για την ανάλυση της σοβαρότητας των ατυχημάτων των πεζών. Οι Curtis et al. (Curtis, 2010) χρησιμοποίησαν το GSV για να καταγράψουν την ανάκαμψη των γειτονιών της Νέας Ορλεάνης μετά τον τυφώνα Κατρίνα, ενώ ο Guo το εκμεταλλεύτηκε για να εντοπίσει διαφορετικούς τύπους στάθμευσης στην περιοχή της Νέας Υόρκης. Οι Odgers et al. (Odgers, 2012) χρησιμοποίησαν εικόνες από το GSV για συστηματικές κοινωνικές παρατηρήσεις σε γειτονίες και τις συνέδεσε με επιπτώσεις στην υγεία των παιδιών. Πρόσφατα, τα αυτοκίνητα του GSV έχουν χρησιμοποιήσει επιπλέον αισθητήρες για να εξετάσουν την ποιότητα του αέρα και να εντοπίσουν πιθανές διαρροές μεθανίου (Rutkin, 2014).

1. ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

Οι πλημμύρες θεωρούνται μέρος των φυσικών υδρολογικών διεργασιών που συμβαίνουν σε μια υδρολογική λεκάνη, κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου, κατά την οποία το κύριο ρεύμα (ή ένας τεχνητός σωλήνας) που το αποστραγγίζει σε αυτήν την περιοχή αδυνατεί να διαχειριστεί τη μάζα νερού που ρέει στην επιφάνεια. Προκαλείται υπερχείλιση των τμημάτων της γης ή της ακτής που συνήθως δεν καλύπτονται από νερό. Η εμφάνιση και ο σχηματισμός πλημμυρών εξαρτώνται από μια μεγάλη ποικιλία παραγόντων, είτε είναι φυσικοί είτε ανθρωπογενείς.

Οι κύριοι φυσικοί παράγοντες είναι (Stefanidis, 2003):

1. Χρήση γης (η βλάστηση λειτουργεί ως προστατευτικός μανδύας και μπορεί να ρυθμίσει τη διαδικασία απορροής)
2. Γεωλογικό υπέδαφος και πετρογραφικοί σχηματισμοί (από άποψη διαβρωσιμότητας και διαπερατότητας)
3. Μέση κλίση της λεκάνης απορροής και κλίση της κοίτης του κύριου ρέματος (οι κλίσεις μπορεί να επιδεινώσουν ή να μειώσουν την ταχύτητα του νερού απορροής)
4. Η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου (επηρεάζει τη συγκέντρωση της απορροής)
5. Το σχήμα των λεκανών απορροής (επηρεάζει τον χρόνο συγκέντρωσης της απορροής και τη μορφή του υδρογραφήματος). Οι στρογγυλές λεκάνες απορροής συγκεντρώνουν το νερό πιο γρήγορα από τις επιμήκεις λεκάνες απορροής, οδηγώντας στο σχηματισμό υψηλότερων εκροών νερού.

Αναφορικά με τους ανθρωπογενείς παράγοντες διακρίνουμε τις καταπατήσεις που περιλαμβάνουν στένωση κοιτών σε πεδινές περιοχές. Η στένωση προκαλείται από την όχθη των κοιτών, μέσω της επέκτασης της παραποτάμιας γης, της κάλυψης ρεμάτων, της κατασκευής κτιρίων στην κοίτη του καναλιού και από τεχνικές εργασίες όπως γέφυρες και αγωγούς.

1.1. Ξαφνική Πλημμυρα (Flash Flood)

Με βάση πρόσφατες μελέτες για την κλιματική αλλαγή, καταγράφονται ολοένα και περισσότερα γεγονότα ξαφνικών πλημμυρών στην Ευρώπη, οδηγώντας σε περαιτέρω ανάλυσή τους. Οι ξαφνικές πλημμύρες είναι μια κατηγορία πλημμυρών που προκαλούνται από ακραίες τοπικές βροχοπτώσεις και είναι επίσης πιθανό να συνοδεύονται από καταιγίδες. Είναι ένα φαινόμενο ολοένα και πιο συχνό όταν η βροχόπτωση υπερβαίνει τις τιμές των καταιγίδων σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται για το γνωστό σύστημα αποχέτευσης της περιοχής. Αυτά τα γεγονότα μπορεί να προκαλέσουν υπερχείλιση της οικιακής αποχέτευσης, των συστημάτων όμβριων υδάτων, των συστημάτων αποχέτευσης και των μικρών αστικών ποταμών, καθώς και να προκαλέσουν πλημμύρες σε αστικές περιοχές (Einfalt, 2009).

Ένα άλλο είδος πλημμύρας είναι οι αστικές πλημμύρες, οι οποίες αντιστοιχούν στις πλημμύρες που προκαλούνται από την υπερχείλιση του αποχετευτικού συστήματος (είτε φυσικού είτε τεχνητού) σε αστικές περιοχές. Η πλειονότητα των αστικών πλημμυρών οφείλεται στη δημιουργία του στο υψηλό ποσοστό αδιαπέραστων επιφανειών (αστικοί δρόμοι αντί για χώμα), το οποίο όχι μόνο αποτρέπει τη διείσδυση των βροχοπτώσεων, αλλά και αυξάνει την ποσότητα της απορροής. Συμβάλλοντας σε αυτού του τύπου τις πλημμύρες, οι ανθρωπογενείς παράγοντες πλημμύρας (όπως αναλύθηκαν παραπάνω) διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη δημιουργία και τη διάρκειά τους, καθώς οι συνεχείς αλλαγές των αστικών περιοχών μπορούν να παραμορφώσουν πλήρως το σύστημα αποχέτευσης, προκαλώντας έτσι μεγαλύτερες πλημμυρικές επιπτώσεις στα κτίρια, ή ακόμα και απώλειες ανθρώπινων ζωών.

Όταν συνδυάζονται αυτοί οι δύο τύποι πλημμυρών, εξετάζουμε το φαινόμενο των αστικών πλημμυρών, που είναι πλημμυρικά γεγονότα, που προκαλούν ζημιές σε μικρές λεκάνες απορροής μικρότερες από 100 km² (σε ορισμένες περιπτώσεις μικρότερες και από 10 km²), που προκαλούνται από βροχοπτώσεις μικρής κλίμακας, με όγκους πολύ πάνω από τις αναμενόμενες βροχοπτώσεις για τις δεδομένες υδρολογικές κατασκευές. Λόγω της ελλιπούς γνώσης της κατανομής, της συχνότητας και των τυπικών ζημιών τέτοιων πλημμυρών, δεν υπάρχουν σχεδιασμένες προβλέψεις ή συστήματα προειδοποίησης, ούτε προληπτικά μέτρα ή έλεγχος καταστροφών (Einfalt, 2009)

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Αυτή η εργασία χρησιμοποιεί το Google Street View για να εξετάσει τα χαρακτηριστικά των κτιρίων που αντιμετώπισαν πλημμύρες κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης της το 2017 στην Μάνδρα. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν το Google Earth, το G.I.S. και έγιναν και in situ παρατηρήσεις.

Με τη βοήθεια των εικόνων του Google Earth αποτυπώθηκαν στο G.I.S. όλα τα κτίρια που βρίσκονται επί της οδού Κοροπούλη.

Η μελέτη αυτή συμβάλει στην ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας για κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των κτιρίων που επηρεάζουν την τρωτότητά τους στις πλημμύρες και στοχεύει στο να προσδιοριστεί ποια από αυτά τα εξωτερικά χαρακτηριστικά των κτιρίων επηρεάζουν την πιθανότητα τα κτίρια να υποστούν πλημμύρες.

2.1. Πλημμυρική τρωτότητα κτιρίων

Προκειμένου να προσδιοριστεί η έννοια της τρωτότητας από τις πλημμύρες, είναι ζωτικής σημασίας να αναλυθεί ο ορισμός της αντίστασης, της ανθεκτικότητας και της ευαισθησίας (Naumann, 2010):

1. Αντίσταση: Η ικανότητα αντοχής σε κρούση χωρίς σχετικές αλλαγές στην κατάσταση του συστήματος.
2. Ανθεκτικότητα: Η ικανότητα ανάκαμψης από μια καταστροφική επίδραση (π.χ. ανακατασκευή κτιρίων)
3. Ευαισθησία: Η τάση ενός συγκεκριμένου υποδοχέα να βιώνει βλάβη.

Ο συνδυασμός και των τριών παραγόντων ορίζει την ευπάθεια, που περιγράφεται ως η ποιότητα ή η κατάσταση της έκθεσης στην πιθανότητα επίθεσης ή βλάβης, είτε σωματικά είτε συναισθηματικά.

Η μελέτη διαφορετικών μεθόδων ανάλυσης της τρωτότητας των κτιρίων, συνήθως εκτιμάται μέσω μιας ευρείας ποικιλίας χαρακτηριστικών ή μέσω μηχανικών μεθόδων και τύπων, που περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά όπως η ταχύτητα και η πυκνότητα του μίγματος ροής των συντριμμιών, το σχήμα των κτιρίων και την κατανομή της πίεσης, στο εκτεθειμένο τμήμα των κτιρίων κατά τη διάρκεια ενός συμβάντος πλημμύρας (Mazzorana, 2014).

Εκτός από τη μηχανική προοπτική, άλλες, μη επεμβατικές μέθοδοι εκτίμησης τρωτότητας μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσω της ανάλυσης των μεθόδων κατασκευής κτιρίων, όπως υπόγεια, δάπεδα, τοίχοι, παράθυρα, πρόσοψη, μπαλκόνια και οροφή. Εάν είναι δυνατόν, μελετώνται όλο και περισσότεροι παράγοντες, όπως εγκαταστάσεις υγιεινής, ηλεκτρικές και φυσικού αερίου, ενώ μπορούν επίσης να συμπεριληφθούν αποθέματα ή έπιπλα (Blanco, 2012).

Επιπλέον, μια άλλη προσέγγιση για την ανάλυση της τρωτότητας των κτιρίων από τις πλημμύρες περιλαμβάνει:

1. Την συμπερίληψη περαιτέρω παραμέτρων και χαρακτηριστικών των κτιρίων όπως το ύψος, το μέγεθος, την επιμήκυνση (αναλογία μήκους/πλάτους), τη μορφή στέγης, την κλίση της στέγης και την γειτνίαση με άλλα κτίρια (Blanco-Vogt, 2014).
2. Τη θέση του κτιρίου ως προς το επίπεδο του εδάφους (Muller, 2011)
3. Την επιμήκυνση, τον προσανατολισμό στη ροή και άλλες γεωμετρικές ιδιότητες. (Blanco-Vogt, 2014)
4. Τον αριθμό των ορόφων (Stephenson D. , 2013)
5. Τα παράθυρα κάτω από το επίπεδο του εδάφους, τις συνθήκες του εδάφους, τα υπόγεια, την κατάσταση και την ηλικία των κτιρίων (Fedeski M. G., 2007)
6. Την παρουσία αεροτούβλων, αεραγωγών και αγωγών (Hawkesbury-Nepean, 2006)

Τέλος, ορισμένες μελέτες προτείνουν την κατηγοριοποίηση των κτιρίων σε κάθε περιοχή μελέτης σε τάξεις τρωτότητας, λαμβάνοντας υπόψη τις υποδομές, τη στέγαση, το οδικό δίκτυο, τις δημόσιες εγκαταστάσεις και τις κρίσιμες υπηρεσίες της περιοχής μελέτης. Αυτή η ταξινόμηση είναι παρόμοια με τον χαρακτηρισμό των κτιρίων με βάση τη χρήση γης και τον κίνδυνο που εγκυμονεί κάθε κτίριο για ανθρώπινες ζωές, όταν εκτίθεται σε πλημμυρικά φαινόμενα. Ένα παράδειγμα αυτής της μεθόδου παρουσιάζεται από τον Διακάκη Μ. (2011), όπου τα κτίρια της περιοχής μελέτης χωρίζονται σε τέσσερις τάξεις τρωτότητας, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, δημιουργώντας μια χρήσιμη προοπτική για την ανάλυση τρωτότητας.

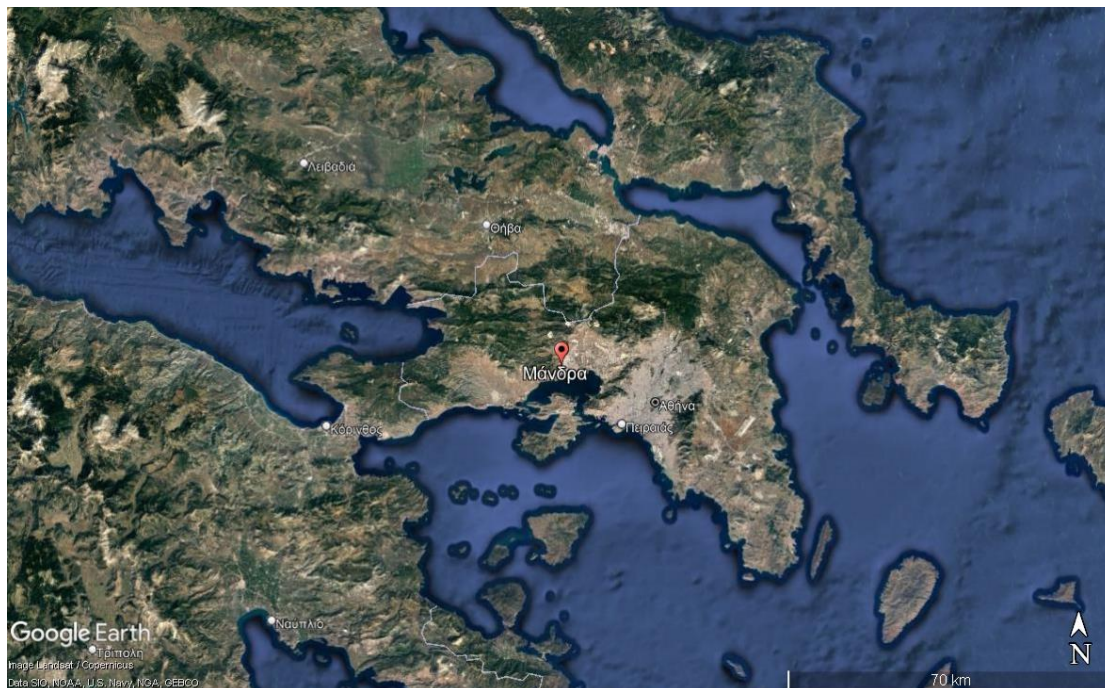
Κατηγορία ευπάθειας	Στοιχεία που διανέμονται σε κάθε τάξη
Πολύ υψηλός	Δημαρχεία, Σταθμοί Αστυνομίας & Πυροσβεστικής, Νοσοκομεία/Κλινικές, Σχολεία
Υψηλός	Εκκλησίες, Δημόσιες Υπηρεσίες, Υπουργεία
Μέτριος	Σπίτια, Εκθεσιακά κέντρα, Θέατρα & Κινηματογράφοι, Κατασκηνώσεις, Τράπεζες
Χαμηλός	Πάρκα, Αθλητικές εγκαταστάσεις, Κοιμητήρια, Χώροι στάθμευσης

Πίνακας 1: Κατηγορίες κτιρίων με βάση την τρωτότητα των στοιχείων τους και την υποδομή σε κίνδυνο (Diakakis M. , 2011).

3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1. Γεωγραφία

Η Μάνδρα βρίσκεται στην Δυτική Αττική, δυτικά του Θριάσιου Πεδίου. Ανήκει στον δήμο Μάνδρας – Ειδυλλίας και είναι ανάμεσα στην Ελευσίνα και τα Μέγαρα, στους πρόποδες Όρους Πατέρας (Wikipedia, 2020) (Δήμος Μάνδρας-Ειδυλλίας, 2020).



Εικόνα 1: Γεωγραφική απεικόνιση της Μάνδρας (πηγή Google Earth)

Η περιοχή της Μάνδρας φιλοξενεί μια από τις πιο ανεπτυγμένες εγκαταστάσεις εφοδιαστικής (logistics) της Αττικής, το πιο μεγάλο λατομείο αδρανών υλικών της Νοτιοανατολικής Ευρώπης στην Κεραμιδέζα.

Η έκταση του δήμου είναι 426km² και το ανάγλυφο μπορεί να χαρακτηριστεί ως ημιορεινό εξαιτίας του Όρους Πατέρας με μέσο υψόμετρο 85 μέτρα και μέγιστο 1132 μέτρα.

3.2. Κλίμα

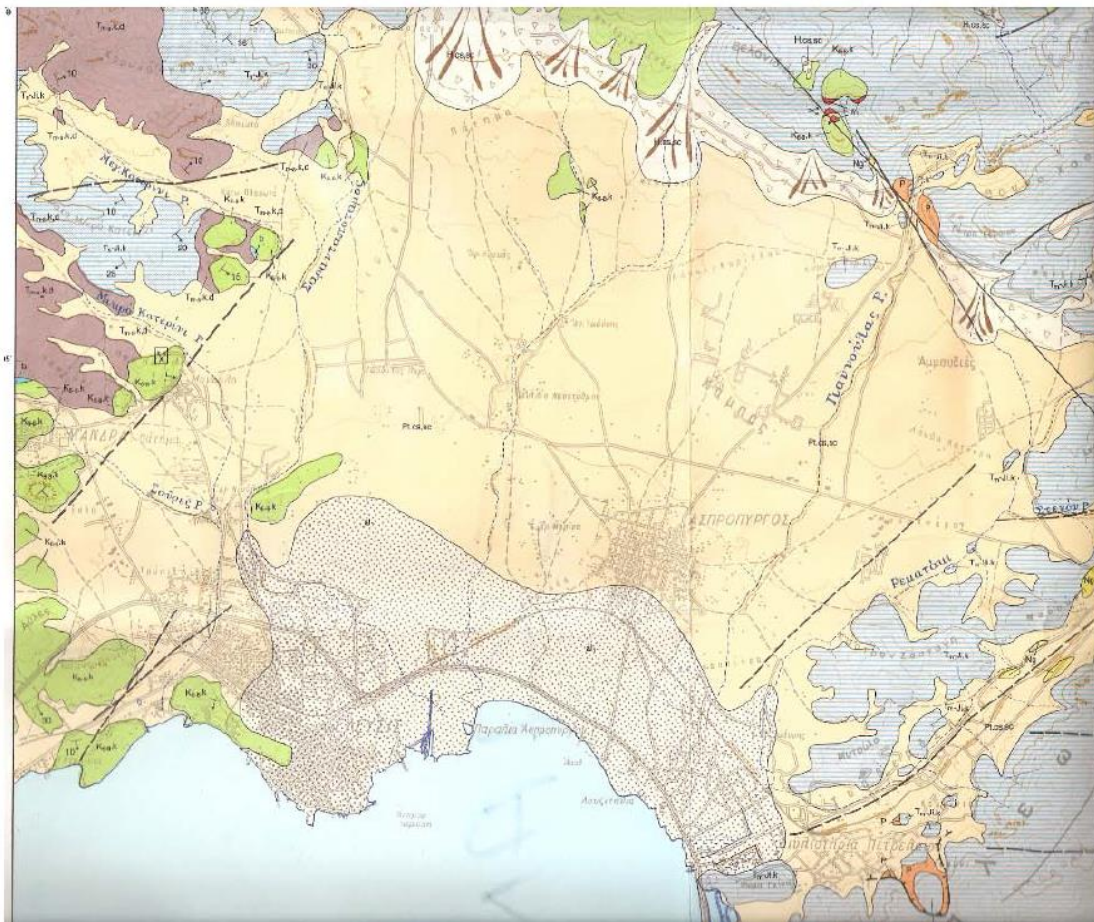
Γενικά το κλίμα της Αττικής θεωρείται εύκρατο και εντάσσεται στον μεσογειακό τύπο κλίματος. Συνηθισμένο φαινόμενο αποτελούν οι ηλιόλουστες μέρες, όχι μόνο το καλοκαίρι αλλά και τον χειμώνα (Αλκυονίδες μέρες). Φαινόμενα βροχής επικρατούν συνήθως από τον Οκτώβριο έως τον Απρίλιο χωρίς να ξεπερνούν τα 400-450mm το χρόνο (Meteo24news, 2021).

