



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM  
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

**Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης**  
Master Thesis

**Σύνθετες υποδομές και δυναμική των ξαφνικών πλημμυρών. Ανάλυση με τη βοήθεια ΣμηΕΑ στη Νέα Πέραμο (2017)**

Complex infrastructures and dynamics of flash floods. UAS – aided study in Nea Peramos (2017)

Ελευθερία Έζατ / Eleftheria Ezat

A.M / R.N. : 18052

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

**No. 2020135**

**Αθήνα, Ιούνιος 2020**  
Athens, June 2020



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM  
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

## Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Master Thesis

# Σύνθετες υποδομές και δυναμική των ξαφνικών πλημμυρών. Ανάλυση με τη βοήθεια ΣμηΕΑ στη Νέα Πέραμο (2017)

Complex infrastructures and dynamics of flash floods. UAS – aided study in Nea Peramos (2017)

Ελευθερία Έζατ / Eleftheria Ezat

A.M. / R.N. : 18052

### Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

**Δρ. Μ. Σταυροπούλου,**  
Αναπλ. Καθηγ. ΕΚΠΑ

**Δρ. Ε. Σκούρτσος,**  
Επικ. Καθηγ. ΕΚΠΑ

**Δρ. Ε. Λέκκας,**  
Καθηγ. ΕΚΠΑ

### Εξειδικευμένη Επιστημονική Καθοδήγηση:

**Ε. Ανδρεαδάκης**  
Γεωλόγος MSc, PhDc, Ε.Τ.Ε.Π ΕΚΠΑ

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	i
Περίληψη .....	ii
Abstract .....	iii
Πρόλογος και Ευχαριστίες.....	iv
Κατάλογος Πινάκων - Χαρτών.....	v
Κατάλογος Εικόνων .....	vii
<b>Κεφάλαιο 1. Πλημμύρες και Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών .....</b>	<b>15</b>
1.1 Εισαγωγή.....	15
1.2 Κατηγορίες πλημμυρών .....	16
1.3 Πλημμυρική επικινδυνότητα και αστικοποίηση .....	24
1.3.1 Χαρακτηριστικά αστικών περιοχών και μοντελοποίηση πλημμυρών.....	24
1.3.2 Ο ρόλος των εμποδίων στη ροή των ποτάμιων ρεμάτων .....	28
1.4 Οι πλημμύρες στην Ελλάδα .....	30
1.5 Το πλημμυρικό επεισόδιο της 15 <sup>ης</sup> Νοεμβρίου στη περιοχή της Δυτικής Αττικής ...	32
1.6 Η συμβολή των μη επανδρωμένων οχημάτων στη μεταπλημμυρική έρευνα .....	34
<b>Κεφάλαιο 2. Μεθοδολογία .....</b>	<b>36</b>
2.1 Στόχος και περιγραφή των εργασιών .....	36
2.2 Περιοχή μελέτης.....	38
2.2.1 Γεωλογία και μορφολογία .....	38
2.2.2 Αξιολόγηση πλημμυρικού κινδύνου .....	40
2.2.3 Τεχνικά έργα.....	41
2.3 Χαρτογράφηση επιμέρους στοιχείων.....	43
2.3.1 Όριο πλημμύρας .....	43
2.3.2 Αποθέσεις πλημμύρας .....	46
2.3.3 Πιθανές αποθέσεις πλημμύρας .....	49
2.3.4 Πιθανό όριο πλημμύρας .....	54
2.3.5 Μικρές εδαφικές διαβρώσεις.....	56
2.3.6 Παλαιά κοίτη.....	61
2.3.7 Μεταβολές ακτογραμμής .....	65
2.3.8 Όριο διάβρωσης .....	69
2.3.9 Θραύσεις οδοστρώματος και αστοχίες πρανών .....	72
2.3.10 Οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο .....	74
2.3.11 Αγωγός απομάκρυνσης όμβριων υδάτων.....	78
2.3.12 Πληροφορίες σχετικά με τη κίνηση των υδάτων .....	82
2.3.13 Επιβεβαίωση κατηγοριοποίησης ταχύτητας με πραγματικά δεδομένα .....	91
<b>Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα.....</b>	<b>121</b>
<b>Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα.....</b>	<b>126</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>129</b>

## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια διερεύνησης της σχέσης μεταξύ των σύνθετων τεχνικών υποδομών και έργων που συναντώνται ευρέως στον αστικό ιστό και της δυναμικής των ξαφνικών πλημμυρών, οι οποίες τα τελευταία έτη έχουν κάνει ιδιαίτερα αισθητή τη παρουσία τους τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Η περιοχή μελέτης είναι η Νέα Πέραμος Αττικής, η οποία πλήχθηκε από τη φονική κακοκαιρία της 15<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2017 στη Δυτική Αττική. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι κυρίως υλικό του μη επανδρωμένου οχήματος (φωτογραφίες και βίντεο) από την επιτόπια παρατήρηση και έρευνα κλιμακίου του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, καθώς επίσης και δορυφορικές εικόνες της περιοχής του προγράμματος Google Earth Pro, ο ορθοφωτοχάρτης από το Ελληνικό Κτηματολόγιο και τέλος το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM) και Υψομέτρων (DEM) της περιοχής. Τα παραπάνω δεδομένα επεξεργάστηκαν κατάλληλα και χαρτογραφήθηκαν μέσω του προγράμματος ArcMap του λογισμικού ArcGIS. Συγκεκριμένα, έγινε χαρτογράφηση του πιθανού και βέβαιου ορίου πλημμύρας της περιοχής, των πιθανών και βέβαιων αποθέσεων, της μεταβολής της ακτογραμμής της περιοχής και των αστοχιών του οδοστρώματος και των καταπτώσεων βράχων. Επίσης, του ορίου της κοίτης του ρέματος Κουλουριώτικο πριν τη πλημμύρα, του βασικού ορίου διάβρωσης καθώς και μικρής έκτασης εδαφικών διαβρώσεων, του οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου της περιοχής και του αγωγού απομάκρυνσης υδάτων. Τέλος έγινε υπολογισμός και κατηγοριοποίηση των ταχυτήτων των υδάτων. Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας αυτής ήταν η δημιουργία απλών και σύνθετων χαρτών ποσοτικής και ποιοτικής εκτίμησης των επιπτώσεων της ξαφνικής πλημμύρας στη περιοχή. Από την επεξεργασία και τους χάρτες αυτούς προέκυψε το συμπέρασμα της άρρηκτης σχέσης μεταξύ των σύνθετων υποδομών και του πλημμυρικού γεγονότος και πως οι πρώτες επηρέασαν τη πορεία της πλημμύρας, αλλά ακόμα πως η ίδια η πλημμύρα έδρασε πάνω στις υποδομές αυτές. Συγκεκριμένα, διακρίθηκε η χαρακτηριστική πλευρική επέκταση της πλημμύρας ανάντη μεγάλων εμποδίων στη ροή, όπως είναι το ανάχωμα της Σιδηροδρομικής Γραμμής της περιοχής και η αύξηση του πλάτους της πλημμυρικής ζώνης κατάντη αυτού, τόσο λόγω της ύπαρξης τους όσο και λόγω ήπιας μορφολογίας, η οποία οφείλεται στην ύπαρξη αλλουβιακού ριπιδίου. Ακόμη, χαρακτηριστική ήταν η αυξομείωση της ταχύτητας των υδάτων λόγω ύπαρξης έργων εγκαρσίων προς τη ροή, αλλά και η μεγάλη διαβρωτική ενέργεια αυτών, όπως και οι μεταβολές της ακτογραμμής και ιδιαίτερα στη περιοχή του αλλουβιακού ριπιδίου λόγω απόθεσης.



## Abstract

The aim of this study is the analysis of the relation between complex infrastructures that are very common in cities and dynamics of flash floods. This type of floods has a strong presence during the past years, not only in Greece but globally. The area of study is Nea Peramos, Attica, Greece which was affected by the deadly storm that took place on the 15<sup>th</sup> of November 2017 in West Attica. The data that were used are mainly footage of the Unmanned Aircraft Vehicle, which was used by the Department of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens, Greece during the in-situ observations and research and secondly, satellite images of the area provided by Google Earth Pro software, the orthophotomap of the Hellenic Cadastre and the Digital Surface and Elevation Models (DSM and DEM) of the area. The data were analyzed and mapped by using the ArcMap software of ArcGIS. Specifically, the observed and estimated flood extent, the observed and estimated flood deposition area, the coastline changes and road fractures and rockfalls were mapped. Furthermore, the pre-flood riverbed boundaries of Koulouriotiko stream, the main and secondary linear erosion areas, the road and railway network of the area and the concrete channel were also mapped. Lastly, the water velocity was calculated and categorized. The result of the analysis was the production of maps for the quantitative and qualitative estimation of the consequences of the flash flood in the study area. The conclusion was that there is a deep connection between the complex structures and the flood event, as the infrastructures contributed to the course of the flood and the flood itself acted dramatically in these structures, causing serious damages especially on the road and railway network. Specifically, the lateral expansion of the flood upstream big obstacles on flow, like the embankment of the National Railway, and the increase of the width of flood zone downstream this embankment can be seen. This increase is due not only to this obstacle, but also to gentle slopes because of the existence of an alluvial fan in the area. Furthermore, the erosive energy and the fluctuation of the water velocity due to transverse on flow obstacles are characteristic, like the coastline changes especially on the area of the alluvial fan because of deposition.

## Πρόλογος και Ευχαριστίες

Όταν ξεκίνησα την πορεία μου στο Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος πριν 7 χρόνια, δε φανταζόμουν σε καμία περίπτωση ότι θα είχα φτάσει σήμερα να ολοκληρώνω το μεταπτυχιακό μου πάνω στις Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων. Ήμουν κι εγώ ένα από τα πολλά παιδιά που επιθυμούσαν να εισέλθουν σε κάποια άλλη σχολή αλλά κατέληξαν σε αυτήν λόγω χαμηλής βαθμολογίας. Καθώς όμως ο καιρός πενούσε, η επιστήμη της Γεωλογίας με γοήτεψε και με έκανε να θέλω να ασχοληθώ με αυτήν επαγγελματικά, ακόμα κι αν δεν αναγνωρίζεται η αξία της στη χώρα μας, ενώ αυτή αποτελεί ένα μοναδικό γεωλογικό εργαστήριο παγκοσμίως.

Ολοκληρώνοντας τις σπουδές μου σε προπτυχιακό επίπεδο, αποφάσισα να συνεχίσω και σε μεταπτυχιακό επίπεδο στον τομέα του περιβάλλοντος και των φυσικών καταστροφών, ο οποίος με ενθουσίαζε και παράλληλα με προβλημάτιζε από τη παιδική μου ηλικία. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω και να εκφράσω την ιδιαίτερη εκτίμηση μου σε όλους τους καθηγητές και συντελεστές του μεταπτυχιακού προγράμματος, στους καθηγητές της τριμελούς επιτροπής της διπλωματικής μου εργασίας και ιδιαίτερα στον κ. Μανώλη Ανδρεαδάκη για όλη τη στήριξη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε από τη συγγραφή της προπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας μέχρι και σήμερα. Ακόμη, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου για την ηθική και οικονομική υποστήριξη καθώς και στο αγόρι μου για την πίστη και τη συμπαράστασή του.

«Το μυαλό δεν είναι ένα δοχείο που πρέπει να γεμίσει

αλλά μια φωτιά που πρέπει ν'ανάψει».

**Πλούταρχος**

## Κατάλογος Πινάκων - Χαρτών

- Χάρτης 1 : Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης με ισουψείς καμπύλες. Η γεωλογία της περιοχής (αλλουβιακές προσχώσεις) σε συνδυασμό με τη μορφολογία υποδηλώνουν την ύπαρξη αλλουβιακού ριπιδίου, το οποίο ενεργοποιήθηκε κατά τη ξαφνική πλημμύρα της 15<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2017. Οι ισουψείς καμπύλες έχουν ισοδιάσταση 5 m.....39
- Χάρτης 2 : Χάρτης Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου πλημμύρας Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής όπου διακρίνεται η ευάλωτη περιοχή Μεγάρων – Νέας Περάμου.....40
- Χάρτης 3 : Χάρτης απεικόνισης των σημαντικότερων τεχνικών έργων της περιοχής με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....43
- Χάρτης 4 : Χάρτης αποθέσεων και πιθανών (εκτιμώμενων) αποθέσεων της περιοχής με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....52
- Χάρτης 5 : Χάρτης αποθέσεων και πιθανών (εκτιμώμενων) αποθέσεων της περιοχής με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....53
- Χάρτης 6 : Χάρτης χαρτογραφημένων γραμμικών στοιχείων της περιοχής με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου. Διακρίνεται το όριο πλημμύρας, το πιθανό όριο πλημμύρας, οι αστοχίες στο οδόστρωμα και στο ανάχωμα της Εθνικής Οδού, το όριο διάβρωσης και μικρότερης κλίμακας εδαφικές διαβρώσεις.....59
- Χάρτης 7 : Χάρτης χαρτογραφημένων γραμμικών στοιχείων της περιοχής με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM). Διακρίνεται το όριο πλημμύρας, το πιθανό όριο πλημμύρας, οι αστοχίες στο οδόστρωμα και στο ανάχωμα της Εθνικής Οδού, το όριο διάβρωσης και μικρότερης κλίμακας εδαφικές διαβρώσεις.....60
- Χάρτης 8 : Χάρτης ορίων της κοίτης του ρέματος Κουλουριώτικο πριν τη πλημμύρα με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου. Διακρίνονται ακόμα τα σημεία στα οποία υπήρξαν κάποιες μικρές αστοχίες πρανών καθώς και η θέση φυσικού εμποδίου εντός της κοίτης, κατά τη διάρκεια της πλημμύρας.....64
- Χάρτης 9 : Χάρτης ορίων της κοίτης του ρέματος Κουλουριώτικο πριν τη πλημμύρα με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM). Διακρίνονται ακόμα τα σημεία στα οποία υπήρξαν κάποιες μικρές αστοχίες πρανών καθώς και η θέση φυσικού εμποδίου εντός της κοίτης, κατά τη διάρκεια της πλημμύρας.....65
- Χάρτης 10 : Χάρτης ακτογραμμής πριν (14/10/2017) και μετά το πλημμυρικό γεγονός (31/8/2018) με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....68
- Χάρτης 11 : Χάρτης ακτογραμμής πριν (14/10/2017) και μετά το πλημμυρικό γεγονός (31/8/2018) με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....69
- Χάρτης 12 : Χάρτης οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου της περιοχής με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....77

Χάρτης 13 : Χάρτης οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου της περιοχής με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	78
Χάρτης 14 : Χάρτης αγωγού απομάκρυνσης όμβριων υδάτων της περιοχής με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	81
Χάρτης 15 : Χάρτης αγωγού απομάκρυνσης όμβριων υδάτων με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	82
Χάρτης 16 : Χάρτης αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	117
Χάρτης 17 : Χάρτης αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	118
Χάρτης 18 : Σύνθετος χάρτης πληροφοριών κίνησης υδάτων (τιμών ταχυτήτων και κατεύθυνσης τους) με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	119
Χάρτης 19 : Σύνθετος χάρτης πληροφοριών κίνησης υδάτων (τιμών ταχυτήτων και κατεύθυνσης τους) με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	120
Χάρτης 20 : Σύνθετος χάρτης απεικόνισης ορίου πλημμύρας (βέβαιου και πιθανού), περιοχών απόθεσης (βέβαιων και πιθανών), μεταβολής της ακτογραμμής και τεχνικών έργων της περιοχής με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	121
Χάρτης 21 : Σύνθετος χάρτης πληροφοριών κίνησης υδάτων (τιμών ταχυτήτων και κατεύθυνσης τους) με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	123
Χάρτης 22 : Σύνθετος χάρτης απεικόνισης γραμμικών διαβρώσεων (κύριες και δευτερεύουσες), περιοχών απόθεσης (βέβαιων και πιθανών), τεχνικών έργων, θραύσεων οδοστρώματος και αστοχιών πρανών και μεταβολής της ακτογραμμής με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	124

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 : Η πλημμυρική πεδιάδα ενός ποταμού. Διακρίνονται τα ιζήματα που έχουν αποτεθεί από το ποτάμι, με πορτοκαλί χρώμα. (Κράνης et al., 2018).....	16
Εικόνα 1.2.1 : Υπερχειλίση του ποταμού Αλφειού στο Νομό Ηλείας τον Ιανουάριο 2019. (Πηγή : <a href="https://m.naftemporiki.gr/story/1433814">https://m.naftemporiki.gr/story/1433814</a> ).....	17
Εικόνα 1.2.2 : Πλημμύρα στα βόρεια προάστια της Αθήνας τον Ιούλιο 2018. (Πηγή : <a href="https://www.cnn.gr/news/ellada/story/140307/plimmyres-maroyisi-h-perifereia-attikis-einai-apokleistika-ypeythyni-leei-o-patoylis">https://www.cnn.gr/news/ellada/story/140307/plimmyres-maroyisi-h-perifereia-attikis-einai-apokleistika-ypeythyni-leei-o-patoylis</a> ).....	18
Εικόνα 1.2.3 : Επιπτώσεις της καταστροφικής πλημμύρας της Δυτικής Αττικής τον Νοέμβριο 2017, στην περιοχή της Μάνδρας. (Πηγή : <a href="https://www.mononews.gr/politics/mandra-kolafos-i-diataxi-tis-isangelea-gia-tis-efthines-pou-odigisan-stin-tragodia">https://www.mononews.gr/politics/mandra-kolafos-i-diataxi-tis-isangelea-gia-tis-efthines-pou-odigisan-stin-tragodia</a> ).....	19
Εικόνα 1.2.4 : Πλημμύρες λόγω του φονικού τυφώνα Κατρίνα, ο οποίος έπληξε τις ακτές των Η.Π.Α το 2005. (Πηγή : <a href="https://www.meteo24news.gr/2016/08/hurricane-katrina-2005.html">https://www.meteo24news.gr/2016/08/hurricane-katrina-2005.html</a> ).....	20
Εικόνα 1.2.5 : Αστοχία του φράγματος στη Λίμνη Delhi των Η.Π.Α το 2010. (Πηγή : <a href="https://damfailures.org/lessons-learned/high-and-significant-hazard-dams-should-be-design-to-pass-an-appropriate-design-flood-dams-constructed-prior-to-the-availability-of-extreme-rainfall-data-should-be-assessed-to-make-sure-they-have-ad/">https://damfailures.org/lessons-learned/high-and-significant-hazard-dams-should-be-design-to-pass-an-appropriate-design-flood-dams-constructed-prior-to-the-availability-of-extreme-rainfall-data-should-be-assessed-to-make-sure-they-have-ad/</a> ).....	21
Εικόνα 1.2.6 : Παράδειγμα πλημμύρας λόγω κορεσμού του υδροφόρου ορίζοντα σε περιοχή της Ιρλανδίας. (Πηγή : <a href="https://www.gsi.ie/en-ie/programmes-and-projects/groundwater/projects/gwflood/Pages/What-is-groundwater-flooding.aspx">https://www.gsi.ie/en-ie/programmes-and-projects/groundwater/projects/gwflood/Pages/What-is-groundwater-flooding.aspx</a> ).....	22
Εικόνα 1.2.7: Πλημμυρικά φαινόμενα λόγω βροχόπτωσης και γρήγορης τήξης χιονιού στη περιοχή Brandon των Η.Π.Α τον Μάρτιο 2018. (Πηγή : <a href="https://www.ksfy.com/content/news/Rain-snowmelt-cause-flash-flooding-near-Brandon-476062003.html">https://www.ksfy.com/content/news/Rain-snowmelt-cause-flash-flooding-near-Brandon-476062003.html</a> ).....	23
Εικόνα 1.2.8 : Πλημμύρα σε περιοχή της πόλης Cedar Rapids των Η.Π.Α τον Φεβρουάριο 2013. (Πηγή : <a href="http://homegrowniowan.com/ice-jam-causes-flooding-in-cedar-rapids-localized-flooding-elsewhere-in-iowa/">http://homegrowniowan.com/ice-jam-causes-flooding-in-cedar-rapids-localized-flooding-elsewhere-in-iowa/</a> ).....	24
Εικόνα 1.3.1.1 : Φυσική λεκάνη απορροής και αστικοποιημένη περιοχή απορροής. (Yau Seng Mah et al., 2014).....	25
Εικόνα 1.3.1.2 : Διάγραμμα χρόνου – παροχής υδάτων για μια συγκεκριμένη περιοχή πριν και μετά την αστικοποίηση αυτής. (Διακάκης, 2018).....	26
Εικόνα 1.3.1.3 : Οι υδραυλικές διατάξεις ελεύθερης αποστράγγισης (a), επηρεαζόμενης αποστράγγισης (b) και υπερχειλίσης (c). (Djordjevic et al., 2005).....	27
Εικόνα 1.3.2.1 : Μηκοτομή στην οποία διακρίνονται στάσιμα νερά πάνω και ανάντη ενός εμποδίου. (J.D. Fenton, 2008).....	28
Εικόνα 1.3.2.2 : Απεικόνιση της ροής και της διάταξης τριβής σε ένα κυλινδρικό βάθρο. (Entesar A.S. EL-Ghorab, 2013).....	29