Η θερμοκρασία κινείται σε φυσιολογικά επίπεδα ανά εποχή με ακραίες τιμές τον Ιανουάριο και τον Αύγουστο. Οι ειδικοί υποστηρίζουν ότι μετά από τις καταστροφικές πυρκαγιές αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2 βαθμούς Κελσίου, αύξηση της ταχύτητας του ανέμου και ανακατανομή των βροχοπτώσεων.

3.3. Γεωλογία

Η γεωλογία της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από τρεις μεγάλες κατηγορίες πετρωμάτων. Αυτά είναι τα εξής: θαλάσσια ιζήματα ρηχής φάσης, φλύσχη και Νεογενή, μεταμορφωμένα πετρώματα ενδιάμεσης πίεσης και θερμοκρασίας και μη μεταμορφωμένα πετρώματα.

Εκτενέστερα, η Πάρνηθα αποτελείται από ανθρακικά ιζήματα Κρητιδικής ηλικίας (πάχους 300 μέτρων) που καλύπτουν τα ανθρακικά πετρώματα της περιόδου Ιουρασικού-Τριαδικού (περίπου 1 χιλιόμετρο πάχος). Τα κατώτερα ιζήματα είναι φυλλίτες και ψαμμίτες Τριαδικού (περίπου 400 μέτρα πάχος, φάση Haltstad), αργιλοψαμμίτες και αργιλικό σχιστόλιθοι (700 μέτρα πάχος) (Παπανικολάου, 2015).



Εικόνα 2: Γεωλογικός Χάρτης Θρακισίου Πεδίου (πηγή ΙΓΜΕ)

Τα Νεογενή ιζήματα, δηλαδή οι μάργες, οι άμμοι και οι κροκάλες (περίπου 150 μέτρα πάχος) βρίσκονται στο νότιο τμήμα της περιοχής και καλύπτουν τα ιζήματα της Πελαγονικής ενότητας. Σε μια ζώνη εμφανίζονται ιζήματα Πλειστοκαινικής ηλικίας μεταβαλλόμενου πάχους (έως περίπου 750 μέτρα) τα οποία βρίσκονται επάνω από το αλπικό υπόβαθρο. Παρατηρείται βοιωτικός φλύσχη και σχιστοκερατολιθική διάπλαση (εναλλαγές αργιλικών σχιστολίθων και ραδιολαριτών). Ανθρακικά ιζήματα και δολομίτες Τριαδικής-Ιουρασικής ηλικίας, μεγάλου πάχους, υπόκεινται στρωματογραφικά (Skilodimitou, 2003).

Μερικά γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής της Μάνδρας που ευθύνονται για τα πλημμυρικά φαινόμενα, παρουσιάζονται παρακάτω:

- Ο οικιστικός ιστός της Μάνδρας περικλείεται από τις υδρολογικές λεκάνες του Σκυλορέματος και του Κατσιμιδίου,
- Τα ρέματα του όρους Πατέρα, παρουσιάζουν μέτρια έως σημαντική διάβρωση,
- Λόγω του έντονου κατακερματισμού των γεωλογικών σχηματισμών της περιοχής, συμβαίνει η δημιουργία ενός επιφανειακού στρώματος αποτελούμενο από χαλαρά υλικά,
- Υπάρχει έντονη διάβρωση στις μεγάλες κλίσεις των ρεμάτων και εκεί που η κλίση μειώνεται αποτίθενται φερτά υλικά,
- Τέλος, στις πεδινές περιοχές, κάτω από το επιφανειακό στρώμα υπάρχει αδιαπέρατο πέτρωμα που προκαλεί υπερχειλίση του ρέματος (Παπανικολάου, 2015).

3.4. Ιστορικό πλημμυρών

Τις τελευταίες δεκαετίες, η περιοχή της Μάνδρας έχει πληγεί από αρκετές πλημμύρες. Τα πρώτα αξιοσημείωτα πλημμυρικά φαινόμενα έλαβαν χώρα το 1953 και το 1961, μετά το πέρας του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου όταν ο Σαρανταπόταμος υπέστη υπερχειλίση προς την Ελευσίνα χωρίς ανθρώπινα θύματα (Λέκκας, 2017).

Το 1963 υπερχείλισε το ρέμα Σούρες έχοντας ως αποτέλεσμα ένας άνθρωπος να χάσει τη ζωή του. Το Νοέμβριο του 1977, με την υπερχειλίση των ρεμάτων Γιαννούλα και Μαυριώρα, η Μάνδρα θρήνησε 20 ανθρώπινες ζωές με ακόμα μεγάλες καταστροφές σε οικίες, καλλιέργειες και βιοτεχνίες. Το συγκεκριμένο συμβάν «απείλησε» σε μεγάλο βαθμό τα διυλιστήρια.

Το Φεβρουάριο του 1978, η γέφυρα Κουραμάνη φράχτηκε από ξεριζωμένα δέντρα και φερτά υλικά λόγω μιας ακόμη πλημμύρας που αυτή τη φορά έπληξε το οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο της Μάνδρας. Το 1996, καθώς η αστικοποίηση γινόταν εντονότερη, λόγω των ρεμάτων Σούρες και Σαρανταποτάμου, καταστράφηκαν 22 οικίες, οχήματα, το οδικό δίκτυο της περιοχής και χάθηκαν 2 άνθρωποι (efsypn.gr, 2017).

Το 2003 ήταν η επόμενη πλημμύρα με καταστροφικές συνέπειες χωρίς όμως ανθρώπινες απώλειες. Τέλος, το τελευταίο πλημμυρικό φαινόμενο πριν από το 2017, συνέβη στις 27 Φεβρουαρίου 2015 λόγω έντονων βροχοπτώσεων στο όρος Πατέρα, με εκτεταμένες καταστροφές αλλά κανένα θύμα (Νικολόπουλος, 2004).

4. Η ΠΛΗΜΜΥΡΑ ΤΗΣ 15^{ΗΣ} ΝΟΕΜΒΡΙΟΥ 2017

4.1. Μετεωρολογικές συνθήκες

Στις 13 Νοεμβρίου 2017 μία ψυχρή μάζα κινήθηκε από την βορειοδυτική Ευρώπη προκαλώντας την γέννηση ενός μεγάλου χαμηλού βαρομετρικού στην κεντρική Μεσόγειο. Το σύστημα συνοδευόταν από εκτεταμένα θερμά και ψύχρα μέτωπα, η συνάντηση των οποίων θα προκαλούσε τις πιθανές ισχυρές καταιγίδες μέσα στο σύστημα.

Στις 14 Νοεμβρίου ένα από τα θερμά μέτωπα κινήθηκε στα όρια του συστήματος περιέχοντας μεγάλα ποσοστά υγρασίας. Διασχίζοντας το Σαρωνικό κατευθύνθηκε προς την περιοχή του όρους Πατέρα όπου εκεί συνάντησε ένα ψυχρό και ξηρό μέτωπο.

Το ψυχρό μπλοκ σε συνδυασμό με το ορεινό ανάγλυφο την περιοχής, ανάγκασαν το θερμό και υγρό αέρα να ανυψωθεί στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας όπου άρχισε να σχηματίζει καταιγιδοφόρα νέφη (Georgakorou, 2010).

Το ψυχρό μέτωπο παρέμεινε στάσιμο στην περιοχή ενώ το θερμό ανατροφοδοτούνταν συνεχώς από το σύστημα χαμηλού βαρομετρικού. Το γεγονός αυτό προκάλεσε βροχόπτωση στην ίδια περιοχή για μεγάλο χρονικό διάστημα περίπου 6 ωρών.

Οι μικρές υδρολογικές λεκάνες των Σούρες και Αγίας Αικατερίνης δέχτηκαν το μεγαλύτερο ποσοστό βροχόπτωσης που έφτασε μέχρι τα 300mm/day δηλαδή τα 3/5 του ποσοστού βροχόπτωσης που έχει για όλο το χρόνο η περιοχή. Γύρω στις 11 το βράδυ η ένταση της βροχής άρχισε να αυξάνεται σημαντικά. Η υψηλή έντασή της διήρκησε μέχρι τις 5 τα ξημερώματα, φτάνοντας μέση τιμή τα 40mm/h. Αυτές οι ακραίες τιμές έντασης και διάρκειας που καταγράφηκαν αντιστοιχούν σε φαινόμενο βροχόπτωσης που έχει επανάληψη πάνω από 500 χρόνια.

4.2. Η πλημμύρα στα ορεινά

Το νερό της βροχής που έπεσε στις υδρολογικές λεκάνες έρεε κατευθείαν διάχυτα και επιφανειακά στις πλαγιές του όρους, καθώς το έδαφος είχε ήδη κορεστεί με νερό. Η εξαιρετικά έντονη βροχόπτωση παρέσυρε αρχικά τα πιο ασύνδετα υλικά, δηλαδή τις σωρούς από πευκοβελόνες, τα χαλίκια και την άμμο δίνοντάς τους μεγάλη ορμή. Ειδικά στα γυμνά εδάφη που δεν υπήρχε μεγάλη δενδροκάλυψη, η επιφανειακή απορροή ήταν πολύ σημαντική σχηματίζοντας χαρακτηριστικές αυλακώσεις στο έδαφος.

Το νερό άρχισε να συγκεντρώνεται και να αποστραγγίζεται από τους μικρούς κλάδους του υδρογραφικού δικτύου κατηφορίζοντας κατόπτη της λεκάνης. Ο μεγάλος όγκος των φερτών υλικών που μεταφέρθηκε ενίσχυε τον όγκο της πλημμύρας και αύξανε την διαβρωτική της ενέργεια. Η πλημμύρα έσκαβε το έδαφος αλλά και τμήμα του μητρικού πετρώματος που συναντούσε στην πορεία της. Έτσι, οι κοίτες των ρεμάτων

υπέστησαν διαπλάτυνση πολλαπλάσια του αρχικού τους πλάτους, ώστε να χωρέσουν τη μεγάλη ποσότητα νερού που κατέβαινε από τα ορεινά (Diakakis et al., 2019).

Στον κλάδο της Αγίας Αικατερίνης η πλημμύρα συνέχισε την πορεία της προς την πεδιάδα του Κορακά, μεταφέροντας τα υλικά που απέσπασε από τη διάνοιξη των ρεμάτων.

Λόγω της μείωσης στη μορφολογική κλίση η πλημμύρα εκτονώθηκε διάχυτα, διαβρώνοντας κατά βάθος τον εδαφικό ορίζοντα που συναντούσε και αποθέτοντας τα αδρά φερτά υλικά και τους ογκόλιθους που μετέφερε. Η εκτόνωση αποτυπώθηκε στη γεωμορφολογία της περιοχής με τη μορφή βεντάλιας σχηματίζοντας τη μορφή ενός ριπιδίου. Το ριπίδιο προϋπήρχε σε αυτήν την τοποθεσία, αλλά δεν ήταν εύκολα διακριτό. Η φυσική και η μηχανική διάβρωση που οφείλεται σε γεωργικές δράσεις είχαν κρύψει τη δομή του κάτω από πρόσφατα ιζήματα η οποία αποκαλύφθηκε ξανά από την πλημμύρα του 2017 (Λέκκας, 2017).

Η κατά βάθος διάβρωση που προκάλεσε η πλημμύρα κατέστρεψε μέρος του ελαιώνα που βρισκόταν στην περιοχή ξεριζώνοντας μεγάλο αριθμό υπεραιώνόβιων ελιών. Η χρονολόγηση των ξεριζωμένων κορμών έδειξε πως οι ελιές είχαν ηλικία τουλάχιστον μεταξύ 110 και 144 ετών. Αυτό σημαίνει πως γι' αυτό το χρονικό διάστημα δεν υπήρξε καμία ικανή πλημμύρα για να τους ξεριζώσει. Η κατά βάθος διάβρωση αποκάλυψε επίσης παλαιότερους εδαφικούς ορίζοντες που εναλλάσσονται με αποθέσεις αρχαιότερων πλημμυρών της περιοχής. Οι παρατηρήσεις στο πεδίο έδειξαν πως οι αρχαιότερες πλημμύρες που συνέβησαν μέσα στο Ολόκαινο, δηλαδή περίπου τα τελευταία 10.000 χρόνια, είχαν μικρότερο μέγεθος μεταφερόμενων υλικών σε σχέση με την πλημμύρα του 2017. Φαίνεται δηλαδή πως τουλάχιστον για εκατοντάδες χρόνια δεν είχαν ξαναμεταφερθεί τόσο μεγάλοι ογκόλιθοι στην περιοχή (Soulios, 2018) (Λέκκας, 2017).

Ο συνδυασμός των γεωμορφολογικών, των βοτανολογικών και των μετεωρολογικών ενδείξεων συγκλίνουν στο γεγονός λοιπόν πως η πλημμύρα του 2017 ήταν ένα εξαιρετικά σπάνιο φαινόμενο για την περιοχή με μεγάλο χρόνο επανάληψης. Η πλημμύρα συνεχίζει στο ρέμα της Αγίας Αικατερίνης με διάχυτη ροή καλύπτοντας μεγάλη περιοχή λόγω της κλίσης της πεδιάδας.

Παράλληλα, η πλημμύρα στο ρέμα Σούρες κινείται μεταξύ κοιλάδων, έχοντας μικρότερη έκταση αλλά μεγαλύτερο ύψος. Στο σημείο που συμβάλλουν 3 κλάδοι του υδρογραφικού δικτύου, η εθνική οδός Ελευσίνας - Θηβών αρχίζει και κινείται παράλληλα με το ρέμα. Ένα από τα λίγα βίντεο που υπάρχουν από την πλημμύρα στα ορεινά δείχνει ακινητοποιημένους οδηγούς ακριβώς πριν το επικίνδυνο τριπλό σημείο ένωσης των ρεμάτων με το δρόμο.

Λίγα μέτρα παρακάτω η πλημμυρική ροή έχει καλύψει την στενή κοιλάδα στην οποία κινείται η εθνική. Η κατασκευή του δρόμου σε αυτό το σημείο είχε γίνει παράλληλα και στο ίδιο ύψος με το ρέμα Σούρες όπου για 3,5 χιλιόμετρα υπήρχαν ελάχιστα σημεία εξόδου από την κοιλάδα. Τα φερτά υλικά της πλημμύρας αχρήστευσαν όλα

τα υδραυλικά έργα κατά μήκος του δρόμου, γεγονός που οδήγησε σε περαιτέρω αύξηση του ύψους της πλημμύρας. Κατά την μέγιστη πλημμυρική ροή το ύψος έφτασε τα 2 έως τα 4 m παρασέρνοντας τους άτυχους οδηγούς που βρισκόταν στο δρόμο ή είχαν σταματήσει στις καντίνες που υπήρχαν στις άκρες του δρόμου (Varlas et al., 2019). Τελικά 13 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους σε αυτό το τμήμα της εθνικής.

Η επικινδυνότητα του δρόμου είχε ήδη φανερωθεί από την πλημμύρα του 1996 όταν δύο άνθρωποι παρασύρθηκαν από τα ορμητικά νερά στο ίδιο σκέλος της εθνικής 21 χρόνια πριν. Η πλημμύρα συνέχισε στα ρέματα Σούρες και Αγίας Κατερίνης προσεγγίζοντας τον οικιστικό ιστό της Μάνδρας. Μέχρι τότε ελάχιστοι γνώριζαν για την σφοδρότητα του φαινομένου καθώς αυτό εκδηλώθηκε σε εξαιρετικά αεροκατοικημένη περιοχή στο όρος Πατέρας.

4.3. Η πλημμύρα στη Δυτική Αττική

Η πλημμύρα έφτασε στο δυτικό τμήμα της Μάνδρας γύρω στις έξι το πρωί, έχοντας παροχή άνω των 140 κυβικών το δευτερόλεπτο. Σε αυτό το σημείο ο οικιστικός ιστός κόβει απότομα τη συνέχεια του ρέματος της Αγίας Αικατερίνης η οποία δεν είχε ξεκάθαρη κοίτη. Λόγω του επίπεδου αναγλύφου, η πλημμύρα προσέγγισε την πόλη με έκταση 330 m, ενώ έφτανε σε ύψος γύρω στο ενάμιση μέτρο. Η λασποροή συνέχισε μέσα στον αστικό ιστό βρίσκοντας εμπόδιο στα κτίρια και σε άλλες αστικές υποδομές, μεταβάλλοντας το πλάτος έκτασης της πλημμύρας σε ύψος. Το ύψος των 2 m παρατηρήθηκε σε ένα πολύ μεγάλο τμήμα της πόλης ενώ στο κέντρο της έφτασε μέχρι και τα 4 m. Η στάθμη της πλημμύρας σε αυτό το ύψος έθετε σε πολύ σημαντικό κίνδυνο τους ενοίκους των ισογείων κατοικιών, καθώς το νερό μπορούσε να εισχωρήσει μέσα στα σπίτια από τα παράθυρα πλημμυρίζοντας σε σημαντικό ύψος τον όροφο. Τελικά έξι ηλικιωμένοι έχασαν τη ζωή τους μέσα στο σπίτι τους και ένας σε ισόγειο πολυκαταστήματος. Οι 220.000 τόνοι φερτών υλικών που αποτέθηκαν σε συνδυασμό με την ορμητικότητα της πλημμύρας, δημιούργησαν ζημιές σε τουλάχιστον 1000 κατοικίες μέσα στην Μανδρα, ενώ 400 αυτοκίνητα καταστράφηκαν (Diakakis et al, 2017) (Κοντοές κ.α., 2018).



Εικόνα 3: Αποσπάσματα από video που ανέβασαν κάτοικοι στο Youtube

Η πλημμύρα συνέχισε με βάση το ανάγλυφο της περιοχής, δηλαδή κατά μήκος της οδού Κοροπούλη, ακολουθώντας τη φυσική πορεία που είχε το ρέμα της Αγίας Αικατερίνης πριν υπογειοποιηθεί κάτω από την οδό. Στο παρελθόν το ρέμα περνούσε μέσα από την πόλη με ανοιχτή κοίτη, παροχετεύοντας στο νερό από τα ορεινά προς το ρέμα Σούρες. Η οικιστική υπέρταση και δημιουργία δρόμων μετέτρεψε την ανοιχτή κοίτη σε υπογειοποιημένο αγωγό χωρίς να υπάρχει ξεκάθαρη σύνδεση του με το ρέμα πιο ψηλά (Μπάμπου, 2019).

Με την πάροδο του χρόνου καταστραφηκε η φυσική του κοίτη χωρίς να δημιουργηθούν ισοδύναμα παροχετευτικά έργα. Στην ξαφνική πλημμύρα του 2017, η οδός Κοροπούλη αποτέλεσε την τεχνητή κοίτη παροχέτευσης της πλημμύρας μέσα στην πόλη. Αυτό το γεγονός προκάλεσε μεγάλες καταστροφές σε όλο το μήκος της.