Εικόνα 1.4.1 : Αριθμός πλημμυρών και αριθμός θανάτων ανά 5ετία για τη περίοδο 1880-2010 στον Ελληνικό χώρο. (Diakakis M., Mavroulis S., Deligiannakis G., 2012).....	31
Εικόνα 1.5.1 : Εκτίμηση βροχόπτωσης στη περιοχή από δορυφορικές εικόνες της NASA. (Lekkas et al., 2017).....	33
Εικόνα 1.5.2 : Η περιοχή της Νέας Περάμου και ο αγωγός ανάντη της Εθνικής Οδού. (Lekkas et al., 2017).....	33
Εικόνα 2.1.1 : Διάγραμμα ροής απεικόνισης των πρωτογενών δεδομένων και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων μετά από την επεξεργασία τους.....	37
Εικόνα 2.2.3.1 : Αποψη του πλακοσκεπή αγωγού κατάντη της Ολυμπίας Οδού (Google Earth Street View, ημερομηνία εικόνας 9/2011).....	41
Εικόνα 2.2.3.2 : Ο αγωγός κοντά στην ακτογραμμή της περιοχής (Google Earth Street View, ημερομηνία εικόνας 9/2011).....	42
Εικόνα 2.3.1.1 : Στιγμιότυπο από βίντεο του μη επανδρωμένου οχήματος στο οποίο διακρίνεται το όριο πλημμύρας (έκταση με καφέ χρώμα). Ημερομηνία και ώρα λήψης : 15/11/2017, 10.03 π.μ.....	44
Εικόνα 2.3.1.2 : Χαρτογράφηση του ανωτέρου ορίου (κόκκινη γραμμή) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.....	45
Εικόνα 2.3.1.3 : Απεικόνιση του παραπάνω χαρτογραφημένου ορίου πλημμύρας στο πρόγραμμα ArcMap (κόκκινη γραμμή) με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου. Διακρίνονται ακόμη το όριο διάβρωσης (διακεκομμένη γραμμή), κάποιες μικρότερες εδαφικές διαβρώσεις (μπλε γραμμή), καθώς και αστοχίες των τεχνικών έργων (καφέ και μωβ γραμμές), τα οποία αναλύονται παρακάτω.....	45
Εικόνα 2.3.1.4 : Απεικόνιση του παραπάνω χαρτογραφημένου ορίου πλημμύρας στο πρόγραμμα ArcMap (κόκκινη γραμμή) με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM). Διακρίνονται ακόμη το όριο διάβρωσης (διακεκομμένη γραμμή), κάποιες μικρότερες εδαφικές διαβρώσεις (μπλε γραμμή), καθώς και αστοχίες των τεχνικών έργων (καφέ και μωβ γραμμές), τα οποία διακρίνονται παρακάτω.....	46
Εικόνα 2.3.2.1 : Η παράκτια περιοχή του οικισμού στο σημείο εκβολής του ρέματος Κουλουριώτικο πριν τη πλημμύρα (Ημερομηνία εικόνας 27/4/2017).....	47
Εικόνα 2.3.2.2 : Εκτάσεις καλυμμένες με αποθέσεις στην παράκτια περιοχή του οικισμού μετά τη πλημμύρα. Ξεχωρίζουν λόγω του διαφορετικού χρώματος τους (μπεζ) από τις γειτονικές τους (Ημερομηνία εικόνας 31/8/2018).....	47
Εικόνα 2.3.2.3 : Χαρτογράφηση των ανωτέρω εκτάσεων (μωβ πολύγωνα) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.....	48
Εικόνα 2.3.2.4 : Απεικόνιση των παραπάνω χαρτογραφημένων αποθέσεων πλημμύρας ως πολύγωνα στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	48
Εικόνα 2.3.2.5 : Απεικόνιση των παραπάνω χαρτογραφημένων αποθέσεων πλημμύρας ως πολύγωνα στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	49

Εικόνα 2.3.3.1 : Εκτάσεις οι οποίες πιθανόν να καλύφθηκαν από φερτά υλικά κατά τη διάρκεια της πλημμύρας. Ξεχωρίζουν λόγω διαφορετικού χρώματος (μπεζ) από τις γειτονικές τους.....	50
Εικόνα 2.3.3.2 : Χαρτογράφηση των ανωτέρω εκτάσεων (κίτρινο χρώμα) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.....	50
Εικόνα 2.3.3.3 : Απεικόνιση των παραπάνω χαρτογραφημένων πιθανών (εκτιμώμενων) αποθέσεων ως πολύγωνα στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου. Διακρίνεται ακόμη το πιθανό όριο πλημμύρας (διακεκομμένη γραμμή), το οποίο αναλύεται παρακάτω.....	51
Εικόνα 2.3.3.4 : Απεικόνιση των παραπάνω χαρτογραφημένων πιθανών (εκτιμώμενων) αποθέσεων ως πολύγωνα στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM). Διακρίνεται ακόμη το πιθανό όριο πλημμύρας (διακεκομμένη γραμμή), το οποίο αναλύεται παρακάτω.....	51
Εικόνα 2.3.4.1 : Διαδικασία δημιουργίας ισουψών καμπυλών με τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων (DEM). Δημιουργήθηκαν για υψόμετρο μέχρι τα 50 m και ανά 5 m.....	54
Εικόνα 2.3.4.2 : Απεικόνιση πιθανού ορίου πλημμύρας (διακεκομμένη γραμμή) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου. Η ύπαρξη τόσο των εκτιμωμένων αποθέσεων της πλημμύρας, όσο και μιας μισγάγγειας επιτρέπει την οριοθέτηση περιοχής η οποία πιθανώς να πλημμύρισε.....	55
Εικόνα 2.3.4.3 : Απεικόνιση πιθανού ορίου πλημμύρας (διακεκομμένη γραμμή) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM). Η ύπαρξη τόσο των εκτιμωμένων αποθέσεων της πλημμύρας, όσο και μιας μισγάγγειας επιτρέπει την οριοθέτηση περιοχής η οποία πιθανώς να πλημμύρισε.....	55
Εικόνα 2.3.5.1 : Μικρές εδαφικές διαβρώσεις στη περιοχή ανάντη της Εθνικής Οδού.....	56
Εικόνα 2.3.5.2 : Χαρτογράφηση των ανωτέρω διαβρώσεων (γαλάζιο χρώμα) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.....	57
Εικόνα 2.3.5.3 : Απεικόνιση των παραπάνω χαρτογραφημένων μικρών διαβρώσεων (γαλάζιο χρώμα) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	57
Εικόνα 2.3.5.4 : Απεικόνιση των παραπάνω χαρτογραφημένων μικρών διαβρώσεων (γαλάζιο χρώμα) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	58
Εικόνα 2.3.6.1 : Τα όρια της κοίτης του ρέματος πριν το πλημμυρικό γεγονός. Συναντάται τόσο στη φυσική της μορφή, όσο και στην εγκιβωτισμένη (αγωγός απομάκρυνσης όμβριων υδάτων).....	61
Εικόνα 2.3.6.2 : Χαρτογράφηση της κοίτης (πράσινο χρώμα) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.....	62
Εικόνα 2.3.6.3 : Απεικόνιση των ορίων της κοίτης πριν τη πλημμύρα (πράσινο χρώμα) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	62
Εικόνα 2.3.6.4 : Απεικόνιση των ορίων της κοίτης πριν τη πλημμύρα (πράσινο χρώμα) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	63