Παράλληλα η πλημμύρα στο ρέμα Σούρες διατηρώντας το ύψος των 2 έως 3 m από την κοιλάδα, συναντά μεγάλες υποδομές. Όπως για παράδειγμα το εργοστάσιο Βακόντιος και το αμαξοστάσιο του Δήμου, που είχαν στενέψει το πλημμυρικό πεδίο απορροής του ρέματος καταπατώντας τα φυσικά του όρια (Λέκκας, 2017) (Diakakis et al, 2017).

Έτσι, η πλημμύρα βρήκε τεχνητό εμπόδιο αποθέτοντας το μεγαλύτερο μέρος των χοντρών φερτών υλικών που μετέφερε από τα ορεινά, καθώς και το μεγαλύτερο μέρος των οχημάτων και σορών που παρέσυρε από την εθνική. Η λασποροή από τα ρέματα της Αγίας Αικατερίνης και του Σούρες, ενώθηκε στο νοτιοανατολικό άκρο του οικιστικού ιστού. Κανονικά τα υδραυλικά έργα παροχετεύουν το νερό προς τα ανατολικά του οικισμού, όμως ο μεγάλος όγκος φερτών υλικών έφραξε τον αγωγό αναγκάζοντας τον κύριο όγκο της πλημμύρας να κινηθεί κατά μήκος της Παλαιάς Εθνικής οδού Ελευσίνας-Θηβών.



Εικόνα 4: Πλάνα video από drone (Μανώλης Ανδρεαδάκης)

Επεκτεινόμενο στο ήπιο ανάγλυφο κάλυψε μία μεγάλη έκταση στην οποία στεγάζεται ένας μεγάλος αριθμός βιομηχανιών και αποθηκών. Σαράντα οκτώ (48) βιομηχανικές μονάδες πλημμύρισαν εκ των οποίων οι δεκατρείς (13) ήταν μεγάλα συγκροτήματα logistics (Οικονομοπούλου, 2010).

Από την βιομηχανική ζώνη απελευθερώθηκαν επίσης υδρογονάνθρακες, όπως Diesel και βενζόλιο, ρυπαίνοντας τον κόλπο της Ελευσίνας όπου και κατέληξαν. Η επέκταση της πλημμύρας προς την περιοχή της Ελευσίνας μπλοκαρίστηκε από την Αττική οδό, η οποία είναι κτισμένη κάθετα της ροής. Εκεί βρήκε διέξοδο το νερό από δύο σημεία κάτω από τον αυτοκινητόδρομο και κατευθύνθηκε προς την Ελευσίνα, στην οποία αν και η πλημμύρα είχε λιγότερη ορμή, προκάλεσε καταστροφές σε εκατόν εβδομήντα εννέα (179) κτίρια (Diakakis et al., 2019).



Εικόνα 5: Πλάνα video από drone (Μανώλης Ανδρεαδάκης)

Η πορεία της πλημμύρας, που ξεκίνησε από τα ορεινά, κατέληξε τελικά στη θάλασσα όπου δημιούργησε ρύπανση στον κόλπο της Ελευσίνας. Η ρύπανση προκλήθηκε κυρίως από την απόθεση ιλύος, απορριμμάτων και υγρών ρυπαντών (Ntigkakis, 2019).

Συνολικά η ξαφνική πλημμύρα της 15ης Νοεμβρίου 2017 προκάλεσε 24 ανθρώπινες απώλειες και το εκτιμώμενο οικονομικό κόστος των 172 εκατομμυρίων ευρώ, αποτελώντας την τρίτη καταστροφικότερη πλημμύρα στην ιστορία της Αττικής. Η επικινδυνότητα σε πλημμυρικά φαινόμενα των περιοχών της Μάνδρας και της Νέας Περάμου, που δέχθηκαν και τις μεγαλύτερες καταστροφές, εντοπίζεται στο γεγονός πως είναι ανεπτυγμένες σε γεωμορφολογικά ασταθείς περιοχές που αποτελούν ριπίδια. Τα ριπίδια είναι διαβρωτικά και αποθετικά περιβάλλοντα που σχηματίζονται από πλημμυρικά επεισόδια όπως αυτό του 2017.

Περαιτέρω μελέτες έχουν συλλέξει μια ποικιλία παραγόντων που οδήγησαν στο σχηματισμό του γεγονότος της πλημμύρας, όπως (Stamou, 2018):

1. Η λανθασμένη εκτίμηση των χαρακτηριστικών της περιοχής εμπόδισε τη σωστή κατασκευή και εφαρμογή προστατευτικών μέτρων από πλημμύρες στην περιοχή.
2. Η λεκάνη απορροής και η εμβέλεια των ρεμάτων (που βοηθούν στην αποστράγγιση των απορροών και των μπαζών) μειώθηκε σημαντικά, ενώ σε άλλες περιοχές τα περάσματα αυτά εξαφανίστηκαν εντελώς.
3. Η κατασκευή κατοικιών, κτιρίων, αυτοκινητοδρόμων και δημόσιων υποδομών, η διακοπή των ρεμάτων και των διόδων των απορροών, εμπόδισαν την τακτική ροή του νερού προς τη θάλασσα.
4. Οι αγωγοί αποχέτευσης που υπήρχαν στην περιοχή, είτε ήταν πολύ μικροί για την ποσότητα των απορροών που μεταφέρονταν, είτε δεν υπήρχαν καθόλου.

Παράλληλα, τα περισσότερα αντιπλημμυρικά έργα κυρίως στην Μάνδρα κρίθηκαν ανεπαρκή ως προς την μείωση του πλημμυρικού κινδύνου, ενώ σε πολλές περιπτώσεις υπήρξε άγνοια της επικινδυνότητας, οδηγώντας στην καταπάτηση κρίσιμων φυσικών παροχετευτικών δομών όπως στην περίπτωση του ρέματος Σούρες (Λέκκας Ε., 2018) (Τσαγκάς, 2018).

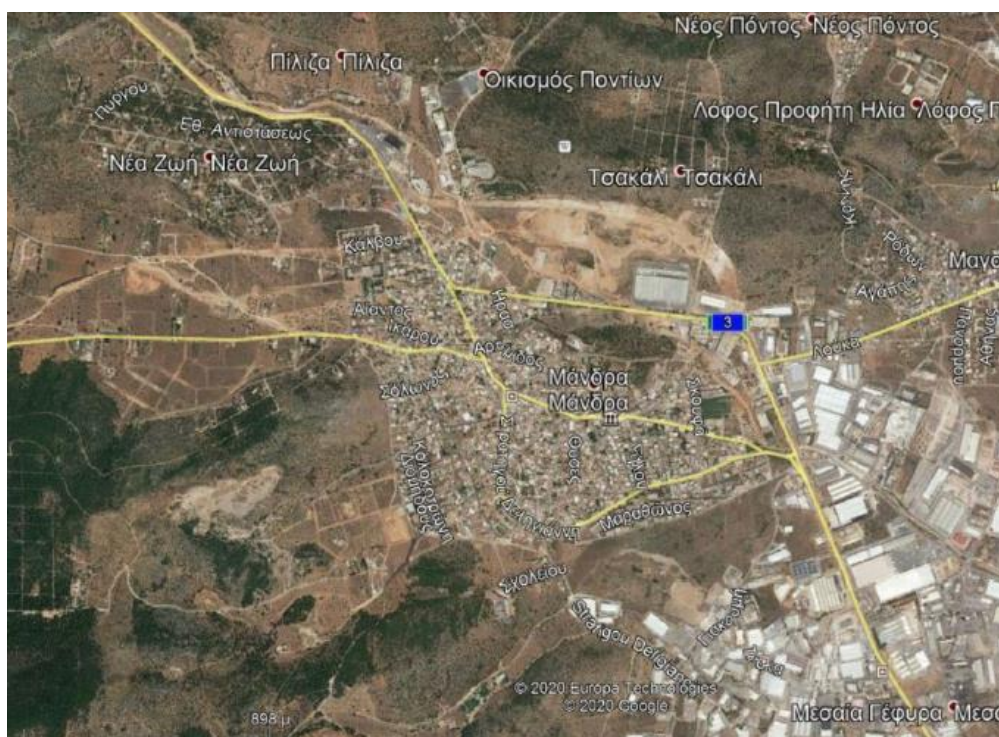
Η πλημμύρα του 2017, ωστόσο, είχε πρωτοφανή χαρακτηριστικά που αποδεικνύουν την σπανιότητα του φαινομένου και θέτουν ερωτήματα για την σύνδεση του με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Αν και η πολυπλοκότητα της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στα τοπικά συστήματα καθιστά εξαιρετικά δύσκολη τη συσχέτιση της με την πλημμύρα στην Δυτική Αττική, μελέτες δείχνουν πως το φαινόμενο της ξαφνικής πλημμύρας τείνει να γίνεται σφοδρότερο και συχνότερο στις χώρες της Μεσογείου και στον Ελλαδικό χώρο.

5. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

5.1. Κτίρια οδού Κοροπούλη

Έχοντας θέσει ως στόχο την ανάλυση τρωτότητας κτιρίων στη Μάνδρα, η έρευνα επικεντρώθηκε στον κεντρικό δρόμο της Μάνδρας, την οδό Κοροπούλη (Εικόνα 8). Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε λόγω της σημασίας της ως το κύριο κέντρο διαβίωσης της Μάνδρας και λόγω της θέσης της ως τμήμα της περιοχής υπερχείλισης του ρέματος της Αγίας Αικατερίνης και ως εκ τούτου ήταν από τις περιοχές που επλήγησαν περισσότερο από την πλημμύρα. Επιπλέον, η οδός Κοροπούλη είναι καλά μελετημένη, παρέχοντάς μας πολλά δεδομένα για την πλημμύρα.

Αυτά τα δεδομένα μας παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις άμεσες ζημιές που προκλήθηκαν από την πλημμύρα και προσφέρουν επίσης τη δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών περιοχών.



Εικόνα 6: Εικόνα από το Google Earth Pro που φαίνεται η θέση της Μάνδρας

Τα κτίρια της οδού Κοροπούλη αναλύθηκαν με βάση φωτογραφίες της ερευνητικής ομάδας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (Εικόνα 8). Οι φωτογραφίες τραβήχτηκαν αμέσως μετά την πλημμύρα (15/12/2017), στο σημείο (παράλληλα με την Κοροπούλη και σε άλλες περιοχές της Μάνδρας), δημιουργώντας αρχείο φωτογραφιών και βίντεο (μέσω δορυφορικών εικόνων και χρήση drones, καθώς και άμεσες φωτογραφίες από επιστήμονες). Το αρχείο αυτό παρασχέθηκε από τον Διακάκη

Μιχάλη, προκειμένου να εξεταστούν περαιτέρω τα κτίρια και οι ζημιές που προκλήθηκαν από την πλημμύρα και να συγκριθεί η προηγούμενη κατάσταση των κτιρίων, όσον αφορά τα εξωτερικά χαρακτηριστικά τους. Επιπλέον, εκτός από το επιστημονικό αρχείο, η έρευνα ολοκληρώθηκε με τη χρήση βίντεο που τραβήχτηκαν από κατοίκους κατά τη διάρκεια της πλημμύρας και από δημοσιογράφους που έσπευσαν στη Μάνδρα μετά την πλημμύρα.



Εικόνα 7: Εικόνα από GSV (αριστερά) και εικόνα από drone μετά την πλημμύρα (δεξιά)

Η κύρια ιδέα της προσέγγισης ήταν να συγκριθούν τα χαρακτηριστικά των κτιρίων που αντιμετώπισαν εσωτερικές πλημμύρες κατά τη διάρκεια της πλημμύρας 2017, με κτίρια που δεν συνέβη κάτι τέτοιο, για να φανεί ποια από αυτά τα στοιχεία έκαναν τη διαφορά. Για να καταγραφούν αυτά τα χαρακτηριστικά, το Street, η υπηρεσία προβολής που παρείχε η Google, χρησιμοποιήθηκε για την εξέταση των κτιρίων. Με τη βοήθεια των εικόνων του Google Earth αποτυπώθηκαν στο G.I.S. όλα τα κτίρια που βρίσκονται επί της οδού Κοροπούλη. Επίσης, πραγματοποιήθηκε και έρευνα πεδίου για επιβεβαίωση συγκεκριμένων δομών.

5.2. Μέθοδοι

5.2.1. Google Street View (GSV)

Το GSV χρησιμοποιήθηκε για να εξετάσει τις δομές που πλημμύρισαν στη σειρά για τον προσδιορισμό συγκεκριμένων δομικών στοιχείων. Η εξέταση κτιρίων μέσω του GSV πραγματοποιήθηκε σε 18 ώρες εργασίας συνολικά, μια ώρα που θεωρείται σημαντικά μικρότερη σε σύγκριση με μια παραδοσιακή έρευνα πεδίου. Η έρευνα πεδίου διήρκεσε περίπου 10 ώρες συνολικά καθώς χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί λήψη φωτογραφιών για κτίρια που δεν είχαν αποτυπωθεί σωστά στο GSV.

5.2.2. ArcGIS

Με το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ) ή αλλιώς Geographic Information System (GIS) δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εργαστεί με χρήσιμα εργαλεία για τη συλλογή, τη διαχείριση, την αποθήκευση, την ανάκτηση, την ανάλυση και την

παρουσίαση δεδομένων χωρικών και γεωγραφικών. Βοήθησαν πολύ στην διαχείριση μεγάλων βάσεων δεδομένων όπου σε διαφορετική περίπτωση θα χρειαζόταν μεγάλων όγκος υπολογιστικών πόρων.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών τα τελευταία χρόνια, πραγματοποιήθηκε με μεγάλη ευκολία η επεξεργασία δεδομένων, η γεωγραφική τους ανάλυση και η χαρτογραφική απεικόνισή τους. Συγκεκριμένα, το ArcGIS που χρησιμοποιήθηκε παρέχει τις δυνατότητες που προαναφέρθηκαν και πολλές ακόμα λειτουργίες (π.χ. environmental management, land records management, land planning, vehicle tracking κ.α.) (Φώτης, 2009).

5.3. Ανάλυση Μεθόδου

Αρχικά, μέσω του GSV έγινε η καταγραφή των χαρακτηριστικών των κτηρίων, η ερμηνεία τους και στο τέλος έγινε η λήψη φωτογραφιών στο πεδίο. Για κάθε χαρακτηριστικό που είχαν ή δεν είχαν τα κτίρια, χρησιμοποιήθηκαν μεταβλητές που στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν στη βάση δεδομένων. Τα στοιχεία που ερευνηθήκαν καθώς και οι συντομογραφίες τους φαίνονται στον Πίνακα 2.

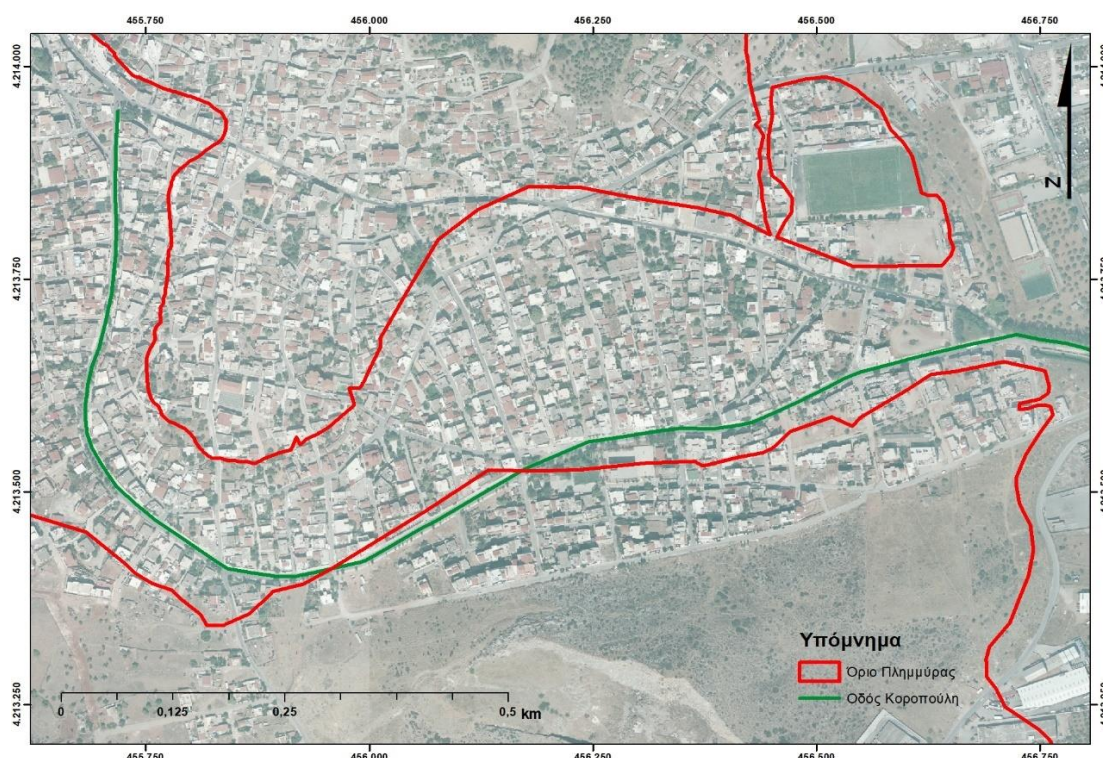
Πίνακας 2: Τα στοιχεία που ερευνηθήκαν και οι συντομογραφίες τους

Χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν	Συντομογραφία που χρησιμοποιήθηκε
Όροφοι	Storeys
Χρήση ισογείου	Bsmnt_Use
Άνοιγμα κάτω από το επίπεδο του εδάφους	BLO (BMVBS, 2006) (Blanco-Vogt, 2014)
Υλικό ισογείου	CM
Ράμπα υπογείου γκαράζ	UGR (Fedeski J. G., 2007) (BMVBS, 2006)
Αυλή	YRD
Ελεύθερες πλευρές κτιρίου	ADJ (Blanco-Vogt, 2014)
Πυλωτή	PLT
Εξωτερική πόρτα που να οδηγεί στο υπόγειο	OBD (BMVBS, 2006)
Υπόγειο	UNDGR

Μετά την καταγραφή των παραπάνω στοιχείων για κάθε κτίριο, τα αποτελέσματα εισήχθησαν στη βάση δεδομένων ως μεταβλητές, καταγράφοντας την εμφάνισή τους ή όχι για κάθε κτίριο. Για τα Storeys και ADJ χρησιμοποιήθηκαν αριθμοί από το 1 έως το 4. Για τα χαρακτηριστικά BLO, UGR, YRD, PLT, OBD και UNDGR σημειώθηκε ναι ή όχι για το αν υπήρχαν ή όχι, αντίστοιχα. Τα χαρακτηριστικά Bsmnt_Use και CM ήταν τα μόνα που χρειάστηκαν χαρακτηρισμοί όπως για παράδειγμα store, residence, glass, wall κλπ. Η χρήση ισογείου (Bsmnt_Use) και το υλικό ισογείου (CM) τις περισσότερες φορές ήταν αλληλένδετα. Αυτό σημαίνει ότι αν το ισόγειο ήταν κατάσταση το πιο πιθανό θα ήταν το υλικό να μην ήταν τσιμέντο αλλά κυρίως να αποτελούνταν από τζαμαρία (Diakakis, 2017).