Εικόνα 2.3.7.1 : Η χαρτογραφημένη ακτογραμμή (κίτρινο χρώμα) ένα μήνα πριν το πλημμυρικό γεγονός (ημερομηνία εικόνας 14/10/2017).....	66
Εικόνα 2.3.7.2 : Η χαρτογραφημένη στην ίδια περιοχή με παραπάνω ακτογραμμή (μωβ χρώμα) μετά το πλημμυρικό γεγονός (ημερομηνία εικόνας 31/8/2018). Παρατηρείται ραγδαία αλλαγή και δημιουργία μικρού αλλουβιακού ριπιδίου στις εκβολές του ρέματος.....	66
Εικόνα 2.3.7.3 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης ακτογραμμής πριν (κίτρινο χρώμα) και μετά (μωβ χρώμα) τη πλημμύρα, η οποία είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρών αλλουβιακών ριπιδίων, στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	67
Εικόνα 2.3.7.4 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης ακτογραμμής πριν (κίτρινο χρώμα) και μετά (μωβ χρώμα) τη πλημμύρα, η οποία είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρών αλλουβιακών ριπιδίων, στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	67
Εικόνα 2.3.8.1 : Στιγμιότυπο από βίντεο του UAV στο οποίο διακρίνεται το όριο διάβρωσης του ρέματος κατά την εξέλιξη του φαινομένου.....	70
Εικόνα 2.3.8.2 : Χαρτογράφηση του ανωτέρου ορίου διάβρωσης (μάυρο χρώμα) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro).....	70
Εικόνα 2.3.8.3 : Απεικόνιση του χαρτογραφημένου ορίου διάβρωσης (μαύρη διακεκομμένη γραμμή) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	71
Εικόνα 2.3.8.4 : Απεικόνιση του χαρτογραφημένου ορίου διάβρωσης (μαύρη διακεκομμένη γραμμή) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	71
Εικόνα 2.3.9.1 : Στιγμιότυπο από βίντεο του UAV στο οποίο διακρίνεται αστοχία σε μικρή οδό, αποτέλεσμα της ορμής των υδάτων κατά τη διάρκεια της πλημμύρας.....	72
Εικόνα 2.3.9.2 : Χαρτογράφηση της παραπάνω αστοχίας (καφέ γραμμή) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.....	73
Εικόνα 2.3.9.3 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης αστοχίας (καφέ γραμμή) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	73
Εικόνα 2.3.9.4 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης αστοχίας (καφέ γραμμή) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	74
Εικόνα 2.3.10.1 : Απεικόνιση των χαρτογραφημένων σημαντικότερων οδών της περιοχής (κίτρινες γραμμές : Ολυμπία Οδός, μύρες γραμμές : Επαρχιακή Οδός Μεγάρων – Περαχώρας) και του Προαστιακού Σιδηροδρόμου με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	75
Εικόνα 2.3.10.2 : Απεικόνιση των χαρτογραφημένων σημαντικότερων οδών της περιοχής (κίτρινες γραμμές : Ολυμπία Οδός, μύρες γραμμές : Επαρχιακή Οδός Μεγάρων – Περαχώρας) και του Προαστιακού Σιδηροδρόμου με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	75



Εικόνα 2.3.10.3 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης σιδηροδρομικής γραμμής στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	76
Εικόνα 2.3.10.4 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης σιδηροδρομικής γραμμής στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	76
Εικόνα 2.3.11.1 : Η αποτύπωση της εγκιβωτισμένης κοίτης στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	79
Εικόνα 2.3.11.2 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης εγκιβωτισμένης κοίτης ως πολύγωνο (μπλε χρώμα) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	79
Εικόνα 2.3.11.3 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης εγκιβωτισμένης κοίτης ως πολύγωνο (μπλε χρώμα) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	80
Εικόνα 2.3.12.1 : Στιγμιότυπο από βίντεο του drone στο οποίο παρατηρείται ροή υδάτων με πολύ χαμηλή ταχύτητα (σχεδόν στάσιμα) και ροή υδάτων με χαμηλή ταχύτητα.....	83
Εικόνα 2.3.12.2 : Χαρτογράφηση των παραπάνω ροών με τη χρήση σημείων με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.....	84
Εικόνα 2.3.12.3 : Στιγμιότυπο από βίντεο του drone στο οποίο διακρίνονται ροές υδάτων με μεσαία ταχύτητα.....	84
Εικόνα 2.3.12.4 : Χαρτογράφηση των παραπάνω ροών με τη χρήση σημείων με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.....	85
Εικόνα 2.3.12.5 : Στιγμιότυπο από βίντεο του drone στο οποίο διακρίνεται ροή με μεγάλη ταχύτητα.....	85
Εικόνα 2.3.12.6 : Χαρτογράφηση της παραπάνω ροής με τη χρήση σημείων με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.....	86
Εικόνα 2.3.12.7 : Στιγμιότυπο από βίντεο του drone στο οποίο διακρίνεται στροβιλισμός στη ροή των υδάτων.....	86
Εικόνα 2.3.12.8 : Ο πίνακας χαρακτηριστικών του αρχείου Flood_flow_velocity με τα απαραίτητα στοιχεία για τη κίνηση των υδάτων (ταχύτητα και αζιμούθιο).....	87
Εικόνα 2.3.12.9 : Απεικόνιση ροής υδάτων με πολύ χαμηλή ταχύτητα (άσπρα βέλη) και με χαμηλή ταχύτητα(πράσινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	87
Εικόνα 2.3.12.10 : Απεικόνιση ροής υδάτων με πολύ χαμηλή ταχύτητα (άσπρα βέλη) και με χαμηλή ταχύτητα (πράσινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	88
Εικόνα 2.3.12.11 : Απεικόνιση ροών υδάτων με μεσαία ταχύτητα (κίτρινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	88
Εικόνα 2.3.12.12 : Απεικόνιση ροών υδάτων με μεσαία ταχύτητα (κίτρινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	89

Εικόνα 2.3.12.13 : Απεικόνιση ροής υδάτων με μεγάλη ταχύτητα (κόκκινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	89
Εικόνα 2.3.12.14 : Απεικόνιση ροής υδάτων με μεγάλη ταχύτητα (κόκκινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	90
Εικόνα 2.3.12.15 : Απεικόνιση στροβιλισμού της ροής των υδάτων (κίτρινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	90
Εικόνα 2.3.12.16 : Απεικόνιση στροβιλισμού της ροής των υδάτων (κίτρινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	91
Εικόνα 2.3.13.1 : Αρχική θέση του αντικειμένου 1 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 00:10).....	92
Εικόνα 2.3.13.2 : Τελική θέση του αντικειμένου 1 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 00:12).....	92
Εικόνα 2.3.13.3 : Απεικόνιση αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 1, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.....	93
Εικόνα 2.3.13.4 : Αρχική θέση του αντικειμένου 2 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 00:26).....	94
Εικόνα 2.3.13.5 : Τελική θέση του αντικειμένου 2 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 00:31).....	94
Εικόνα 2.3.13.6 : Απεικόνιση αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 2, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.....	95
Εικόνα 2.3.13.7 : Αρχική θέση του αντικειμένου 3 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 00:31).....	95
Εικόνα 2.3.13.8 : Τελική θέση του αντικειμένου 3 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 00:35).....	96
Εικόνα 2.3.13.9 : Απεικόνιση αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 3, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.....	96
Εικόνα 2.3.13.10 : Αρχική θέση του αντικειμένου 4 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 00:55).....	97
Εικόνα 2.3.13.11 : Τελική θέση του αντικειμένου 4 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 00:57).....	97
Εικόνα 2.3.13.12 : Απεικόνιση αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 4, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.....	98
Εικόνα 2.3.13.13 : Αρχική θέση του αντικειμένου 5 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 02:25).....	98
Εικόνα 2.3.13.14 : Τελική θέση του αντικειμένου 5 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 02:26).....	99
Εικόνα 2.3.13.15 : Απεικόνιση αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 5, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.....	99

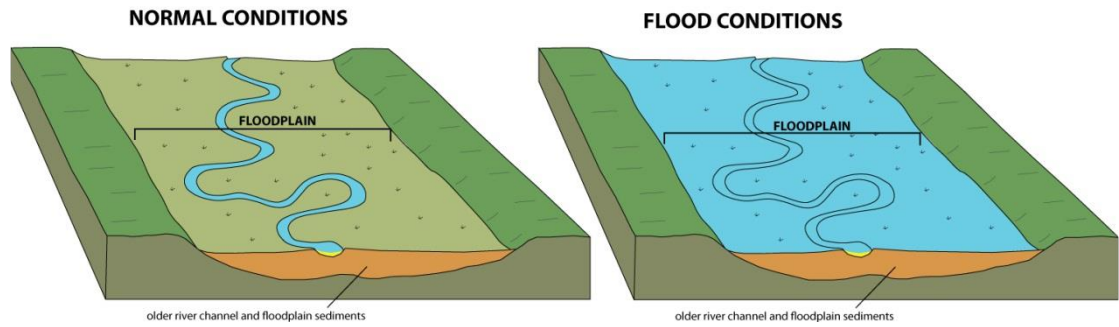
Εικόνα 2.3.13.16 : Αρχική θέση του αντικειμένου 6 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 06:39).....	100
Εικόνα 2.3.13.17 : Τελική θέση του αντικειμένου 6 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 06:41).....	100
Εικόνα 2.3.13.18 : Απεικόνιση αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 6, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.....	101
Εικόνα 2.3.13.19 : Αρχική θέση του αντικειμένου 7 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 08:42).....	101
Εικόνα 2.3.13.20 : Τελική θέση του αντικειμένου 7 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 08:44).....	102
Εικόνα 2.3.13.21 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 7, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.....	102
Εικόνα 2.3.13.22 : Αρχική θέση του αντικειμένου 8 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 08:48).....	103
Εικόνα 2.3.13.23 : Τελική θέση του αντικειμένου 8 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 08:51).....	103
Εικόνα 2.3.13.24 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 8, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.....	104
Εικόνα 2.3.13.25 : Αρχική θέση του αντικειμένου 9 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 08:54).....	104
Εικόνα 2.3.13.26 : Τελική θέση του αντικειμένου 9 (βίντεο DJI_149, χρονική στιγμή 08:58).....	105
Εικόνα 2.3.13.27 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 9, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.....	105
Εικόνα 2.3.13.28 : Αρχική θέση του αντικειμένου 10 (βίντεο DJI_150, χρονική στιγμή 02:38).....	106
Εικόνα 2.3.13.29 : Τελική θέση του αντικειμένου 10 (βίντεο DJI_150, χρονική στιγμή 02:48).....	106
Εικόνα 2.3.13.30 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 10, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.....	107
Εικόνα 2.3.13.31 : Απεικόνιση των αρχικών και τελικών θέσεων των αντικειμένων 1,2 και 3 καθώς και των θέσεων των ανυσμάτων ταχύτητας τους.....	107
Εικόνα 2.3.13.32 : Απεικόνιση των αρχικών και τελικών θέσεων των αντικειμένων 4 και 5, καθώς και των θέσεων των ανυσμάτων ταχύτητας τους.....	108
Εικόνα 2.3.13.33 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 6, καθώς και της θέσης του ανύσματος ταχύτητας του.....	109
Εικόνα 2.3.13.34 : Απεικόνιση των αρχικών και τελικών θέσεων των αντικειμένων 7,8 και 9, καθώς και των θέσεων των ανυσμάτων ταχύτητας τους.....	109