Τα πρώτα βήματα της συγκεκριμένης εργασίας έγιναν μέσω του GIS αφού έπρεπε να χαρτογραφηθούν τα κτήρια και ο δρόμος όπου θα πραγματοποιούνταν η έρευνα.

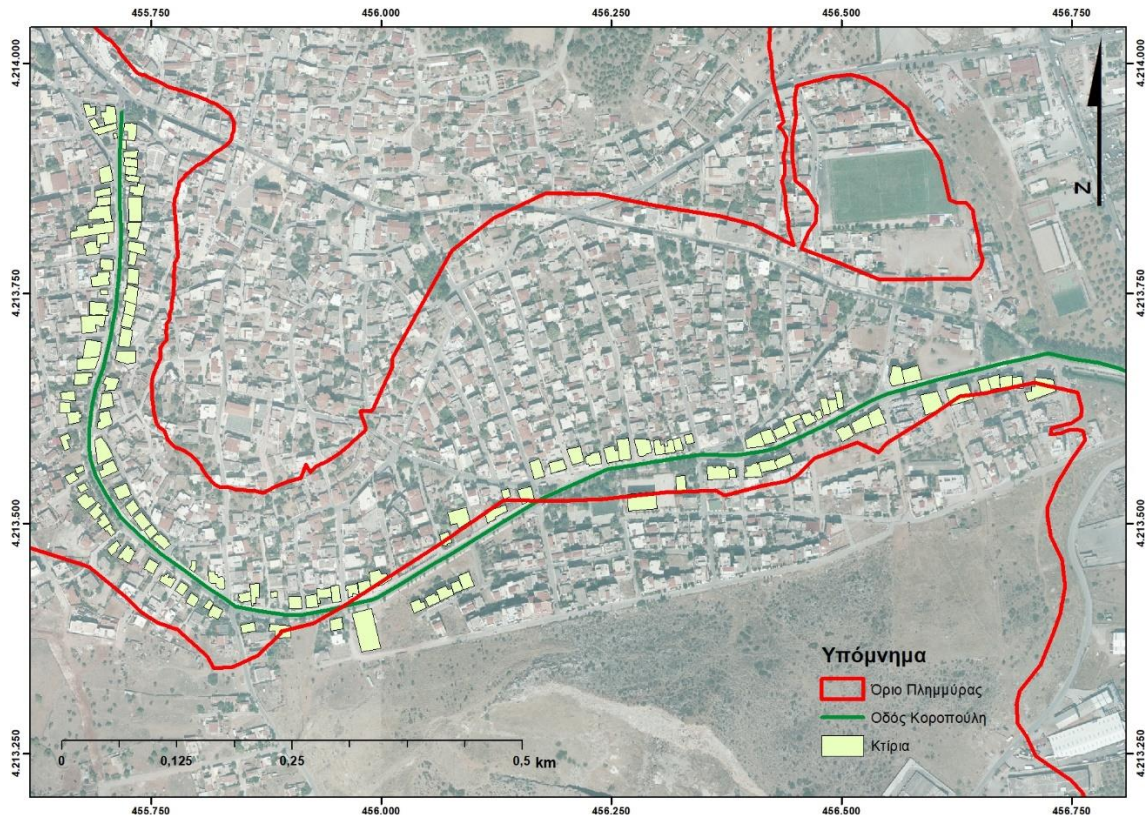
Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 8) απεικονίζεται η έκταση του πλημμυρικού φαινομένου με κόκκινο και με το πράσινο είναι η οδός Κοροπούλη από την αρχή έως το τέλος της.



Εικόνα 8: Χάρτης από το GIS, κόκκινη γραμμή: όρια πλημμύρας, πράσινη γραμμή: οδός Κοροπούλη

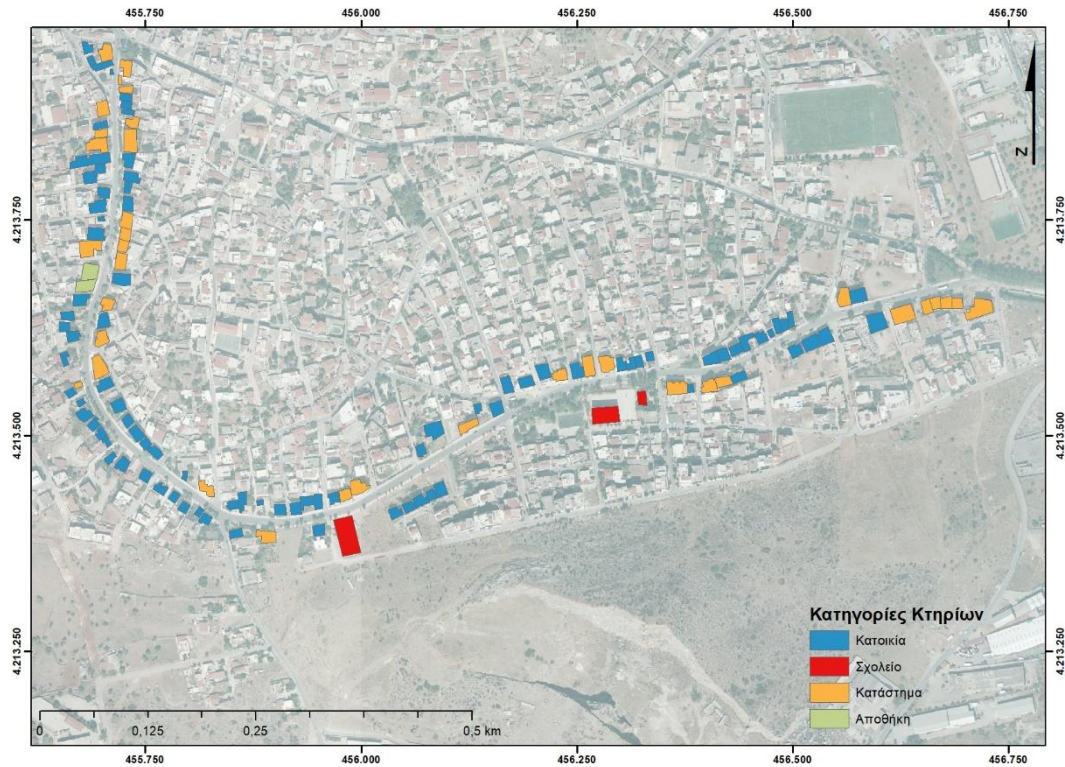
Αφού, λοιπόν εντοπίστηκαν και τοποθετήθηκαν στον χάρτη βασικά στοιχεία όπως αυτά που αναφέρθηκαν, έγινε μια εκτίμηση των κτηρίων που υπήρχαν κατά μήκος της οδού. Συνολικά εξετάστηκαν 131 κτήρια, μεταξύ των οποίων ήταν κατοικίες, καταστήματα, αποθήκες και σχολεία. Πολλά από τα κτήρια μετατράπηκαν μετά από την in situ μελέτη επειδή μετά την πλημμύρα δεν υπήρχαν ή ήταν διαφορετικού μεγέθους (π.χ. μπορεί να είχε καταρρεύσει ένα τμήμα τους) ή χτίστηκαν κάποια καινούργια.

Στην επόμενη εικόνα (Εικόνα 9), τα πολύγωνα με το ανοιχτό πράσινο χρώμα απεικονίζουν τα κτίρια επί της οδού Κοροπούλη καθώς και κάποια επιπλέον που πιθανόν επηρεάστηκαν από το φαινόμενο.



Εικόνα 9: Χάρτης από το GIS, απεικόνιση κτιρίων

Δημιουργήθηκαν χάρτες για κάθε χαρακτηριστικό ξεχωριστά. Ο επόμενος χάρτης απεικονίζει τη χρήση του ισογείου για κάθε κτήριο. Όπως προαναφέρθηκε, τα εξεταζόμενα κτίρια, ήταν κατοικίες, καταστήματα, σχολεία και αποθήκες.

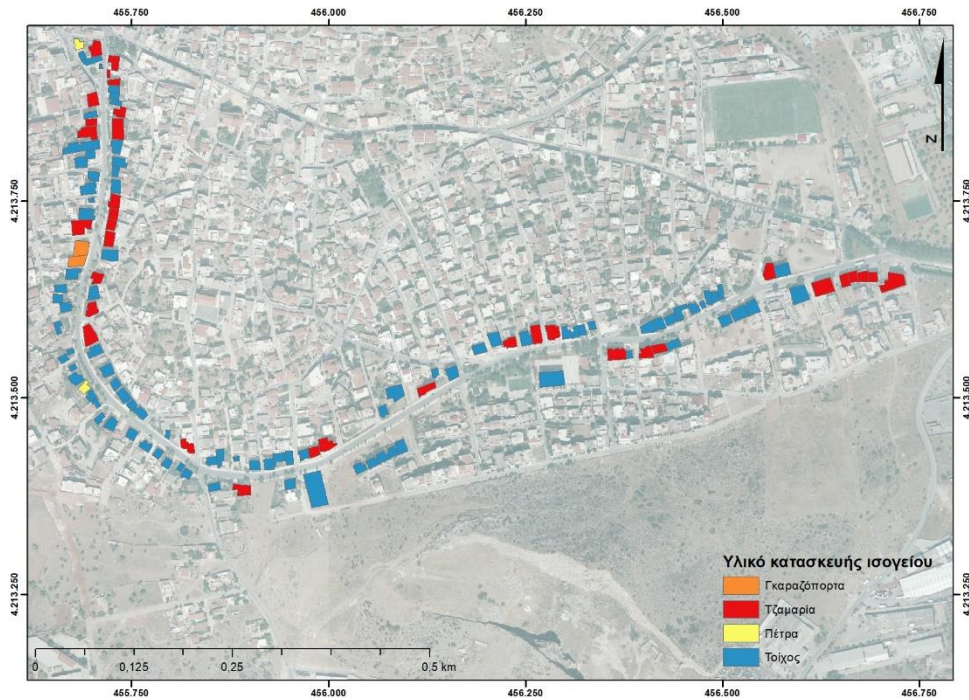


Εικόνα 10: Χάρτης από το G.I.S. με τις Κατηγορίες των Κτηρίων

Με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι κατοικίες, με κόκκινο χρώμα τα κτήρια που στεγάζονται σχολικές εγκαταστάσεις, με πράσινο χρώμα οι αποθήκες και με πορτοκαλί χρώμα τα καταστήματα όλων των ειδών επειδή είχαν ως υλικό ισογείου την τζαμαρία.

Το επόμενο χαρακτηριστικό που εξετάστηκε ήταν το υλικό κατασκευής του ισογείου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα κτήρια που ήταν κατοικίες ήταν πέτρινα ή με τοίχο απλό, καθώς και τα σχολεία. Τα καταστήματα ως επί το πλείστον είχαν τζαμαρία.

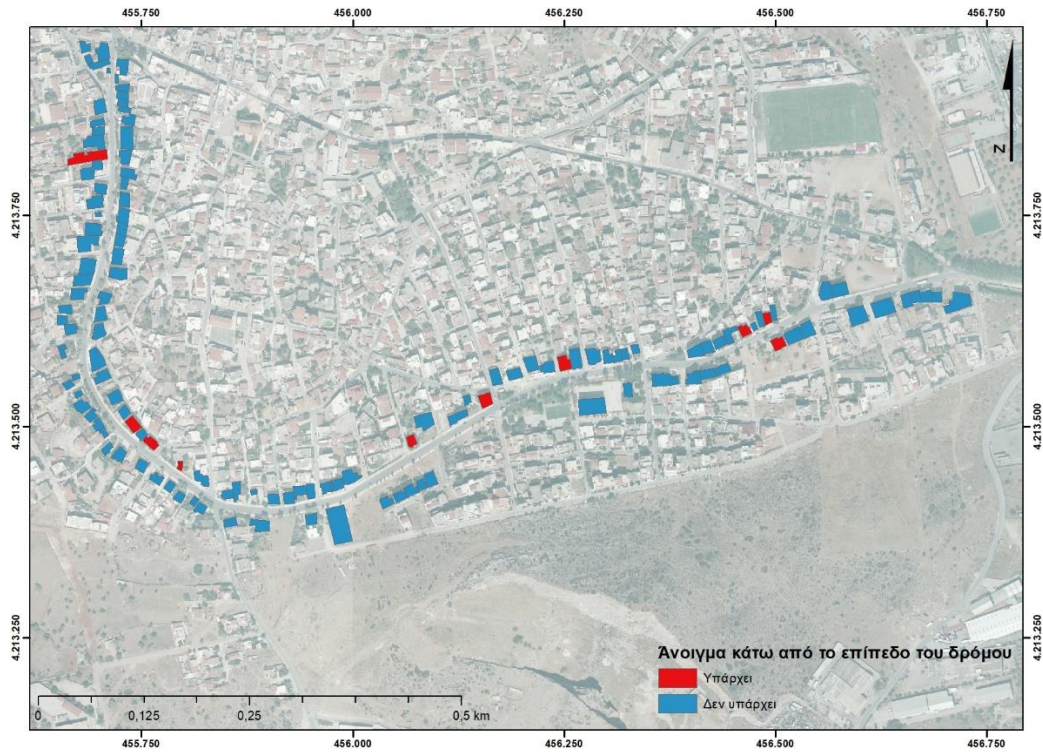
Με πορτοκαλί χρώμα απεικονίζονται τα κτήρια που είχαν ως υλικό ισογείου γκαραζόπορτα. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε, σε σύγκριση και με τον προηγούμενο χάρτη, τα κτήρια αυτά είναι οι αποθήκες. Στη συνέχεια, με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα καταστήματα που όπως αναφέρθηκε σε ένα μεγάλο ποσοστό έχουν τζαμαρία και τέλος με κίτρινο χρώμα κατοικίες με κύριο υλικό την πέτρα και με μπλε χρώμα κατοικίες με κύριο υλικό τσιμέντο (τοίχο).



Εικόνα 11: Χάρτης από το G.I.S. με το υλικό κατασκευής του ισογείου

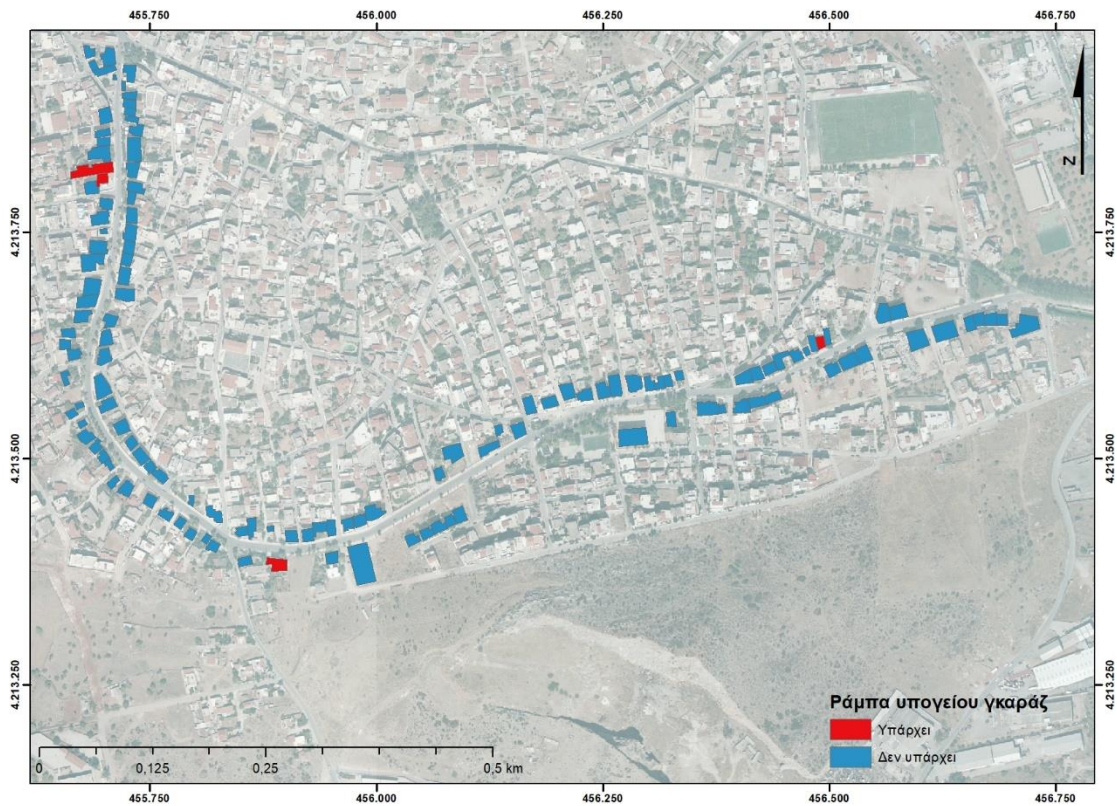
Επιπροσθέτως, απεικονίζονται τα κτήρια που έχουν άνοιγμα κάτω από το επίπεδο του δρόμου. Αυτό μπορεί να ήταν κάποιο παράθυρο του υπογείου ή κάποιο κενό μεταξύ του εδάφους και του κτιρίου.

Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα κτίρια που έχουν κάποιου είδους άνοιγμα κάτω από το επίπεδο του δρόμου και με μπλε εκείνα που δεν έχουν. Όπως φαίνεται τα κτίρια που έχουν άνοιγμα ήταν σε πολύ μικρό ποσοστό και κάποια από αυτά υπέστησαν σημαντικές ζημιές όπως παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 12: Χάρτης από το G.I.S. με το άνοιγμα κάτω από το επίπεδο του δρόμου

Ακολουθούν οι χάρτες με τα χαρακτηριστικά της ύπαρξης ή όχι ράμπας υπογείου γκαράζ, αυλής, πυλωτής, πόρτες που οδηγούν στο υπόγειο και τα υπόγεια.