Εικόνα 2.3.13.35 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 10, καθώς και της θέσης του ανύσματος ταχύτητας του.....	110
Εικόνα 2.3.13.36 : Ο πίνακας χαρακτηριστικών του αρχείου Object_Velocity με τα απαραίτητα στοιχεία κάθε κινούμενου αντικειμένου.....	111
Εικόνα 2.3.13.37 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων 1,2 και 3, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	111
Εικόνα 2.3.13.38: Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων 1,2 και 3, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	112
Εικόνα 2.3.13.39 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων 4 και 5, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	112
Εικόνα 2.3.13.40 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων 4 και 5, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	113
Εικόνα 2.3.13.41: Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 6, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας του στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	113
Εικόνα 2.3.13.42 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 6, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας του στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	114
Εικόνα 2.3.13.43 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων 7,8 και 9, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	114
Εικόνα 2.3.13.44 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων 7,8 και 9, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	115
Εικόνα 2.3.13.45 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 10, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας του στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.....	115
Εικόνα 2.3.13.46 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 10, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας του στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).....	116

# Κεφάλαιο 1. Πλημμύρες και Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

## 1.1 Εισαγωγή

Πλημμύρα ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο επικρατεί προσωρινή κάλυψη του εδάφους από νερό, το οποίο υπό κανονικές συνθήκες δεν καλύπτεται από αυτό. Πρόκειται για μια φυσική διαδικασία υπερχείλισης ενός υδάτινου ρεύματος, του οποίου η χωρητικότητα δεν δύναται να παροχετεύσει τον παραγόμενο από βροχόπτωση όγκο νερού. Έτσι, τα ύδατα αυτά εξέρχονται από τη κοίτη σε συγκεκριμένα σημεία του συστήματος αποστράγγισης και καλύπτουν περιοχές οι οποίες συνήθως δεν καταλαμβάνονται από νερό. Το φυσικό φαινόμενο της πλημμύρας επηρεάζεται από σειρά μεταβλητών όπως είναι η γεωλογία της περιοχής, η ένταση της βροχόπτωσης, ο τύπος της βλάστησης, οι χρήσεις γης και τα χαρακτηριστικά του ποτάμιου συστήματος. Ένας ιδιαίτερα σημαντικός παράγοντας ο οποίος ενισχύει τις πλημμυρικές απορροές είναι η εκτεταμένη αστικοποίηση, καθώς αποτέλεσμα αυτής είναι η κάλυψη των επιφανειών από αδιαπέρατα υλικά όπως είναι η ασφαλτος και το τσιμέντο. Τα υλικά αυτά δεν επιτρέπουν στα ύδατα να κατεισδύσουν στο υπέδαφος, επομένως η μείωση του ποσοστού κατεισδυσσης αυτών συνεπάγεται ενίσχυση της επιφανειακής απορροής και μεγαλύτερη σφοδρότητα του πλημμυρικού φαινομένου (Διακάκης, 2018). Ακόμη, μια πυρκαγιά εντός της υδρολογικής λεκάνης μπορεί να ενισχύσει δραματικά την πλημμυρική απορροή, καθώς η έλλειψη βλάστησης η οποία είναι αποτέλεσμα αυτής, συνεπάγεται επίσης μείωση του ποσοστού κατεισδυσσης. Σε κάθε περίπτωση πάντως, η διαδικασία υπερχείλισης του υδάτινου ρέματος εξαρτάται από τον όγκο του νερού που απορρέει σε αυτό, σε σχέση με τον όγκο τον οποίο είναι ικανό να παροχετεύσει. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η πλημμυρική πεδιάδα ενός ποταμού (floodplain), η οποία αποτελεί μια επίπεδη περιοχή με χαμηλό υψόμετρο εκατέρωθεν του ποταμού και η οποία κατακλύζεται από ύδατα κατά την άνοιξη ή μετά από περιόδους ραγδαίων βροχοπτώσεων οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την υψηλή στάθμη του ποταμού. Η πλημμύρα του ποταμού έχει ως αποτέλεσμα την επαναλαμβανόμενη απόθεση ιλύος στην περιοχή της πλημμυρικής πεδιάδας, η οποία είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη και μετατρέπει την περιοχή αυτή ιδανική για καλλιέργεια (Κράνης et al., 2018).



Εικόνα 1.1 : Η πλημμυρική πεδιάδα ενός ποταμού. Διακρίνονται τα ιζήματα που έχουν αποτεθεί από το ποτάμι, με πορτοκαλί χρώμα. (Κράνης et al., 2018)

## 1.2 Κατηγορίες πλημμυρών

Οι πλημμύρες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις παρακάτω κατηγορίες :

- Ποτάμιες πλημμύρες (River or Fluvial floods)
- Αστικές πλημμύρες (Urban floods)
- Ξαφνικές πλημμύρες (Flash floods)
- Παράκτιες πλημμύρες (Coastal floods)
- Πλημμύρες από αστοχία τεχνικού έργου (Dam-failure floods)
- Πλημμύρες υπεδαφικού νερού (Groundwater floods)
- Πλημμύρες λόγω τήξης χιονιού (Rain on snow floods)
- Πλημμύρες λόγω ice-jams (Ice-jams floods)
- Πλημμύρες Jökulhlaup (Jökulhlaup floods)

### Ποτάμιες πλημμύρες (river or fluvial floods)

Είναι αποτέλεσμα εκτεταμένης βροχόπτωσης και αργού ρυθμού ανόδου των υδάτων τα οποία οδηγούν σε υπερχειλίση του ποταμού. Η ταχύτητα της ροής είναι σχετικά χαμηλή, ενώ το φαινόμενο εξελίσσεται με αργό ρυθμό της τάξεως των ημερών (Διακάκης, 2018). Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται πλημμύρες που οφείλονται σε ποτάμια, ρέματα, συστήματα αποστράγγισης, ορεινούς χειμάρρους, εφήμερα ρέματα, λίμνες και πλημμύρες από λιώσιμο του χιονιού.



Εικόνα 1.2.1 : Υπερχειλίση του ποταμού Αλφειού στο Νομό Ηλείας τον Ιανουάριο 2019. (Πηγή : <https://m.naftemporiki.gr/story/1433814>)

### **Αστικές πλημμύρες (Urban floods)**

Οφείλονται στην υπερχειλίση του τεχνητού και φυσικού συστήματος αποστράγγισης σε μια αστική περιοχή, η οποία αποτελείται κυρίως από αδιαπέρατα υλικά και επιφάνειες που αποτρέπουν την κατείσδυση των υδάτων και αυξάνουν το ποσοστό επιφανειακής απορροής αυτών. Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας είναι η σμίκρυνση των οδών διοχέτευσης των υδάτων λόγω κατασκευής οδικών και σιδηροδρομικών δικτύων, καθώς και το μπάζωμα των ρευμάτων (Διακάκης, 2018).



Εικόνα 1.2.2 : Πλημμύρα στα βόρεια προάστια της Αθήνας τον Ιούλιο 2018. (Πηγή : <https://www.cnn.gr/news/ellada/story/140307/plimmyres-maroyssi-h-perifereia-attikis-einai-apokleistika-ypeythyni-leei-o-patoylis>)

### **Ξαφνικές πλημμύρες (Flash floods)**

Είναι οι πιο συνηθισμένες τόσο στην Ελλάδα, όσο και στη Μεσόγειο γενικότερα και προκύπτουν μετά από ιδιαίτερης έντασης καταιγίδα. Συγκεκριμένα, οι ξαφνικές πλημμύρες είναι συνδεδεμένες με μικρής διάρκειας και έντονης σφοδρότητας καταιγίδες, οι οποίες κυρίως προκύπτουν τοπικά και επηρεάζουν λεκάνες μικρότερες των 1000 km<sup>2</sup>, με χρόνους απόκρισης λίγων μόλις ωρών. Αποτέλεσμα της σφοδρότητας του καιρικού φαινομένου είναι η ταχύτατη συγκέντρωση όμβριων υδάτων και η υπερχείλιση του συστήματος αποστράγγισης. Λόγω υψηλής ταχύτητας των υδάτων η καταστρεπτικότητα τέτοιων πλημμυρών είναι ιδιαίτερα ενισχυμένη, όπως και η μεταφορική ικανότητα των υδάτων καθώς πολύ συχνή είναι η μεταφορά μεγάλων θραυσμάτων, αυτοκινήτων και ογκολίθων (Διακάκης, 2018).





Εικόνα 1.2.3 : Επιπτώσεις της καταστροφικής πλημμύρας της Δυτικής Αττικής τον Νοέμβριο 2017, στην περιοχή της Μάνδρας. (Πηγή : <https://www.mononews.gr/politics/mandra-kolafos-i-diataxi-tis-isangelea-gia-tis-efthines-pou-odigisan-stin-tragodia>)

### **Παράκτιες πλημμύρες (Coastal floods)**

Η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης λόγω ισχυρών ανέμων οι οποίοι με τη σειρά τους έχουν ως αποτέλεσμα έντονο κυματισμό και η εισχώρηση των υδάτων στην ξηρά, προκαλούν τέτοιου είδους πλημμύρες οι οποίες οφείλονται είτε σε κύματα με μεγάλα ύψη ή κύματα καταιγίδας, είτε στη δράση των κυμάτων και των παράκτιων τσουνάμι.