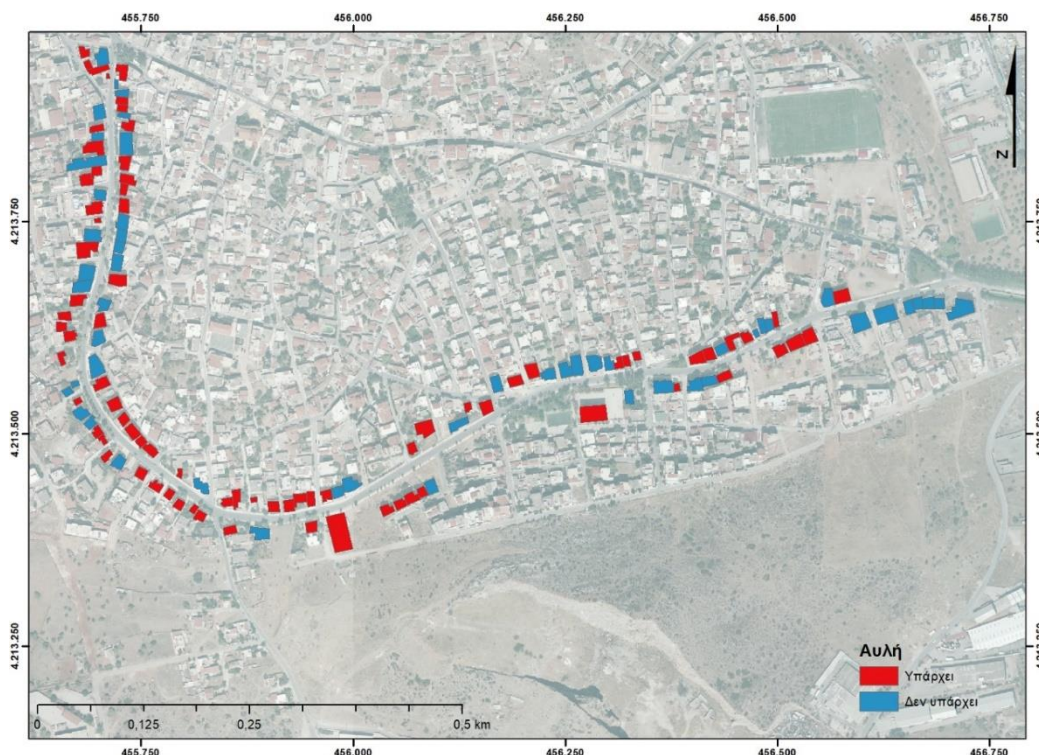
Εικόνα 13: Χάρτης από το G.I.S. με ράμπες υπογείου γκαράζ



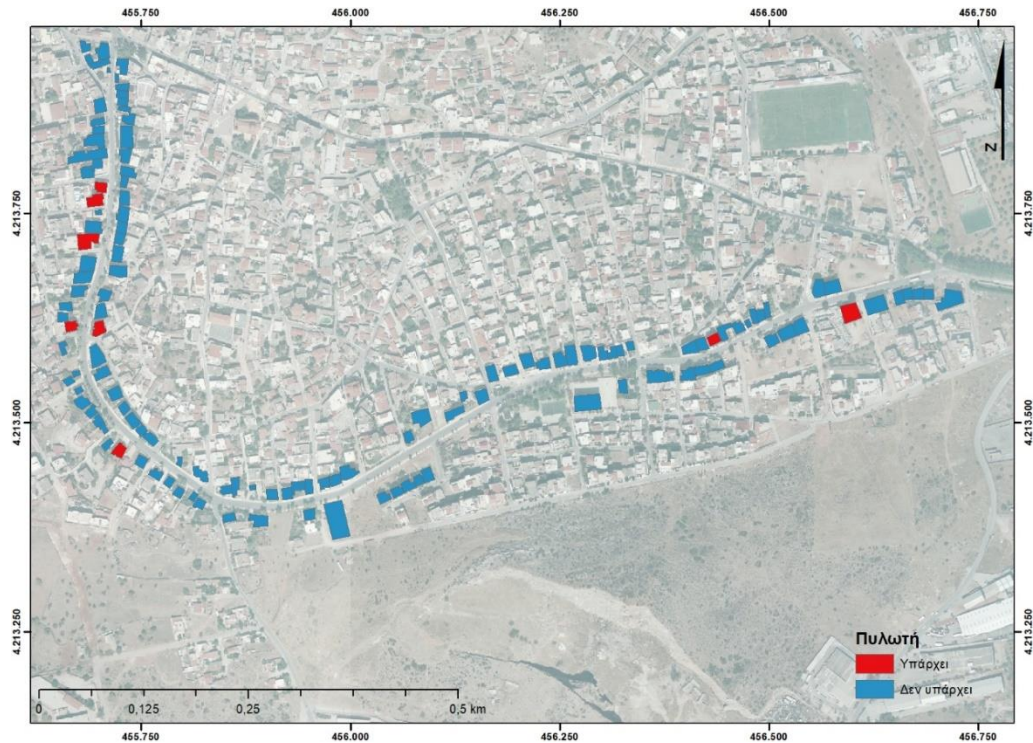
Εικόνα 14: Κτίριο 150 και κτίριο 770 με ράμπα υπογείου γκαράζ.

Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα κτίρια που έχουν ράμπα υπογείου γκαράζ και με μπλε εκείνα που δεν έχουν. Όπως φαίνεται τα κτίρια που έχουν ράμπα ήταν σε πολύ μικρό ποσοστό και κάποια από αυτά υπέστησαν σημαντικές ζημιές όπως παρουσιάζεται παρακάτω.

Ο επόμενος χάρτης απεικονίζει με κόκκινο χρώμα τα κτίρια που έχουν αυλή και με μπλε χρώμα τα κτίρια που δεν έχουν. Εδώ είναι ξεκάθαρο ότι υπάρχει μεγάλο ποσοστό κτιρίων με ύπαρξη αυλής, άρα αυτομάτως αυξημένη τρωτότητα.

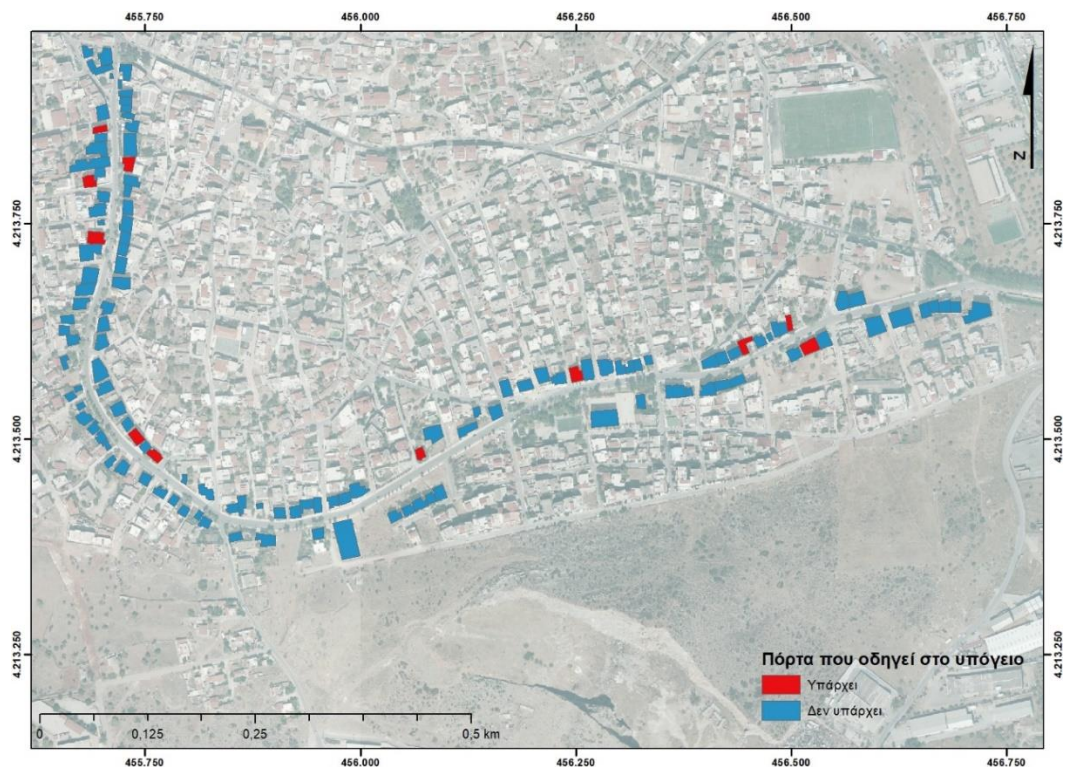


Εικόνα 15: Χάρτης από το G.I.S. με τις αυλές



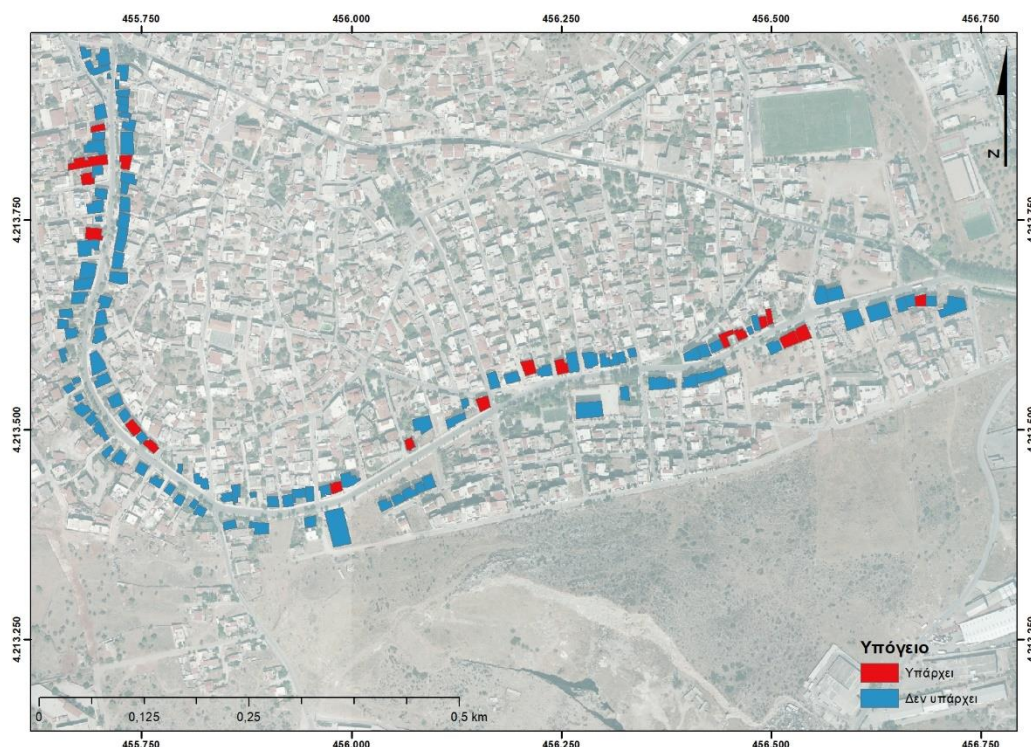
Εικόνα 16: Χάρτης από το G.I.S. με τις πυλωτές

Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα κτίρια που έχουν πυλωτή και με μπλε εκείνα που δεν έχουν. Όπως φαίνεται τα κτίρια που έχουν πυλωτή ήταν σε πολύ μικρό ποσοστό και κάποια από αυτά υπέστησαν σημαντικές ζημιές όπως παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 17: Χάρτης από το G.I.S. με πόρτες που οδηγούν στο υπόγειο

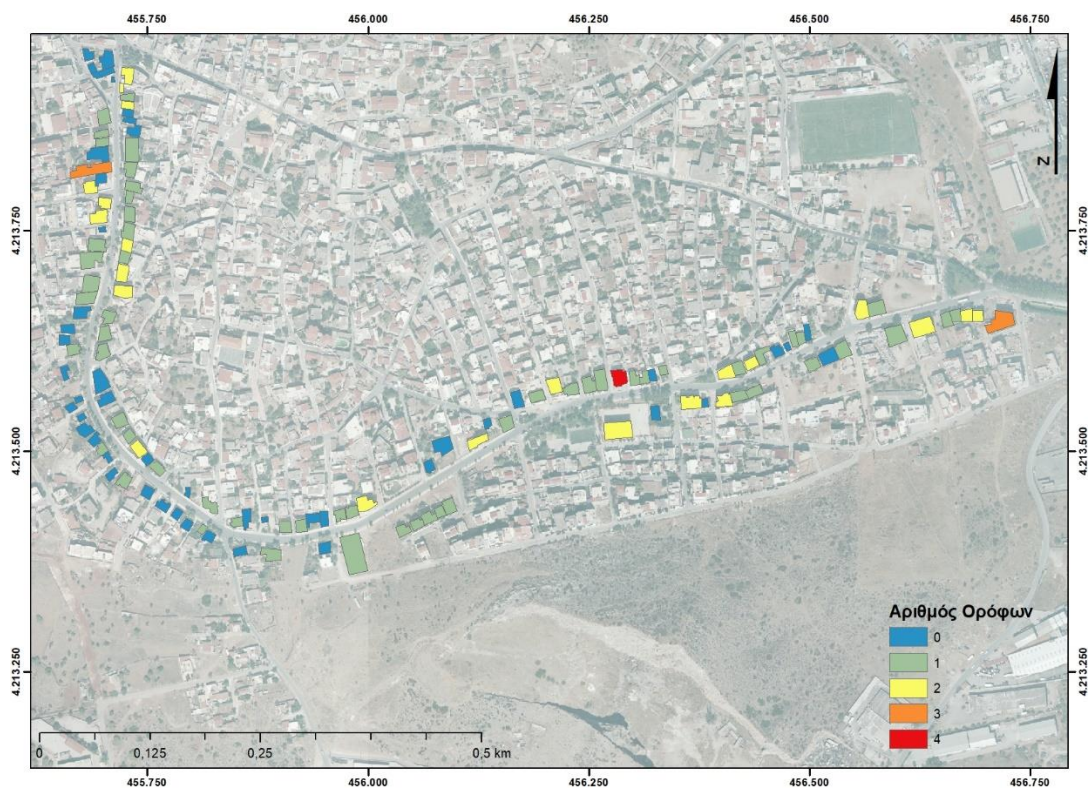
Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα κτίρια που έχουν πόρτα που οδηγεί στο υπόγειο και με μπλε εκείνα που δεν έχουν. Όπως φαίνεται τα κτίρια που έχουν πόρτα ή παράθυρο ήταν σε πολύ μικρό ποσοστό και κάποια από αυτά υπέστησαν σημαντικές ζημιές όπως παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 18: Χάρτης από το G.I.S. με τα υπόγεια των κτιρίων

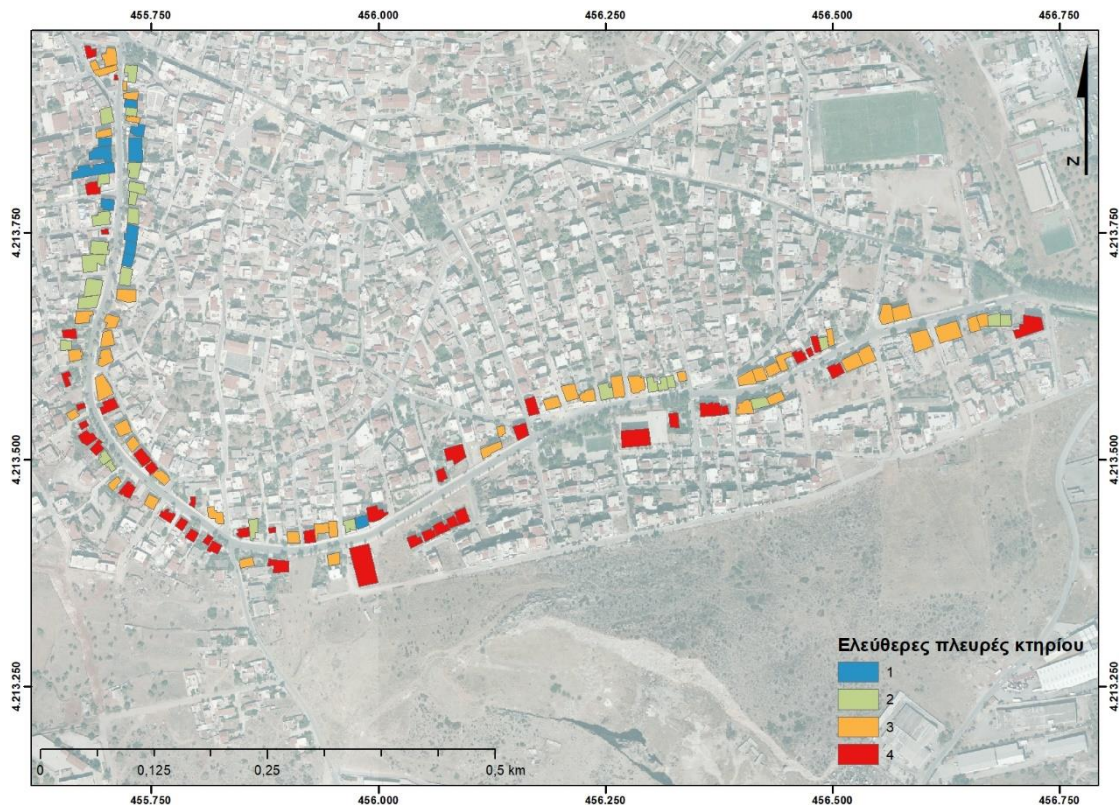
Σε αυτόν τον χάρτη με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα κτίρια που έχουν υπόγειο και με μπλε εκείνα που δεν έχουν. Όπως φαίνεται τα κτίρια που έχουν υπόγειο ήταν σε πολύ μικρό ποσοστό και κάποια από αυτά υπέστησαν σημαντικές ζημιές όπως παρουσιάζεται παρακάτω. Αυτό το χαρακτηριστικό αφορά κυρίως τα κτίρια που το υπόγειο είναι εμφανές από την εξωτερική όψη, γιατί όπως έχει αναφερθεί η παρούσα εργασία αφορά μόνο τα εξωτερικά στοιχεία.

Οι επόμενοι δύο χάρτες απεικονίζουν τα τελευταία χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν. Το πρώτο είναι οι όροφοι που είχε το κάθε κτίριο. Βάση των αποτελεσμάτων είχαμε μεταβλητές από 0 έως 4. Το δεύτερο είναι οι ελεύθερες πλευρές που είχε το κάθε κτήριο και εκεί οι μεταβλητές κυμάνθηκαν από 1 έως 4.



Εικόνα 19: Χάρτης από το G.I.S. με τους ορόφους των κτιρίων

Με μπλε χρώμα απεικονίζονται τα κτίρια που δεν είχαν ορόφους (π.χ. μονοκατοικίες), με πράσινο χρώμα τα κτίρια με ένα όροφο, με κίτρινο χρώμα τα κτίρια με δύο ορόφους, με πορτοκαλί χρώμα τα κτίρια με τρεις ορόφους και με κόκκινο χρώμα τα κτίρια με τέσσερις ορόφους. Παρατηρήθηκε ότι τα περισσότερα κτίρια είχαν 0-1 ορόφους ενώ τα ψηλότερα ήταν σε πολύ μικρότερο ποσοστό.



Εικόνα 20: Χάρτης από το G.I.S. με τις ελεύθερες πλευρές του κτηρίου

Με μπλε χρώμα απεικονίζονται τα κτίρια που είχαν μόνο μία ελεύθερη πλευρά, συνήθως την μπροστινή και γύρω τους είχαν άλλα κτίρια με μεσοτοιχία. Με πράσινο χρώμα τα κτίρια με δύο ελεύθερες πλευρές, με πορτοκαλί χρώμα τα κτίρια με τρεις ελεύθερες πλευρές και με κόκκινο χρώμα τα κτίρια με τέσσερις ελεύθερες πλευρές.

5.4. Αβεβαιότητες και περιορισμοί

Υπήρξε μια αβεβαιότητα όσον αφορά το εξωτερικό των κτιρίων που εμφανίζονται στο GSV και της πραγματικής τους κατάστασης τον Νοέμβριο του 2017, όταν συνέβη η πλημμύρα. Οι εικόνες του Street View τραβήχτηκαν πολύ πριν την καταιγίδα περιορίζοντας την χρήση του σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια της μελέτης, εξετάστηκε το επίπεδο αλλαγής με φυσική επίσκεψη σε κάποια από τα πλημμυρισμένα κτίρια για να συγκριθούν με τις εικόνες του GSV. Οι περισσότερες διαφορές που παρατηρήθηκαν είχαν να κάνουν με αλλαγές στην όψη των κτιρίων καθώς σε κάποια είχε τοποθετηθεί ψηλή μάντρα για την αποφυγή ζημιών σε κάποια επόμενη πλημμύρα (Εικόνα 21).