Εικόνα 1.2.4 : Πλημμύρες λόγω του φονικού τυφώνα Κατρίνα, ο οποίος έπληξε τις ακτές των Η.Π.Α το 2005. (Πηγή : <https://www.meteo24news.gr/2016/08/hurricane-katrina-2005.html>)

### **Πλημμύρες από αστοχία τεχνικού έργου (Dam-failure floods)**

Είναι αποτέλεσμα θραύσης φράγματος, αντιπλημμυρικού αναχώματος ή άλλου τεχνικού έργου διαχείρισης υδάτων. Σε αυτές συμπεριλαμβάνονται οι πλημμύρες που προκύπτουν από συστήματα αποχέτευσης, συστήματα ύδρευσης και επεξεργασίας λυμάτων και από τεχνητά συστήματα καθοδήγησης και κατακράτησης υδάτων. Ο μηχανισμός της είναι δυνατό να περιλαμβάνει τη πρόκληση ρήγματος, την κατάρρευση αντιπλημμυρικής προστασίας ή την αστοχία λειτουργίας είτε του αντλητικού συστήματος είτε των θυρών.



Εικόνα 1.2.5 : Αστοχία του φράγματος στη Λίμνη Delhi των Η.Π.Α το 2010. (Πηγή : <https://damfailures.org/lessons-learned/high-and-significant-hazard-dams-should-be-design-to-pass-an-appropriate-design-flood-dams-constructed-prior-to-the-availability-of-extreme-rainfall-data-should-be-assessed-to-make-sure-they-have-ad/>)

### **Πλημμύρες υπεδαφικού νερού (Groundwater floods)**

Είναι αποτέλεσμα κορεσμού του υδροφόρου ορίζοντα και τα ύδατα επιστρέφουν στην επιφάνεια του εδάφους. Η κατάκλιση των υδάτων έχει συνήθως μεγάλη διάρκεια.





Εικόνα 1.2.6 : Παράδειγμα πλημμύρας λόγω κορεσμού του υδροφόρου ορίζοντα σε περιοχή της Ιρλανδίας. (Πηγή : <https://www.gsi.ie/en-ie/programmes-and-projects/groundwater/projects/gwfflood/Pages/What-is-groundwater-flooding.aspx>)

### **Πλημμύρες λόγω τήξης χιονιού (Rain on snow floods)**

Προκύπτουν έπειτα από βροχόπτωση η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη ταχεία τήξη χιονιού.



Εικόνα 1.2.7: Πλημμυρικά φαινόμενα λόγω βροχόπτωσης και γρήγορης τήξης χιονιού στη περιοχή Brandon των Η.Π.Α τον Μάρτιο 2018. (Πηγή : <https://www.ksfy.com/content/news/Rain-snowmelt-cause-flash-flooding-near-Brandon-476062003.html>)

### **Πλημμύρες λόγω ice-jam (Ice-jam floods)**

Είναι αποτέλεσμα δημιουργίας μιας προσωρινής λίμνης, καθώς ένας ποταμός μπλοκάρει λόγω πάγου ή παγετών. Αυτές οι πλημμύρες είναι πολύ σπάνιες στην Ελλάδα (Διακάκης, 2018).



Εικόνα 1.2.8 : Πλημμύρα σε περιοχή της πόλης Cedar Rapids των Η.Π.Α τον Φεβρουάριο 2013.  
(Πηγή : <http://homegrowniowan.com/ice-jam-causes-flooding-in-cedar-rapids-localized-flooding-elsewhere-in-iowa/>)

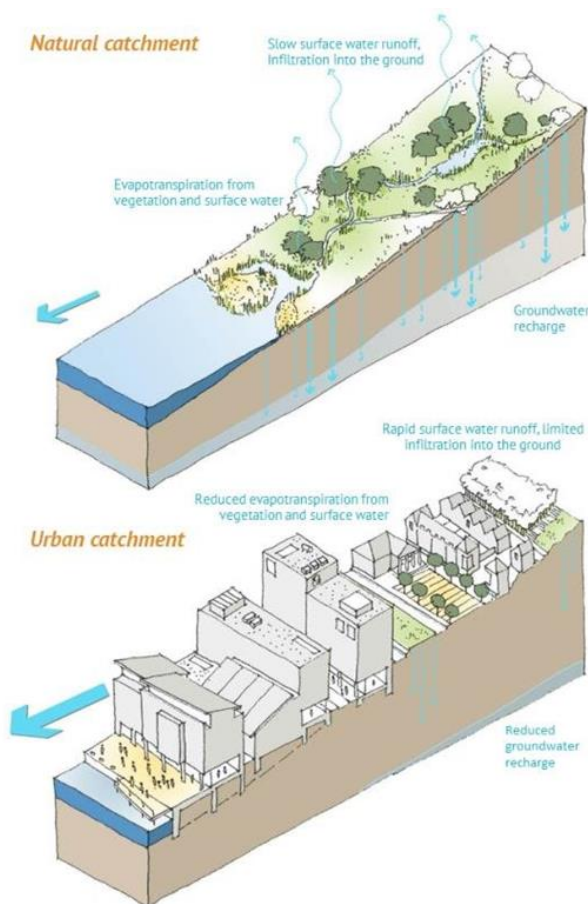
### **1.3 Πλημμυρική επικινδυνότητα και αστικοποίηση**

#### **1.3.1 Χαρακτηριστικά αστικών περιοχών και μοντελοποίηση πλημμυρών**

Σύμφωνα με ανακοίνωση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, οι πλημμύρες έχουν προκαλέσει 1126 θανάτους κατά τη περίοδο 1998-2009. Ακόμη, αυτές παραμένουν η πιο δαπανηρή φυσική καταστροφή με συνολικές ζημιές ύψους 52 δις. Ευρώ κατά την ίδια περίοδο. Οι περισσότερες από αυτές τις ανθρώπινες απώλειες και οικονομικές ζημιές στην πραγματικότητα συμβαίνουν σε αστικές περιοχές, καθώς οι τελευταίες συγκεντρώνουν ένα μεγάλο αριθμό κινδύνων : πληθυσμός, οικονομικές δραστηριότητες και βιομηχανίες, ιστορικά κέντρα και οδικά δίκτυα (Pierre-Henri Bazin, 2015). Ακόμα, η σύνδεση αυτή μεταξύ της πλημμυρικής επικινδυνότητας και των αστικών περιοχών εξηγείται και από το γεγονός ότι οι τελευταίες βρίσκονται συχνά σε επιρρεπείς σε πλημμύρες θέσεις, όπως είναι οι πλημμυρικές

πεδιάδες ποταμών, οι παράκτιες περιοχές ή ακόμη οι κοιλάδες κατάντι υδάτινων φραγμάτων. Ως πλημμυρική επικινδυνότητα (flood risk) νοείται ο συνδυασμός της πιθανότητας εκδήλωσης μιας πλημμύρας με τις επιπτώσεις από την εκπλήρωση της πιθανότητας αυτής και ισούται με το γινόμενο του πλημμυρικού κινδύνου (flood hazard), δηλαδή της πιθανότητας εκδήλωσης πλημμυρικού γεγονότος σε συγκεκριμένη θέση, της έκθεσης (exposure) σε κίνδυνο ανθρώπινης ζωής ή περιουσίας σε πλημμυρικά φαινόμενα και της τρωτότητας (vulnerability) μιας κατασκευής, δηλαδή της ευαισθησίας της σε ένα κίνδυνο πλημμύρας (Διακάκης, 2018).

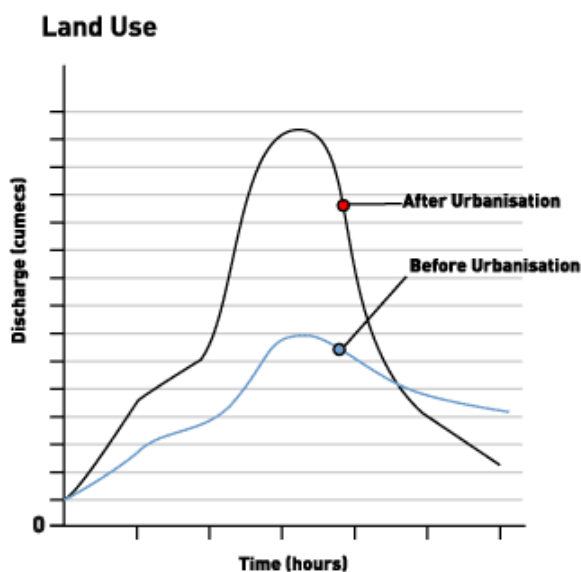
Εκτός από αυτή την αυξημένη τρωτότητα σε πλημμυρική επικινδυνότητα, δύο χαρακτηριστικά των αστικών περιοχών επιδεινώνουν τους πλημμυρικούς κινδύνους. Πρώτον, τα αδιαπέρατα εδάφη τα οποία είναι συνδεδεμένα με την αστικοποίηση αυξάνουν τους όγκους της επιφανειακής απορροής και μειώνουν τους χρόνους αντίδρασης των αστικοποιημένων περιοχών απορροής. Η αποστράγγιση των επιφανειακών υδάτων στις αστικές περιοχές εξαρτάται κυρίως από την αποδοτικότητα του συστήματος αποστράγγισης, το οποίο δεν εξελίσσεται πάντα τόσο γρήγορα όσο αυξάνονται οι ανάγκες της πόλης ή μπορεί να μην είναι καλά σχεδιασμένο.