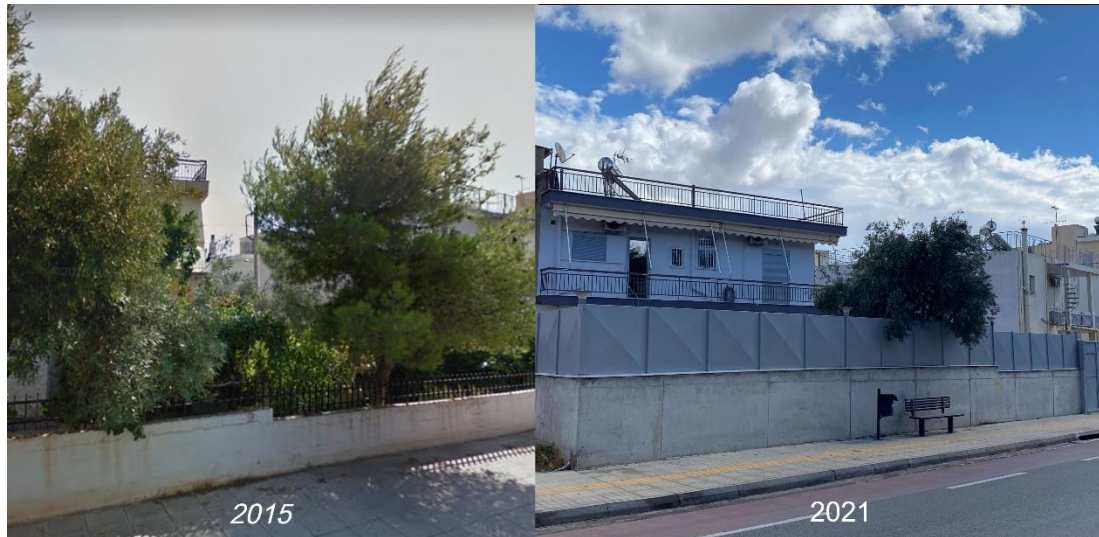


Εικόνα 21: Εικόνα από GSV (2014), Εικόνα από drone (2017) και Εικόνα in situ (2021)

Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις, το Google Maps ήταν ανακριβές ως προς τον προσανατολισμό. Πιο συγκεκριμένα, μερικά κτήρια με βάση την πραγματική τους διεύθυνση δεν βρίσκονταν στην σωστή θέση και για να βρεθεί το επιθυμητό κτήριο χρησιμοποιήθηκε το GSV. Αν και πάλι δεν βοηθούσε αυτή η προσέγγιση η μελέτη γινόταν in situ, αφού έπρεπε να προσδιοριστεί ο αριθμός της διεύθυνσης του κάθε κτηρίου.

Ένας από τους σημαντικότερους περιορισμούς της χρήσης του GSV είναι η έλλειψη εικόνων σε ορισμένα μέρη της περιοχής, όπως π.χ. πεζόδρομους που δεν μπορούσε να περάσει το όχημα της Google κ.λπ. Επιπλέον, το GSV δεν μπορεί να απεικονίσει εσωτερικά χαρακτηριστικά των κτηρίων που μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο σε κάποιο πλημμυρικό φαινόμενο όπως: κενά στον τοίχο που μπορεί να περνούν σωλήνες, υγειονομικές κατασκευές (συστήματα αποχέτευσης), ασανσέρ κ.λπ.

Βασικά στοιχεία για τον χαρακτηρισμό της τρωτότητας ενός κτιρίου είναι η ύπαρξη υπογείου και τα ανοίγματα που μπορεί να έχει κάτω από το επίπεδο του δρόμου. Με τα κάγκελα που μπορεί να είναι φυτοκαλυμμένα ή με τις μάντρες που έχουν χτίσει οι ιδιοκτήτες, είναι σχεδόν απίθανο το GSV να καταγράψει την ύπαρξη αυτών των χαρακτηριστικών. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι στην παρούσα εργασία δεν περιλαμβάνονται περιπτώσεις πλημμύρας λόγω βλάβης του δικτύου ύδρευσης, που οφείλονται κάποιες φορές σε πίεση, παραμόρφωση ή πλημμύρες υπόγειων υδάτων (Diakakis, 2017).



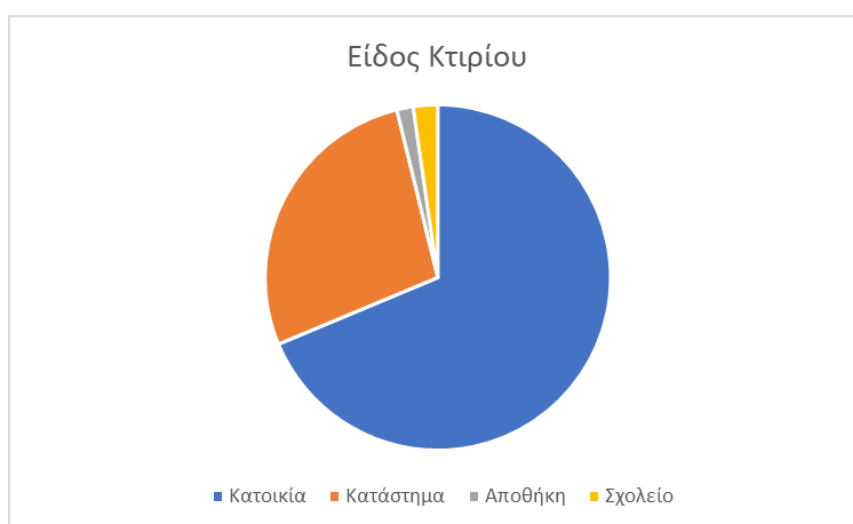
Εικόνα 22: Μάντρα που χτίστηκε μετά την πλημμύρα του 2017

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

6.1. Στατιστική επεξεργασία

Τα αποτελέσματα αυτής της εξέτασης και ο πλήρης κατάλογος των χαρακτηριστικών κάθε κτιρίου παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α. Με βάση τα χαρακτηριστικά που καταγράφηκαν κατά την παρατήρηση των κτιρίων, εξετάσαμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Η πλειονότητα των κτιρίων είναι κατοικίες, που χρησιμοποιούνται για οικιακούς σκοπούς, ενώ άλλα ανήκουν στην κατηγορία των καταστημάτων και σχολείων. Η χρήση γης των κτιρίων κατά μήκος της οδού Κοροπούλη αποκαλύπτει τον βαθμό τρωτότητάς τους με βάση την έκθεση ανθρώπινων ζών στην υπερχειλίση στην περιοχή αυτή.



Εικόνα 23: Γράφημα πίτας για το είδος του κτιρίου

Οι κατοικίες ήταν σε ποσοστό 69%, τα καταστήματα 27%, οι αποθήκες και οι σχολικές εγκαταστάσεις από 2%.

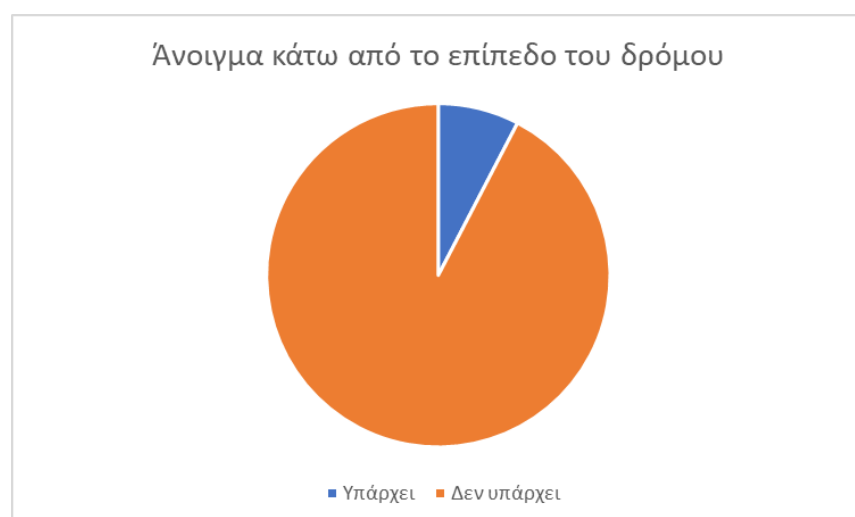
- Σχεδόν κάθε κτίριο είναι κατασκευασμένο από τούβλα, ενώ ορισμένες εξαιρέσεις είναι κατασκευασμένες από πέτρα. Τα καταστήματα είχαν ως υλικό ισογείου την τζαμαρία.



Εικόνα 24: Γράφημα πίτας για το υλικό κατασκευής του ισογείου.

Η γκαραζόπορτα ήταν σε ποσοστό 2% όπως επίσης και η πέτρα. Η τζαμαρία ήταν 27% και το μεγαλύτερο ποσοστό ήταν το 70% του τοίχου.

- Σε πολλά κτίρια, το χαμηλότερο άνοιγμα (κεντρική πόρτα ή παράθυρο) βρίσκεται ψηλότερα από το επίπεδο του εδάφους, ενώ σε άλλες κατηγορίες κτιρίων (σε μικρότερο ποσοστό) το χαμηλότερο άνοιγμα βρίσκεται στο επίπεδο του εδάφους ή κάτω από αυτό.



Εικόνα 25: Γράφημα πίτας για ύπαρξη ανοίγματος κάτω από το επίπεδο του δρόμου.

Άνοιγμα κάτω από το επίπεδο του δρόμου υπήρχε κατά 8% ενώ δεν υπήρχε σε ποσοστό 92%.

- Οι περιπτώσεις κτιρίων με πυλωτές ή γκαράζ (ή και τα δύο) είναι λιγότερες από αυτές που δεν έχουν. Διαπιστώθηκε ότι η ύπαρξη ραμπών γκαράζ που οδηγούν στο υπόγειο, ανοίγματα κάτω από το επίπεδο του εδάφους και πυλωτές, αυξάνουν την πιθανότητα πλημμύρας.



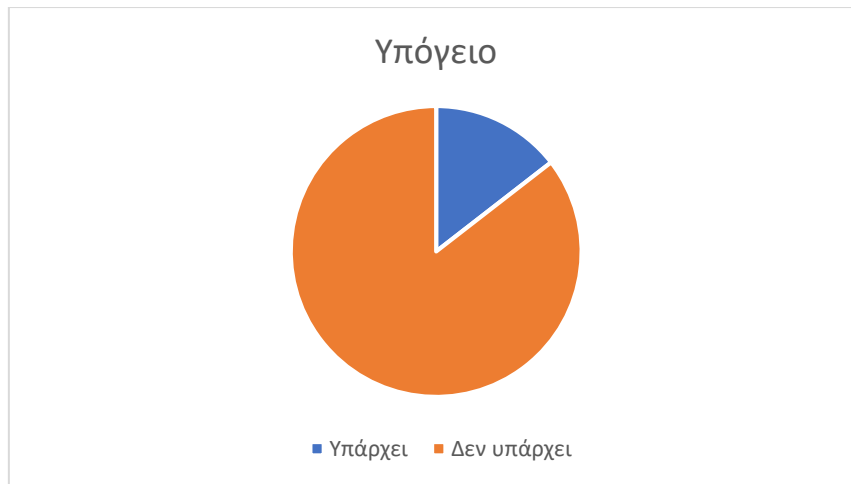
Εικόνα 26: Γράφημα πίτας για ύπαρξη ράμπας υπογείου γκαράζ.

Ράμπα υπογείου γκαράζ υπήρχε κατά 3% ενώ δεν υπήρχε σε ποσοστό 97%.



Εικόνα 27: Γράφημα πίτας για ύπαρξη πυλωτής.

Πυλωτή υπήρχε κατά 6% ενώ δεν υπήρχε σε ποσοστό 94%.



Εικόνα 28: Γράφημα πίτας για ύπαρξη υπογείου.

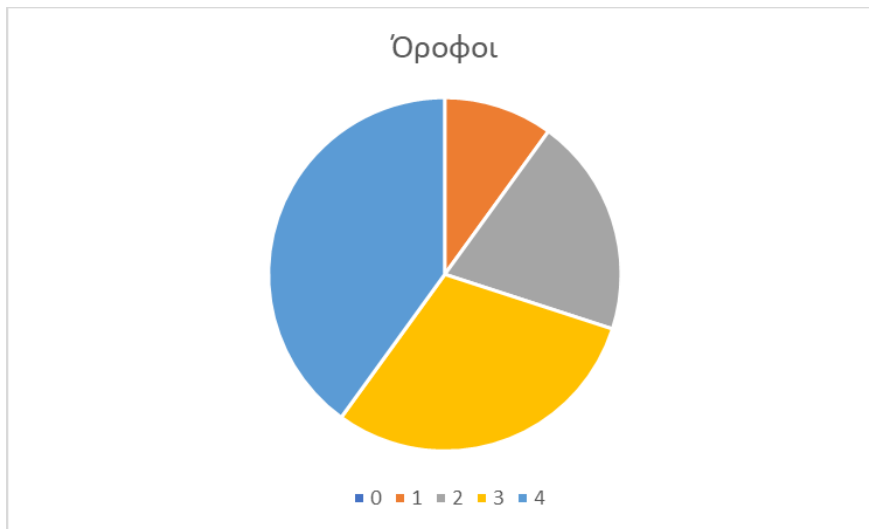
Υπόγειο υπήρχε κατά 15% ενώ δεν υπήρχε σε ποσοστό 85%.



Εικόνα 29: Γράφημα πίτας για ύπαρξη πόρτας υπογείου.

Πόρτα που οδηγεί στο υπόγειο υπήρχε κατά 8% ενώ δεν υπήρχε σε ποσοστό 92%.

- Η πλειονότητα των κτιρίων είναι μονοκατοικίες ή έχουν ένα με δύο ορόφους.



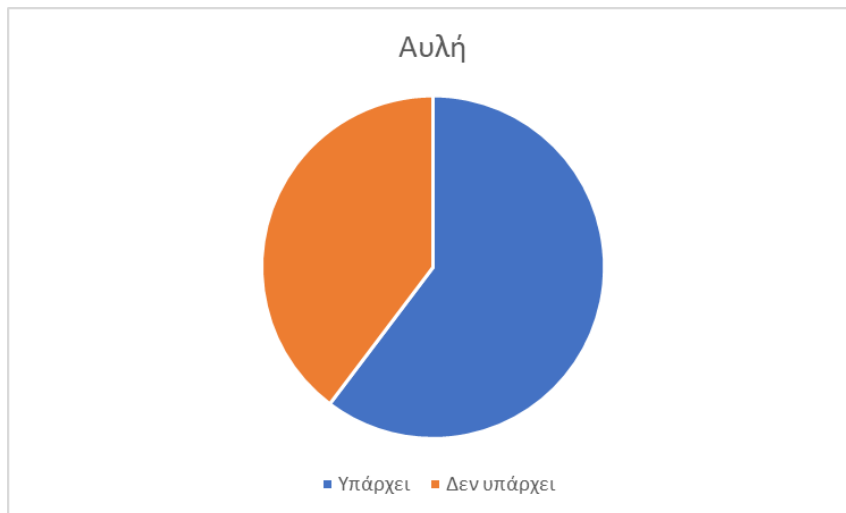
Εικόνα 30: Γράφημα πίτας για τον αριθμό των ορόφων στα κτίρια.

Τα κτίρια χωρίς ορόφους ήταν σε ποσοστό 40%, τα κτίρια με έναν όροφο 10%, τα κτίρια με δύο ορόφους 20%, τα κτίρια με τρεις ορόφους 30% και αυτά με τέσσερις είχαν ποσοστό αρκετά χαμηλότερο του 1%.

Παρόλο που συμπεριλάβαμε την εξέταση της χρήσης κάθε κτιρίου, αυτά τα κριτήρια εξαιρέθηκαν από την τελική εξέταση σχετικά με την τρωτότητα, λόγω του πορτρέτου του κινδύνου για ανθρώπινες ζωές και όχι λόγω των χαρακτηριστικών των κτιρίων, καθιστώντας το ακατάλληλο για την εκτίμηση της τρωτότητας.

Η σύγκριση έδειξε ότι ορισμένα από τα εξεταζόμενα στοιχεία ήταν πιο συχνά σε κτήρια που υπέστησαν ζημιές από την πλημμύρα. Συγκεκριμένα, σχετικά με τις υπόγειες ράμπες γκαράζ (UGR) και τις πόρτες που οδηγούν στο υπόγειο (OBD), παρατηρήθηκε ότι εμφανίζονται περισσότερο σε πλημμυρισμένα κτήρια παρά σε μη πλημμυρισμένα. Αυτή η σύγκριση έδειξε ότι αν υπάρχουν τα παραπάνω στοιχεία, αυξάνεται η τρωτότητα ενός κτηρίου σε πλημμυρικό φαινόμενο.

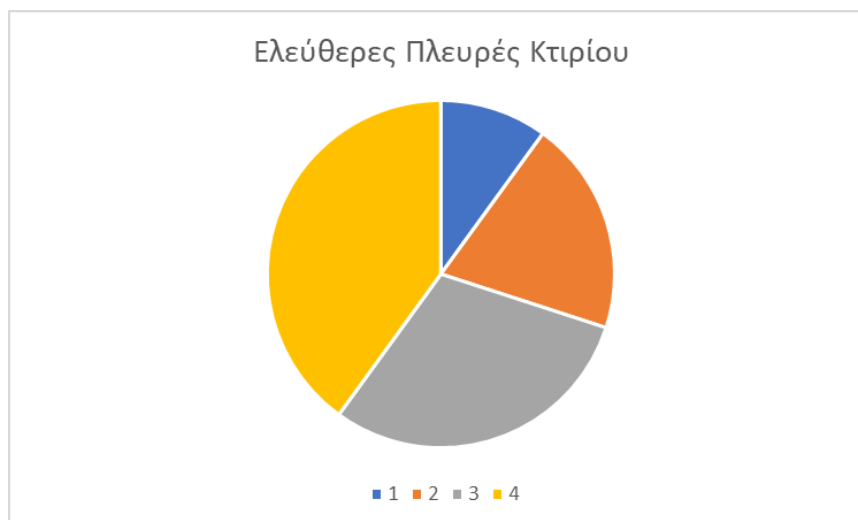
Όσον αφορά την εξέταση του στοιχείου για άνοιγμα κάτω από το επίπεδο του εδάφους (BLO) εμφανίστηκε στο 7,8% των κτηρίων που σχεδόν όλα υπέστησαν ζημιές. Δύο ακόμα βασικά στοιχεία ήταν η ύπαρξη αυλής (YRD) και η πυλωτή (PLT). Στα κτήρια που εξετάστηκαν το 60,9% είχε αυλή και το 6,2% είχε πυλωτή.



Εικόνα 31: Γράφημα πίτας για την ύπαρξη αυλής.

Αυλή υπήρχε κατά 60% ενώ δεν υπήρχε σε ποσοστό 40%.

Για τις ελεύθερες πλευρές του κτηρίου (ADJ), διαπιστώθηκε ότι κτήρια με εκτεθειμένη μόνο μία (1) πλευρά, παρουσίασαν ένα πολύ υψηλό ποσοστό μη πλημμυρισμένων κτηρίων (14%), σε σχέση με τα κτήρια που είχαν παραπάνω από μία εκτεθειμένη πλευρά, δηλαδή 3 με 4 (86%).



Εικόνα 32: Γράφημα πίτας για τις ελεύθερες πλευρές των κτιρίων.

Τα κτίρια με μία πλευρά ελεύθερη ήταν σε ποσοστό 10%, τα κτίρια με δύο ελεύθερες πλευρές 20%, τα κτίρια με τρεις ελεύθερες πλευρές 30% και αυτά με τέσσερις 40%.

Με βάση την βιβλιογραφία, όταν ένα κτήριο διαθέτει τα χαρακτηριστικά UGR, PLT και BLO είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα πλημμυρίσει.

Όσον αφορά τη μεταβλητή ADJ, η βιβλιογραφία δείχνει ότι δεν είναι σίγουρος παράγοντας πρόκλησης ζημιών από πλημμύρα. Αν ένα κτήριο έχει μια (1)

εκτεθειμένη πλευρά τότε μειώνεται η πιθανότητα να πλημμυρίσει κατά 50%. Αν όμως έχει 3-4 εκτεθειμένες πλευρές, δεν υπάρχει κάποιο σίγουρο συμπέρασμα.

Η μελέτη αυτή μπορεί να δώσει απαντήσεις σε ποσοστό περίπου 75%. Το υπόλοιπο 25% αποδίδεται σε επιρροές που μπορεί να έχει ένα κτήριο, οι οποίες δεν μελετήθηκαν σε αυτή την εργασία (πχ. Μετεωρολογία, κλίση δρόμου και εσωτερικά χαρακτηριστικά κτηρίων). Ωστόσο, το ποσοστό αυτό είναι αποδεκτό, αφού δείχνει ένα μεγάλο ποσοστό της τρωτότητας των κτηρίων, δεδομένου ότι η έρευνα αποσκοπούσε στα βασικά εξωτερικά χαρακτηριστικά που μπορούν να προκαλέσουν καταστροφές.

Τα στοιχεία που εξετάστηκαν συνδυαστικά ήταν PLT, YRD, BLO και ADJ. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι παρά το γεγονός ότι η αυλή (YRD) ως μεμονωμένο χαρακτηριστικό δεν επηρεάζει την τρωτότητα ενός κτηρίου, η παρουσία αυλής μαζί με πυλωτή (YRD και PLT) δημιουργεί ένα σημαντικό ποσοστό για το αποτέλεσμα που θα έχει το φαινόμενο στο κτήριο.

6.2. Επιπτώσεις πλημμύρας και κτήρια που υπέστησαν ζημιές

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτό το στάδιο της έρευνας, δόθηκαν από τον Διακάκη Μ. και δημιουργήθηκαν από την επιστημονική ομάδα του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, ως επιστημονική απάντηση στο πλημμυρικό γεγονός. Αυτά τα δεδομένα περιέχουν εικόνες που τραβήχτηκαν από επιστήμονες, στο σημείο και από δημοσιογράφους ειδήσεων, αλλά παρόλο που φωτογραφήθηκε μεγάλος αριθμός κτιρίων, μόνο λίγα εντοπίστηκαν στην οδό Κοροπούλη.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται κάποια κτίρια στην οδό Κοροπούλη που εξετάστηκαν σχετικά με τις ζημιές που προκλήθηκαν από την πλημμύρα, πριν από την πλημμύρα και μετά την πλημμύρα. Οι εικόνες που αντιστοιχούν στην αρχική κατάσταση δημιουργήθηκαν από το Google Street View.



Εικόνα 33: Εικόνα από GSV (αριστερά) και εικόνα από drone μετά την πλημμύρα (δεξιά)

Κάθε κτίριο εξετάστηκε με βάση τις παρατηρούμενες εξωτερικές ζημιές και στη συνέχεια εντάχθηκε σε μια συγκεκριμένη κατηγορία με βάση τη σοβαρότητα αυτών των ζημιών. Για την δημιουργία των διαφορετικών κατηγοριών/τάξεων των παρατηρούμενων ζημιών, χρησιμοποιήσαμε την ταξινόμηση που προτείνεται από τους (Diakakis, 2020) σχετικά με τις επιπτώσεις από ξαφνικές πλημμύρες, οι οποίες παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Κάθε ζημιά που καταγράφεται σε κάθε κτίριο, χαρακτηρίζεται με βάση την κλίμακα στον πίνακα.



Εικόνα 34: Εικόνα από GSV (αριστερά) και εικόνα από drone μετά την πλημμύρα (δεξιά)



Εικόνα 35: Εικόνα από GSV (αριστερά) και εικόνα από drone μετά την πλημμύρα (δεξιά)

Κατηγορία Α

- Εισροή συντριμμίων/φυτών στο κτήριο
- Αυτοκίνητα που έχουν συγκρουστεί σε κτήριο
- Πτώση δέντρου
- Αφαίρεση τέντας
- Εισροή νερού
- Καταστροφή τοίχου/φράχτη

Κατηγορία Β

- Καταστροφή εξωτερικής σκάλας
- Καταστροφή τζαμαρίας
- Αφαίρεση παραθύρων/πορτών

Κατηγορία C

- Ζημιά στους τοίχους

Κατηγορία D

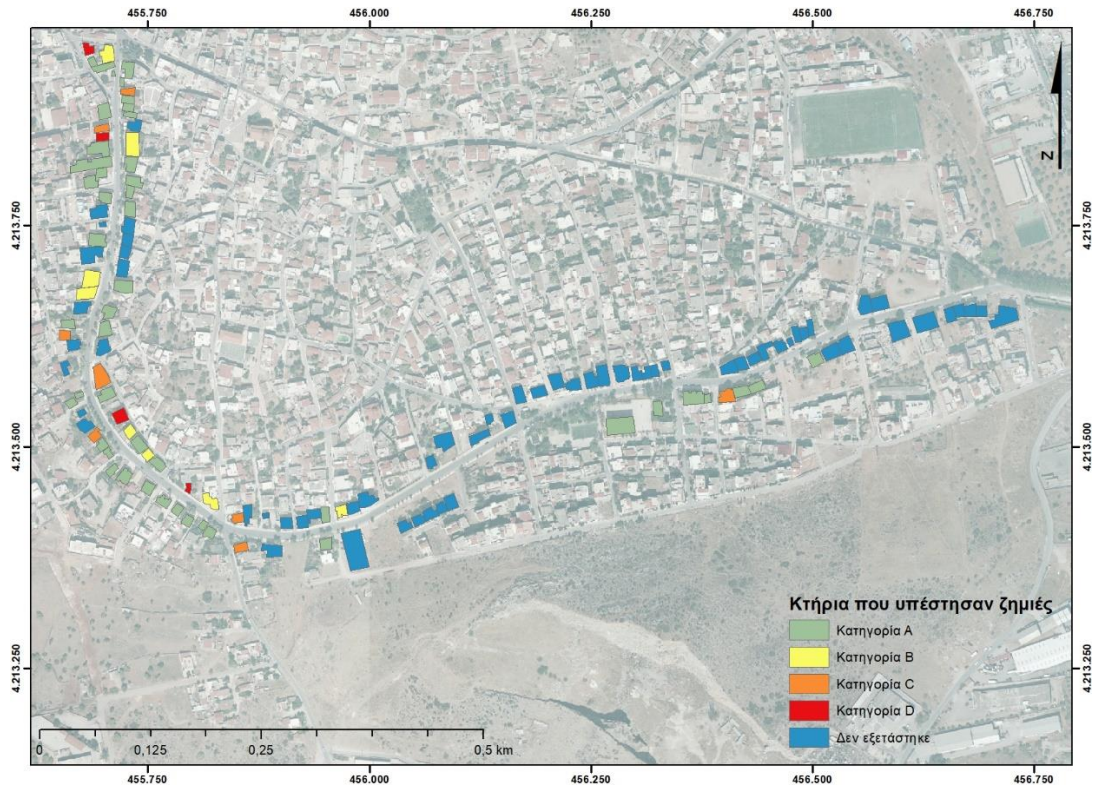
- Πτώση στέγης
- Μερική πτώση του κτιρίου

Κατηγορία E

- Ολική πτώση του κτιρίου

Πίνακας 3: Ταξινόμηση των επιπτώσεων των πλημμυρών στο αστικό περιβάλλον, σε κατηγορίες προοδευτικής σοβαρότητας μαζί με τη λεπτομερή περιγραφή τους.

Όπως παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α, μεγάλος αριθμός κτιρίων κατατάχθηκαν σε διαφορετικές κατηγορίες σοβαρότητας, με βάση τις βλάβες που μπορούσαν να παρατηρηθούν και την κατηγορία στην οποία ανήκουν. Αυτές οι κατηγορίες αντιστοιχούν σε διαφορετικά επίπεδα σοβαρότητας, επιτρέποντάς μας να δημιουργήσουμε έναν χάρτη που αναπαριστά τις ζημιές από πλημμύρες, απεικονίζοντας επομένως τη διακύμανση των ζημιών από πλημμύρες μεταξύ των κτιρίων στην οδό Κοροπούλη.



Εικόνα 36: Χάρτης από το G.I.S. με τα κτήρια που υπέστησαν ζημιές

Με βάση τον πίνακα στο Παράρτημα Α και τον παραπάνω χάρτη, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι από τα συνολικά 67 κτήρια των οποίων οι ζημιές μπορούσαν να εξεταστούν, 47 κτήρια εμπίπτουν στην κατηγορία Α, 8 κτήρια στην κατηγορία Β, 8 κτήρια στην κατηγορία C, 4 κτήρια εμπίπτουν στην κατηγορία D. Από Α έως D, αυτές οι πέντε κατηγορίες αντιστοιχούν στις κατηγορίες ζημιών που παρατηρούνται στα κτήρια της οδού Κοροπούλη με την κατηγορία Α να είναι η λιγότερο σοβαρή και η κατηγορία D πιο αυστηρή.



Εικόνα 37: Γράφημα πίτας με τις κατηγορίες των ζημιών που υπέστησαν τα κτίρια.

Από το κτίρια που υπέστησαν ζημιές, στην Κατηγορία A ανήκει το 36%, στην Κατηγορία B το 6%, στην Κατηγορία C το 6%, στην Κατηγορία D το 3% και δεν εξετάστηκε το 49%.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτήν την εργασία χρησιμοποιήθηκαν εικόνες του Google Street View αλλά και εικόνες τραβηγμένες in situ, για να γίνει σύγκριση των κτιρίων που υπέστησαν ζημιές με αυτά που παρέμειναν σχεδόν στην αρχική του μορφή, κατά τη διάρκεια της πλημμύρας του 2017 στην Μάνδρα.

Μελετήθηκαν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των κτιρίων και στη συνέχεια προσδιορίστηκε αν αυτά επηρεάζουν την τρωτότητα ενός κτηρίου σε κάποιο ακραίο, αντίστοιχο, καιρικό φαινόμενο που θα συμβεί σε αστικό περιβάλλον.

Διαπιστώθηκε ότι ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως ράμπες γκαράζ, εξωτερικές πόρτες που οδηγούν στο υπόγειο, υπόγεια καθώς και αυλές κάτω από το επίπεδο του εδάφους ή στο επίπεδο του εδάφους, παρουσιάζονται στα περισσότερα πλημμυρισμένα κτίρια. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα προαναφερθέντα στοιχεία αυξάνουν την πιθανότητα ενός κτιρίου να πλημμυρήσει.

Αντίθετα, η σύγκριση έδειξε ότι υπόγεια, αυλές και πυλωτές πάνω από το επίπεδο του εδάφους, παρουσιάζονται σε κτίρια που δεν υπέφεραν ιδιαίτερα από την πλημμύρα. Έτσι γίνεται αντιληπτό, ότι αυτά τα χαρακτηριστικά, όταν τοποθετούνται πάνω από το επίπεδο του εδάφους, μειώνεται η πιθανότητα πλημμύρας ενός κτηρίου.

Τα κτίρια με τη μία πλευρά εκτεθειμένη, είχαν υποστεί λίγες ζημιές ή και καθόλου από το φαινόμενο. Για τα κτίρια με περισσότερες από μία πλευρές εκτεθειμένες τα συμπεράσματα ήταν ασαφή.

Επιβεβαιώθηκε όμως ότι (i) ράμπες γκαράζ, (ii) ανοίγματα κάτω ή στο επίπεδο του εδάφους, και (iii) πυλωτές και αυλές κάτω ή σε επίπεδο εδάφους, επηρεάζουν την τρωτότητα ενός κτηρίου σε πλημμυρικά φαινόμενα.

Όταν υπάρχουν τα προαναφερθέντα στοιχεία, η πιθανότητα ενός κτιρίου να υποστεί ζημιές αυξάνεται. Αν βέβαια οι αυλές, οι πυλωτές και τα ανοίγματα που μπορεί να έχει ένα κτήριο (πόρτες ή παράθυρα), βρίσκονται πάνω από το έδαφος οι πιθανότητες να πλημμυρίσει είναι απλά λιγότερες.

Τα εξεταζόμενα στοιχεία δίνουν επίσης την δυνατότητα πρόβλεψης κυρίως για τους κατοίκους ώστε να προνοήσουν για κάποιο αντίστοιχο ακραίο καιρικό φαινόμενο. Η μελέτη αυτή κατάφερε να δώσει απαντήσεις σε ποσοστό περίπου 75%. Το υπόλοιπο 25% αποδίδεται σε επιρροές που μπορεί να έχει ένα κτήριο, οι οποίες δεν μελετήθηκαν σε αυτή την εργασία (πχ. Μετεωρολογία, κλίση δρόμου και εσωτερικά χαρακτηριστικά κτηρίων).

Τα ευρήματα συμβάλλουν στο ευρύτερο πεδίο της τρωτότητας των κτιρίων σε πλημμύρες και σχετίζονται με διάφορους τομείς όπως με την ασφάλιση και την βιομηχανία ακινήτων, την πολιτική προστασία, καθώς και τους μηχανικούς.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Γεωγραφική απεικόνιση της Μάνδρας (πηγή Google Earth).....	12
Εικόνα 2: Γεωλογικός Χάρτης Θριασίου Πεδίου (πηγή ΙΓΜΕ).....	13
Εικόνα 3: Αποσπάσματα από video που ανέβασαν κάτοικοι στο Youtube.....	17
Εικόνα 4: Πλάνα video από drone (Μανώλης Ανδρεαδάκης).....	18
Εικόνα 5: Πλάνα video από drone (Μανώλης Ανδρεαδάκης).....	19
Εικόνα 6: Εικόνα από το Google Earth Pro που φαίνεται η θέση της Μάνδρας	21
Εικόνα 7: Εικόνα από GSV (αριστερά) και εικόνα από drone μετά την πλημμύρα (δεξιά)	22
Εικόνα 8: Χάρτης από το GIS, κόκκινη γραμμή: όρια πλημμύρας, πράσινη γραμμή: οδός Κοροπούλη.....	24
Εικόνα 9: Χάρτης από το GIS, απεικόνιση κτιρίων	25
Εικόνα 10: Χάρτης από το G.I.S. με τις Κατηγορίες των Κτηρίων.....	26
Εικόνα 11: Χάρτης από το G.I.S. με το υλικό κατασκευής του ισογείου.....	27
Εικόνα 12: Χάρτης από το G.I.S. με το άνοιγμα κάτω από το επίπεδο του δρόμου...28	
Εικόνα 13: Χάρτης από το G.I.S. με ράμπες υπογείου γκαράζ.....	28
Εικόνα 14: Κτίριο 150 και κτίριο 770 με ράμπα υπογείου γκαράζ.	29
Εικόνα 15: Χάρτης από το G.I.S. με τις αυλές.....	29
Εικόνα 16: Χάρτης από το G.I.S. με τις πυλωτές	30
Εικόνα 17: Χάρτης από το G.I.S. με πόρτες που οδηγούν στο υπόγειο	30
Εικόνα 18: Χάρτης από το G.I.S. με τα υπόγεια των κτιρίων	31
Εικόνα 19: Χάρτης από το G.I.S. με τους ορόφους των κτιρίων	32
Εικόνα 20: Χάρτης από το G.I.S. με τις ελεύθερες πλευρές του κτηρίου	33
Εικόνα 21: Εικόνα από GSV (2014), Εικόνα από drone (2017) και Εικόνα in situ (2021)	34
Εικόνα 22: Μάντρα που χτίστηκε μετά την πλημμύρα του 2017	35
Εικόνα 23: Γράφημα πίτας για το είδος του κτιρίου	36
Εικόνα 24: Γράφημα πίτας για το υλικό κατασκευής του ισογείου.....	37
Εικόνα 25: Γράφημα πίτας για ύπαρξη ανοίγματος κάτω από το επίπεδο του δρόμου.....	37
Εικόνα 26: Γράφημα πίτας για ύπαρξη ράμπας υπογείου γκαράζ.	38
Εικόνα 27: Γράφημα πίτας για ύπαρξη πυλωτής.	38
Εικόνα 28: Γράφημα πίτας για ύπαρξη υπογείου.	39
Εικόνα 29: Γράφημα πίτας για ύπαρξη πόρτας υπογείου.	39
Εικόνα 30: Γράφημα πίτας για τον αριθμό των ορόφων στα κτίρια.....	40
Εικόνα 31: Γράφημα πίτας για την ύπαρξη αυλής.	41
Εικόνα 32: Γράφημα πίτας για τις ελεύθερες πλευρές των κτιρίων.	41
Εικόνα 33: Εικόνα από GSV (αριστερά) και εικόνα από drone μετά την πλημμύρα (δεξιά)	42
Εικόνα 34: Εικόνα από GSV (αριστερά) και εικόνα από drone μετά την πλημμύρα (δεξιά)	43

Εικόνα 35: Εικόνα από GSV (αριστερά) και εικόνα από drone μετά την πλημμύρα (δεξιά)	43
Εικόνα 36: Χάρτης από το G.I.S. με τα κτήρια που υπέστησαν ζημιές	45
Εικόνα 37: Γράφημα πίτας με τις κατηγορίες των ζημιών που υπέστησαν τα κτίρια.	46

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- A. Blanco-Vogt, J. S. (2014). *Assessment of the physical flood susceptibility of buildings on a large scale-conceptual and methodological frameworks*. Nat. Hazards Earth.
- A. Curtis, D. D.-D. (2010). *Identifying spatial patterns of recovery and abandonment in the post-Katrina holy cross neighbourhood of new Orleans*. Cartogr. Geogr. Inf. Sci. 37.
- Anguelov, C. D. (2010). *Google street view: capturing the world at street level*. Computer 43 (6).
- Blanco, A. S. (2012). *Conceptual and methodological frameworks for large scale and high resolution analysis of the physical flood vulnerability of buildings*. Comprehensive Flood Risk Management – Klijn & Schweckendiek.
- BMVBS, H. (2006). *Bauliche Schutz und Vorsorgemaßnahmen in hochwassergefährdeten Gebieten; (cited 2015 January 25)*. Ανάκτηση από [http:// www.elementar-versichern.bayern.de/Hochwasserschutzfibel.pdf](http://www.elementar-versichern.bayern.de/Hochwasserschutzfibel.pdf)
- C.L. Odgers, A. C. (2012). *Systematic social observation of children's neighborhoods using Google street view: a reliable and cost effective method*. J. Child Psychol. Psychiatry 53.
- Carrasco-Hernandez, A. S. (2015). *Centre using urban canyon geometries obtained from Google street view foratmospheric studies: potential applications in the calculation of streetlevel total shortwave irradiance*. Energy Build.
- Diakakis, A. E. (2017). *An integrated approach of ground and aerial observations in flash flood disaster investigations. The case of the 2017 Mandra flash flood in Greece*. International journal of disaster risk reduction.
- Diakakis, D. G. (2020). *Proposal of a flash flood impact severity scale for the classification and mapping of flash flood impacts*. Journal of Hydrology.
- Diakakis, M. A. (2019). *An integrated approach of ground and aerial observations in flash flood disaster investigations. The case of the 2017 Mandra flash flood in Greece*. International Journal of Disaster Risk Reduction.
- Diakakis, M. D. (2017). *Identifying elements that affect the probability of buildings to suffer flooding in urban areas using Google Street View. A case study from Athens metropolitan area in Greece*. International journal of disaster risk reduction.
- Doyle, M. D. (1998). *The potential of web-based mapping and virtual reality technologies for modelling urban environments*. Comput. Environ. Urban Syst. 22.