Εικόνα 1.3.1.1 : Φυσική λεκάνη απορροής και αστικοποιημένη περιοχή απορροής. (Yau Seng Mah et al., 2014)



Δεύτερον, καθώς η πλημμύρα εμφανίζεται στις αστικές περιοχές, οι επιφανειακές ροές είναι συνήθως πιο βίαιες απ' ό τι θα ήταν σε φυσικές πλημμυρικές πεδιάδες, καθώς πολλά αδιαπέρατα στοιχεία όπως είναι τα κτήρια ή οι τοίχοι παρεμποδίζουν τις ροές και τις συγκεντρώνουν στο λείο και ίσιο οδικό δίκτυο. Συνεπώς, η εκτίμηση της επίδρασης των πλημμυρών σε αστικά κέντρα είναι υψίστης σημασίας για τη Διαχείριση Πλημμυρικού Κινδύνου (Pierre-Henri Bazin, 2015).



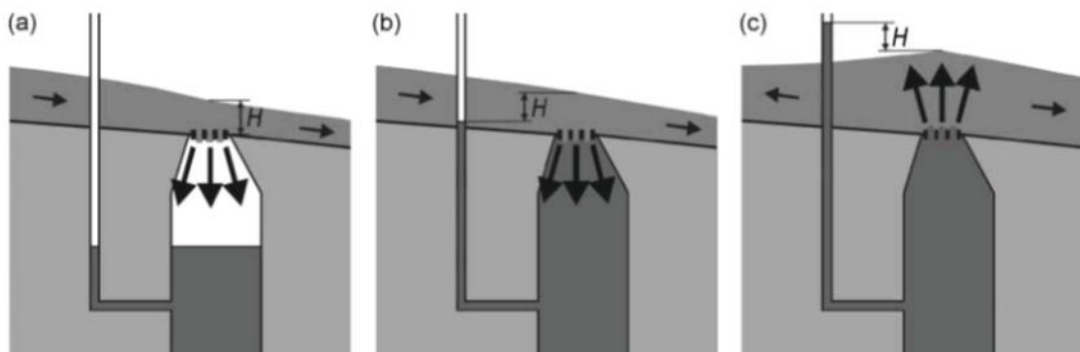
Εικόνα 1.3.1.2 : Διάγραμμα χρόνου – παροχής υδάτων για μια συγκεκριμένη περιοχή πριν και μετά την αστικοποίηση αυτής. (Διακάκης, 2018)

Ιδιαίτερο ρόλο διαδραματίζει η επικοινωνία μεταξύ των υπόγειων και επιφανειακών ρών σε ένα αστικό αποστραγγιστικό σύστημα, η οποία επιβάλλεται τόσο από τη γεωμετρία της υπεύθυνης για επικοινωνία κατασκευής, όσο και από τις υδραυλικές παραμέτρους των επιφανειακών και υπογείων ρών. Αν και οι κατασκευές αυτές είναι δυνατό να έχουν διαφορετικούς πιθανούς τρόπους σχεδιασμού, μπορούν να συνοψιστούν σχηματικά στο συνδυασμό μιας επιφανειακής εισόδου και μιας κατασκευής σύνδεσης σε ένα κύριο υπόγειο αγωγό αποστράγγισης. Για μια συγκεκριμένη τέτοια κατασκευή ανταλλαγής μπορούν να προσδιοριστούν 3 τυπικές υδραυλικές διατάξεις που θα καθορίσουν την πορεία της ανταλλαγής :

- Ελεύθερη αποστράγγιση : το υδραυλικό φορτίου του αγωγού βρίσκεται χαμηλότερα από το υψόμετρο του εδάφους και η επικοινωνία μεταξύ των ρών ελέγχεται από την χωρητικότητα του ανωτέρου τμήματος της κατασκευής, χωρίς καμία επίδραση στο υπόλοιπο χαμηλότερο τμήμα αυτής (εικόνα 1.3.1.3.a).



- Επηρεαζόμενη αποστράγγιση : η επικοινωνία των ροών ελέγχεται από ολόκληρη τη κατασκευή, ως αποτέλεσμα της επαφής του υδραυλικού φορτίου με το υψόμετρο του εδάφους (εικόνα 1.3.1.3.b) ή γιατί το κατώτερο τμήμα της κατασκευής οριοθετεί/ελέγχει την επικοινωνία.
- Υπερχειλίση : το υδραυλικό φορτίο του αγωγού υπερβαίνει το υψόμετρο του νερού στην επιφάνεια, το οποίο εξαναγκάζει το νερό να βγει έξω από το υπόγειο σύστημα αποστράγγισης (εικόνα 1.3.1.3.c).



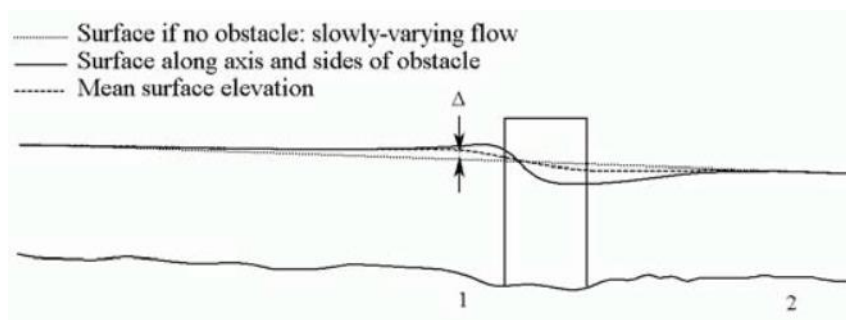
Εικόνα 1.3.1.3 : Οι υδραυλικές διατάξεις ελεύθερης αποστράγγισης (a), επηρεαζόμενης αποστράγγισης (b) και υπερχειλίσης (c). (Djordjevic et al., 2005)

Τις περισσότερες φορές οι πλημμύρες στα αστικά κέντρα οφείλονται σε φαινόμενα τα οποία έχουν πολύ μεγαλύτερη κλίμακα από τις επηρεαζόμενες περιοχές, οπότε η μοντελοποίηση του αρχικού γεγονότος και της εξάπλωσης του σε αστικές περιοχές μπορεί να εκτελεστεί ανεξάρτητα. Φυσικά υπάρχουν και εξαιρέσεις, όπως περιπτώσεις σφοδρής βροχόπτωσης οι οποίες οδηγούν σε τοπικές αστοχίες στο αστικό σύστημα απομάκρυνσης όμβριων υδάτων και για τις οποίες μπορεί να προτιμηθεί μία ολοκληρωμένη μοντελοποίηση (Djordjevic et al., 1999; Schmitt et al., 2004). Σε άλλες περιπτώσεις, το πρώτο τμήμα της μοντελοποίησης αποτελείται από καθοριστικά χαρακτηριστικά του αρχικού πλημμυρικού γεγονότος μακριά από την αστική περιοχή. Αυτό το τμήμα της μοντελοποίησης περιλαμβάνει πολλά πεδία περιβαλλοντικής έρευνας και καθορίζει ένα σημαντικό τμήμα της τελικής μοντελοποίησης και της ορθότητας της (Brown et al., 2007). Τέτοια πεδία μπορούν να είναι η υδρολογία, η μηχανική των ωκεανών (tsunamis), η εδαφομηχανική – βραχομηχανική (φράγματα, αναχώματα), όπως και η κλιματολογία ή η πρόγνωση του καιρού.

### 1.3.2 Ο ρόλος των εμποδίων στη ροή των ποτάμιων ρεμάτων

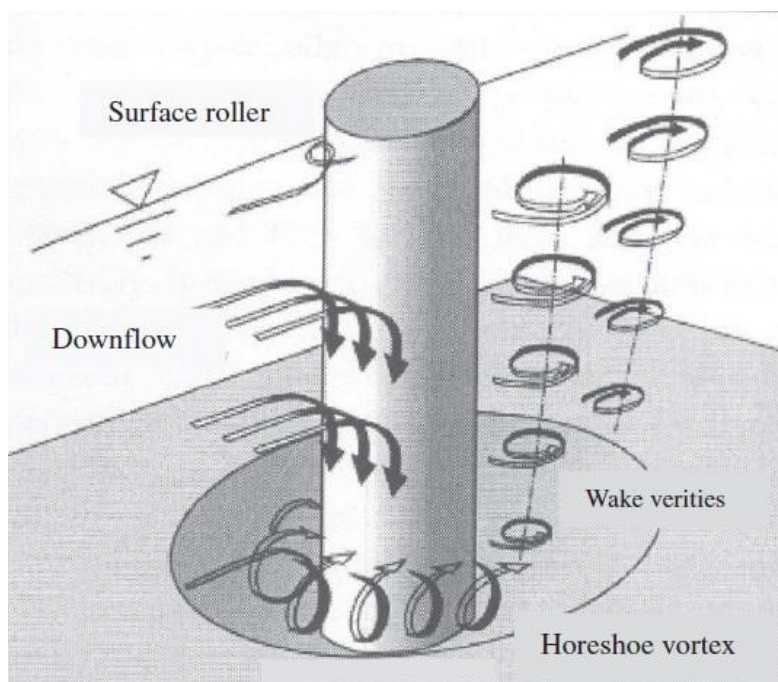
Όταν το νερό σε ένα ποτάμι ή ένα κανάλι ρέει πάνω από ένα εμπόδιο όπως είναι ένα βάθρο γέφυρας το οποίο συναντάται πολύ συχνά σε μια αστικοποιημένη περιοχή, τότε αυτό συνεπάγεται απώλεια ορμής και ενέργειας και το επίπεδο του νερού είναι διαφορετικό ανάντη και κατάντη του εμποδίου. Το πρόβλημα του υπολογισμού αυτής της διαφοράς είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς υπάρχει πολύ μεγαλύτερος κίνδυνος πλημμύρας όταν η επιφάνεια του νερού είναι ψηλότερα στο ανάντη τμήμα του εμποδίου (υποκρίσιμη ροή – subcritical flow).