- efsyn.gr. (2017). *Εικόνα καταστροφής και θύματα στη Δυτική Αττική*. Ανάκτηση από https://www.efsyn.gr/ellada/koinonia/130319_eikona-katastrofis-kai-thymata-sti-dytiki-attiki
- Einfalt. (2009). *URBAS: forecasting and management of flash floods in urban areas*. Urban Water Journal.
- Evelpidou, N. M. (2009). *Flooding in Athens: The Kephisos River Flood Event of 21–22/10/1994*. in: *Proceedings of the International Conference on Urban Flood Management*. Paris, France.
- Fedeski, J. G. (2007). *Urban sustainability in the presence of flood and geological hazards: the development of a GIS-based vulnerability and risk assessment methodology*. Landsc. Urban Plan. 83.
- Fedeski, M. G. (2007). *Urban sustainability in the presence of flood and geological hazards: The development of a GIS-based vulnerability and risk assessment methodology*. Landscape and Urban Planning.
- Georgakopoulos. (2010). *Flood Hazard Assessment with the use of GIS, in Mandra, Attika (in Greek)*. National and Kapodistrian University of Athens.
- Hawkesbury-Nepean, F. M. (2006). *Reducing vulnerability of buildings to flood damage*. Parramatta: Hawkesbury-Nepean Floodplain Management Steering Committee.
- Mazzorana. (2014). *A physical approach on flood risk vulnerability of buildings*. Hydrol. Earth Syst. Sci.
- Meteo24news. (2021). *Το κλίμα της Αττικής*. Ανάκτηση από <https://www.meteo24news.gr/2013/07/to-klima-tis-attikis.html>
- Muller, A. R. (2011). *Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach - a case study for Santiago de Chile*. Natural Hazards and Earth System Sciences.
- Naumann. (2010). *Resilience and Resistance of Buildings and Built Structures to Flood Impacts – Approaches to Analysis and Evaluation*. German Annual of Spatial Research and Policy.
- Ntigkakis, C. (2019). *Reverse analysis and uncertainty assessment of major flood events under limited data availability: The case of Western Attica, November 2017*.
- Rutkin, A. (2014). *Google Street View cars sniff out gas leaks in cities*. New Scientist. Ανάκτηση από <https://www.newscientist.com/article/mg22329793-900-google-street-view-cars-sniff-out-gas-leaks-in-cities/>

- Skilodimou, G. L.-P. (2003). *Investigating the flooding events of the urban regions of Glyfada and Voula, Attica, Greece: a contribution to urban geomorphology*. Geogr. Ann.: Ser. A Phys. Geogr. 85.
- Soulios, G. S. (2018). *The floods in Greece: the case of Mandra in Attica*. Bulletin of the Geological Society of Greece.
- Stamou, A. (2018). *The Disastous Flash Flood of Mandra in Attica-Greece and now what?* Civil Engineering Research Journal.
- Stefanidis, S. (2003). *Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP)*. Natural Hazards.
- Stephenson, D. (2013). *A new approach to flood vulnerability assessment for historic buildings in England*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 14.
- Stephenson, D. (2014). *A new approach to flood vulnerability assessment for historic buildings in England*. Natural Hazards and Earth System Sciences.
- Varlas et al. (2019). *A multi-platform hydrometeorological analysis of the flash flood event of 15 November 2017 in Attica, Greece*. Remote Sensing.
- Wikipedia. (2020). *Μάνδρα Αττικής*. Από τη Βικιπαίδεια, την ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια. Ανάκτηση από el.wikipedia.org/wiki/Μάνδρα_Αττικής
- Δήμος Μάνδρας-Ειδυλλίας. (2020). Ανάκτηση από <https://mandras-eidyllias.gr/dhmos/stoixeia-dhmou/dhmos-mandras-eidyllias/>
- Κοντοές κ.α. (2018). *Ανάλυση της πλημμύρας της 15/11/2017 στη Δυτική Αττική με Αξιοποίηση Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης*. Ανάκτηση από <http://www.beyond-eocenter.eu/images/news-events/20180430/Mandra-Report-BEYOND.pdf>
- Λέκκας Ε., Ν. Π. (2018). *ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΑΠΟ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΟΥΣ ΔΗΜΟΥΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ ΔΗΜΩΝ ΑΤΤΙΚΗΣ (ΠΕΔΑ)*. . Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΜΑΝΔΡΑΣ ΩΣ ΟΔΗΓΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΕ ΕΚΤΑΚΤΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ.
- Λέκκας, Ε. Β. (2017). *Πλημμύρες στη Δυτική Αττική (Μάνδρα, Νέα Πέραμος) 15 Νοεμβρίου 2017*. Newsletter του Π.Μ.Σ. «Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών & Κρίσεων».
- Μπάμπου, Σ. (2019). *Διερεύνηση επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών στο περιβάλλον. Μελέτη περίπτωσης: πλημμυρικά φαινόμενα στο δήμο Μάνδρας-Ειδυλλίας*. Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.
- Νικολόπουλος. (2004). *Ημερίδα: «Αντιπλημμυρική προστασία Αττικής»*.

Οικονομοπούλου, Μ. (2010). *Δήμος Μάνδρας Αττικής : Κριτική προσέγγιση των κατευθύνσεων του Πολεοδομικού Σχεδιασμού και του Θεσμικού Πλαισίου όσον αφορά στον τομέα των χρήσεων γης*. Αθήνα: ΕΜΠ.

Παπανικολάου. (2015). *Γεωλογία της Ελλάδας*. Πατάκης.

Τσαγκάς, Δ. (2018). *Οι πέντε λόγοι που πνίγεται συνεχώς η Μάνδρα*. Εφημερίδα η Καθημερινή.

Φώτης. (2009). *Ποσοτική Χωρική Ανάλυση*. Γκοβόστη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Id	Bsmnt_Use	Storeys	BLO	CM	UGR	YRD	ADJ	PLT	OBD	Area_m2	UNDGR	ADDRESS	DAMAGE
5	store	0	no	glass_partition	no	no	3	no	no	262,25	no	Vag_Koropouli_ & Dimitras	B
7	residence	0	no	stone	no	yes	4	no	no	132,66	no	Dimitras & Irakleous_34	D
9	residence	0	no	wall	no	yes	3	no	no	80,08	no	Irakleous_36	A
10	residence	0	no	wall	no	yes	3	no	no	176,98	no	Irakleous_38	A
20	store	2	no	glass_partition	no	yes	2	no	no	210,33	no	Vag_Koropouli_1	A
30	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	22,51	no	Vag_Koropouli_2	A
60	store	2	no	glass_partition	no	no	3	no	no	42,73	no	Vag_Koropouli_3	A
70	store	1	no	glass_partition	no	no	2	no	no	233,34	no	Vag_Koropouli_4	A
80	store	1	no	glass_partition	no	no	3	no	no	121,07	no	Vag_Koropouli_7	C
90	residence	1	no	wall	no	yes	3	no	yes	130,16	yes	Vag_Koropouli_6A	C
100	residence	2	no	wall	no	yes	1	no	no	127,04	no	Vag_Koropouli_9	A
110	store	1	no	glass_partition	no	no	1	no	no	134,35	no	Vag_Koropouli_6B	D
120	residence	0	no	wall	no	yes	2	no	no	113,97	no	Vag_Koropouli_11A	A
130	store	0	no	glass_partition	no	yes	1	no	no	339,81	no	Vag_Koropouli_8	A
140	residence	0	no	wall	no	no	3	no	no	91,04	no	Vag_Koropouli_11B	A
150	residence	3	yes	wall	yes	no	1	no	no	526,20	yes	Vag_Koropouli_10	A
160	store	0	no	glass_partition	no	yes	1	no	no	172,69	no	Vag_Koropouli_13	-
170	residence	0	no	wall	yes	yes	2	no	no	144,57	no	Vag_Koropouli_12	A
180	store	1	no	glass_partition	no	no	1	no	no	389,09	no	Vag_Koropouli_15	B
190	residence	2	no	wall	no	yes	4	no	yes	190,17	yes	Hippocratous_2	A
200	residence	1	no	wall	no	yes	2	no	yes	217,15	yes	Vag_Koropouli_17	A
210	residence	2	no	wall	no	no	1	yes	no	165,73	no	Vag_Koropouli_14	A
220	residence	1	no	wall	no	yes	2	no	no	206,38	no	Vag_Koropouli_19A	A
230	residence	2	no	wall	no	yes	2	yes	no	263,84	no	Vag_Koropouli_16	-
240	residence	1	no	wall	no	yes	2	no	no	117,11	no	Vag_Koropouli_19B	A
250	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	46,33	no	Vag_Koropouli_18	-
260	residence	1	no	wall	no	yes	2	no	no	191,94	no	Vag_Koropouli_21	A
270	residence	1	no	wall	no	no	2	no	yes	271,31	yes	Vag_Koropouli_20	A
280	store	1	no	glass_partition	no	no	1	no	no	242,24	no	Vag_Koropouli_23	-
290	store	1	no	glass_partition	no	yes	2	yes	no	403,22	no	Vag_Koropouli_22	-
300	store	2	no	glass_partition	no	no	1	no	no	166,35	no	Vag_Koropouli_25A	-
310	storehouse	1	no	blind	no	no	2	no	no	329,66	no	Vag_Koropouli_24	B
320	store	1	no	glass_partition	no	no	1	no	no	157,08	no	Vag_Koropouli_25B	-
330	storehouse	1	no	blind	no	no	2	no	no	278,50	no	Vag_Koropouli_26-28	B
340	store	2	no	glass_partition	no	no	2	no	no	241,22	no	Vag_Koropouli_27	-
350	residence	0	no	wall	no	yes	3	no	no	217,19	no	Vag_Koropouli_30	-
360	residence	2	no	wall	no	yes	3	no	no	283,71	no	Vag_Koropouli_29	A
370	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	149,47	no	Vag_Koropouli_32	A
390	residence	0	no	wall	no	yes	2	no	no	135,94	no	Vag_Koropouli_34	C
400	store	1	no	glass_partition	no	no	3	no	no	190,78	no	Vag_Koropouli_31	A
410	residence	1	no	wall	no	yes	3	yes	no	176,10	no	Vag_Koropouli_36	-
415	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	121,79	no	Vag_Koropouli_38	-
420	residence	1	no	wall	no	yes	3	no	no	202,99	no	Vag_Koropouli_33	A
430	store	0	no	wall	no	no	4	no	no	60,84	no	Vag_Koropouli_42	A
435	residence	0	no	wall	no	no	3	no	no	104,22	no	Vag_Koropouli_42	A
440	store	1	no	glass_partition	no	no	3	yes	no	232,70	no	Vag_Koropouli_35	-
450	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	70,03	no	Vag_Koropouli_44	-
460	store	0	no	glass_partition	no	no	3	no	no	359,19	no	Vag_Koropouli_37-39	C
470	residence	0	no	wall	no	no	4	no	no	205,85	no	Vag_Koropouli_46A	-
480	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	224,22	no	Vag_Koropouli_41	A
490	residence	0	no	stone	no	no	4	no	no	143,37	no	Vag_Koropouli_46B	C
500	residence	1	no	wall	no	yes	3	no	no	213,29	no	Vag_Koropouli_45	D
510	residence	1	no	wall	no	yes	2	no	no	124,02	no	Vag_Koropouli_48	A
520	residence	1	no	wall	no	yes	3	no	no	138,89	no	Vag_Koropouli_47	B
530	residence	0	no	wall	no	yes	2	no	no	80,70	no	Vag_Koropouli_50	A
540	residence	2	yes	wall	no	yes	4	no	yes	201,81	yes	Vag_Koropouli_49	A
560	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	117,91	no	Vag_Koropouli_51	B
570	residence	0	no	wall	no	yes	3	no	no	110,48	no	Vag_Koropouli_52A	A
580	residence	1	yes	wall	no	yes	3	no	yes	172,12	yes	Vag_Koropouli_53	A
590	residence	1	no	wall	no	no	4	yes	no	195,91	no	Vag_Koropouli_52B	A
600	residence	0	yes	wall	no	yes	4	no	no	63,11	no	Vag_Koropouli_55	D
620	store	1	no	glass_partition	no	no	3	no	no	214,90	no	Vag_Koropouli_57	B
630	residence	0	no	wall	no	yes	3	no	no	153,85	no	Vag_Koropouli_56	A

640	residence	1	no	wall	no	yes	4	no	no	130,05	no	Vag_Koropouli_59A	C
642	residence	0	no	wall	no	yes	2	no	no	185,09	no	Vag_Koropouli_59B	-
644	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	45,96	no	Vag_Koropouli_61	-
650	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	151,84	no	Vag_Koropouli_58	A
660	residence	1	no	wall	no	yes	3	no	no	173,59	no	Vag_Koropouli_63	-
670	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	122,33	no	Vag_Koropouli_60	A
680	residence	1	no	wall	no	yes	4	no	no	171,27	no	Vag_Koropouli_65	-
690	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	122,11	no	Vag_Koropouli_62	A
700	residence	0	no	wall	no	yes	3	no	no	177,21	no	Vag_Koropouli_67	-
710	residence	1	no	wall	no	yes	4	no	no	70,89	no	Vag_Koropouli_64	A
720	residence	0	no	wall	no	yes	3	no	no	162,17	no	Vag_Koropouli_67	A
730	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	145,07	no	Vag_Koropouli_66	A
740	residence	1	no	wall	no	yes	2	no	no	146,97	no	Vag_Koropouli_69	B
750	residence	0	no	wall	no	yes	3	no	no	142,20	no	Vag_Koropouli_68	C
760	store	1	no	glass_partition	no	no	1	no	no	166,60	yes	Vag_Koropouli_71	-
770	store	1	no	glass_partition	yes	no	4	no	no	277,59	no	Vag_Koropouli_70	-
780	store	2	no	glass_partition	no	no	4	no	no	284,95	no	Vag_Koropouli_73	-
790	residence	0	no	wall	no	yes	3	no	no	162,24	no		A
795	school	1	no	wall	no	yes	4	no	no	948,84	no	Vag_Koropouli_ & Platonos	-
800	residence	0	yes	wall	no	yes	4	no	yes	132,41	yes	Vag_Koropouli_75	-
802	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	347,65	no	Patrokλου_6	-
810	residence	1	no	wall	no	yes	4	no	no	154,98	no	Marathonos_1	-
820	store	2	no	glass_partition	no	no	3	no	no	226,11	no	Vag_Koropouli_81	-
822	residence	0	no	wall	no	yes	3	no	no	85,20	no		-
830	residence	1	no	wall	no	yes	4	no	no	146,57	no	Marathonos_3	-
840	residence	1	yes	wall	no	yes	4	no	no	216,58	yes	Achilleos_ & Vag_Koropouli	-
842	residence	0	no	wall	no	no	4	no	no	228,32	no	Vag_Koropouli	-
844	residence	1	no	wall	no	yes	3	no	no	197,26	no	Vag_Koropouli	-
850	residence	1	no	wall	no	yes	4	no	no	175,02	no	Marathonos_5	-
860	residence	2	no	wall	no	yes	3	no	no	249,75	yes	Vag_Koropouli	-
870	residence	1	no	wall	no	yes	4	no	no	116,56	no	Marathonos_7	-
880	store	1	no	glass_partition	no	no	3	no	no	191,33	no	Vag_Koropouli_ & Dilou_12	-
890	residence	1	no	wall	no	no	4	no	no	204,60	no	Marathonos_9	-
900	residence	1	yes	wall	no	no	2	no	yes	234,19	yes	Vag_Koropouli_93	-
910	school	2	no	wall	no	yes	4	no	no	581,59	no	Vag_Koropouli	A
920	store	1	no	glass_partition	no	no	3	no	no	303,83	no	Vag_Koropouli_95	-
930	school	0	no	wall	no	no	4	no	no	166,35	no		A
940	store	4	no	glass_partition	no	no	3	no	no	283,68	no	Vag_Koropouli_97	-
950	store	2	no	glass_partition	no	no	4	no	no	340,26	no	Vag_Koropouli_ & Filippou	A
955	residence	0	no	wall	no	yes	4	no	no	67,74	no	Vag_Koropouli_98	A
960	residence	1	no	wall	no	no	2	no	no	157,03	no	Vag_Koropouli_99	-
970	store	2	no	glass_partition	no	no	3	no	no	231,63	no	Vag_Koropouli_100	C
980	residence	1	no	wall	no	yes	2	no	no	127,71	no	Vag_Koropouli_101	-
990	store	1	no	glass_partition	no	no	2	no	no	201,65	no	Vag_Koropouli_102	A
1000	residence	0	no	wall	no	yes	2	no	no	112,36	no	Vag_Koropouli_103	-
1010	residence	1	no	wall	no	yes	3	no	no	187,51	no	Vag_Koropouli_104	A
1020	residence	1	no	wall	no	yes	3	no	no	92,58	no	Vag_Koropouli_105	-
1030	residence	1	yes	wall	no	yes	4	no	no	202,91	no	Vag_Koropouli_110	A
1040	residence	2	no	wall	no	yes	3	no	no	230,96	no	Vag_Koropouli_105	-
1050	residence	0	no	wall	no	yes	3	no	yes	283,24	yes		-
1060	residence	1	no	wall	no	yes	3	no	no	187,63	no	Vag_Koropouli_107	-
1070	residence	1	no	wall	no	yes	3	no	no	257,58	yes	Themidos_ & Vag_Koropouli	-
1080	residence	2	no	wall	no	no	3	yes	no	169,01	no	Vag_Koropouli_109	-
1100	residence	1	no	wall	no	yes	3	no	yes	205,17	yes	Vag_Koropouli_111	-
1110	residence	1	no	wall	no	no	3	yes	no	433,20	no	Vag_Koropouli_120	-
1120	residence	0	yes	wall	no	yes	4	no	no	151,12	yes		-
1130	store	2	no	glass_partition	no	no	3	no	no	469,27	no	Vag_Koropouli_122	-
1140	residence	0	no	wall	no	no	4	no	no	56,57	no		-
1150	store	1	no	glass_partition	no	no	3	no	no	180,92	no	Vag_Koropouli_124	-
1155	store	1	no	glass_partition	no	no	3	no	no	155,19	no	Vag_Koropouli_126	-
1160	residence	1	no	wall	no	no	4	no	no	148,29	no	Vag_Koropouli_115	-
1170	store	2	no	glass_partition	no	no	2	no	no	178,43	yes	Vag_Koropouli_128	-
1180	residence	1	yes	wall	yes	no	2	no	no	121,39	yes	Vag_Koropouli_117	-
1190	store	2	no	glass_partition	no	no	2	no	no	146,56	no	Vag_Koropouli_130	-
1200	residence	0	no	wall	no	yes	3	no	yes	127,79	yes	Vag_Koropouli_119	-
1210	store	3	no	glass_partition	no	no	4	no	no	500,40	no	Str_Nick_Roka_1	-
1240	store	2	no	glass_partition	no	no	3	no	no	276,57	no	Vag_Koropouli_123	-
1260	residence	1	no	wall	no	yes	3	no	no	288,07	no	Vag_Koropouli_125	-