Η δύναμη αντίδρασης ενός εμποδίου σε μία ροή, έχει ως αποτέλεσμα απώλεια ορμής σε αυτήν, η οποία συμβαίνει άμεσα. Αυτό το έλλειμα ορμής είναι αρχικά περιορισμένο στο όριο του εμποδίου, αλλά καθώς η τουρβιδιτική ροή επεκτείνεται στο κατάντη τμήμα, το έλλειμα επεκτείνεται πλευρικά και μπορεί να υπολογιστεί εύκολα πειραματικά, αφού μπορεί να υπολογιστεί η συνολική δύναμη αντίδρασης συμπεριλαμβάνοντας όλες τις φυσικές διεργασίες που έγιναν στο αντικείμενο. Συγκριτικά δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου απώλειες ενέργειας στο μπροστινό τμήμα ενός εμποδίου, αλλά λόγω της απότομης τοπικής εκτροπής της ροής καθώς το νερό ρέει κατάντη, οι ροές οι οποίες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους καθώς και οι διεργασίες τουρβιδιτικής ροής έχουν ως αποτέλεσμα ενεργειακές απώλειες για κάποια απόσταση. Αυτές, σε αντίθεση με την απώλεια ορμής είναι πιο δύσκολο να μετρηθούν ή να υπολογιστούν, καθώς μπορούν να συμβούν σε γειτονικά στρώματα, σε διαχωριστικές ζώνες, σε δίνες κ.λπ.



Εικόνα 1.3.2.1 : Μηκοτομή στην οποία διακρίνονται στάσιμα νερά πάνω και ανάντη ενός εμποδίου. (J.D. Fenton, 2008)

Η εικόνα 1.3.2.1 δείχνει ένα τυπικό εμπόδιο το οποίο βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, σε μια υποκρίσιμη ροή, όπου τα τοπικά δυναμικά φαινόμενα έχουν ως αποτέλεσμα την διατάραξη της επιφάνειας του νερού γύρω από το εμπόδιο. Γίνεται διακριτό ότι ακριβώς ανάντη του εμποδίου υπάρχει ένα τοπικό ύψωμα, ενώ πλευρικά αυτού το επίπεδο του νερού πέφτει στα σημεία όπου η ταχύτητα του είναι μεγάλη. Αυτό το τοπικό φαινόμενο θεωρείται ότι δεν έχει ιδιαίτερη σημασία για την υδραυλική του προβλήματος καθώς εξασθενεί γρήγορα μακριά από το εμπόδιο, σε αντίθεση με την αλλαγή της μέσης στάθμης του νερού σε ολόκληρο το κανάλι που διακρίνεται με τη διακεκομμένη γραμμή και φαίνεται πως έχει ιδιαίτερη σημασία. Πίσω από το εμπόδιο η μέση στάθμη αυξάνεται κατά ύψος  $\Delta$ , φαινόμενο το οποίο εξαφανίζεται αργά ανάντη αυτού αλλά μπορεί να επεκταθεί αρκετά μακριά. Αυτό το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις μελέτες πλημμυρών και οι οικονομικές συνέπειες μπορεί να είναι σοβαρές (J.D. Fenton, 2008).



Εικόνα 1.3.2.2 : Απεικόνιση της ροής και της διάταξης τριβής σε ένα κυλινδρικό βάθρο. (Entesar A.S. EL-Ghorab, 2013)

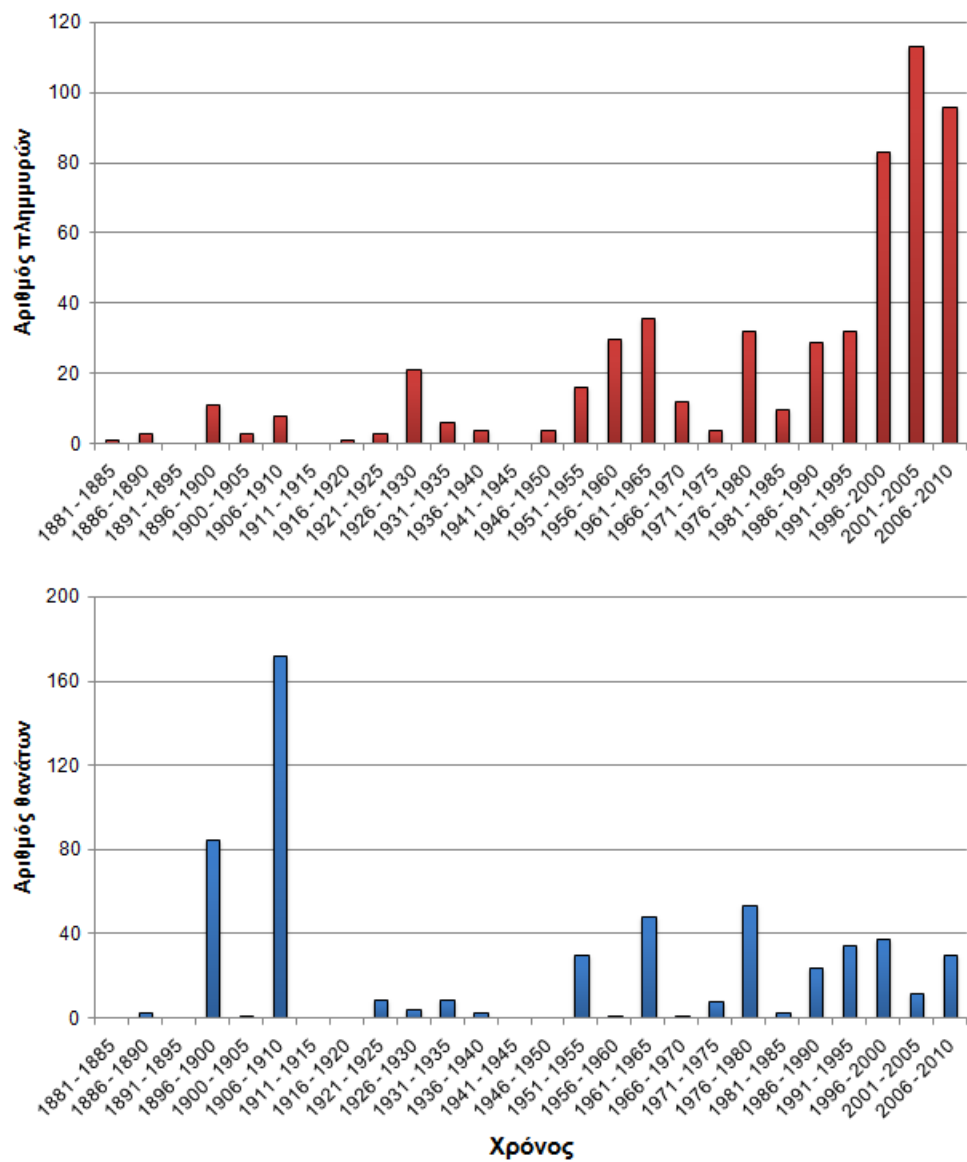
Στην εικόνα 1.3.2.2 διακρίνεται το φαινόμενο τριβής μπροστά και γύρω από τις προβλήτες γεφυρών, το οποίο βλάπτει σοβαρά την ίδια την υδραυλική κατασκευή και προκαλεί πολλά προβλήματα. Το πεδίο ροής γύρω από βάθρα γεφυρών, ενσωματωμένο κάθετα σε ένα διαβρώσιμο στρώμα, είναι ένα σύνθετο φαινόμενο και η πολυπλοκότητα του επιδεινώνεται με την ανάπτυξη περιοχών όπου αποκολλόνται υλικά από το υποβρύχιο αυτό στρώμα (scour holes). Καθώς η προβλήτα μπλοκάρει μια ομοιόμορφη ροή, η ταχύτητα ροής μειώνεται από την ελεύθερη επιφάνεια προς τα κάτω μέχρι που μηδενίζεται όταν προσεγγίσει το διαβρώσιμο στρώμα. Αυτή η προς τα κάτω ροή είναι η αρχική αιτία της τριβής και απόξεσης υλικών καθώς

και η δίνη σχήματος πετάλου που διακρίνεται στην εικόνα 1.3.2.2 είναι συνέπεια της τριβής αυτής.

Από τα παραπάνω, γίνεται κατανοητό ότι κατασκευές οι οποίες παραβιάζουν τις πλημμυρικές πεδιάδες, όπως είναι οι γέφυρες, μπορούν να αυξήσουν την πλημμύρα ανάντη λόγω μείωσης του πλάτους του καναλιού και αύξησης της αντίστασης του καναλιού στη ροή αλλά και ότι οι ίδες οι κατασκευές υποφέρουν από τα φαινόμενα ροής που αναπτύσσονται γύρω τους.

#### **1.4 Οι πλημμύρες στην Ελλάδα**

Οι πλημμύρες αποτελούν τη πιο θανατηφόρα και καταστροφική φυσική καταστροφή στη Μεσόγειο (Gaume et al., 2009; Llasat et al., 2010; Salvatti et al., 2010), η οποία έχει ως αποτέλεσμα έναν σημαντικό αριθμό θανάτων ετησίως (Jonkman, 2005), καθώς και ιδιαίτερης σημασίας οικονομικές απώλειες (Barreiro, 2007, 2009). Ο Ελληνικός χώρος δεν αποτελεί εξαίρεση σε αυτή τη κατάσταση και σύμφωνα με τη βιβλιογραφία έχει καταγραφεί πληθώρα πλημμυρικών φαινομένων τις τελευταίες δεκαετίες σε αυτόν (Diakakis et al., 2012). Οι πλημμύρες στη Ελλάδα είναι συχνά αποτέλεσμα ιδιαίτερα σφοδρών και αιγίδων, οι οποίες προκαλούν υπερχειλίση σε εφήμερα υδατορεύματα. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι πλημμυρών στην Ελλάδα είναι οι ποτάμιες, οι αστικές, οι ξαφνικές και οι παράκτιες πλημμύρες. Η πλειοψηφία αυτών λαμβάνει χώρα κατά τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες, σε ποσοστό που αγγίζει το 84,9 % (Diakakis, 2013). Σε μελέτη για τη περίοδο 1880 – 2010 φαίνεται πως ο αριθμός των πλημμυρών σημειώνει κατακόρυφη άνοδο, σε αντίθεση με τον αριθμό των θανάτων ο οποίος παραμένει σχετικά σταθερός. Οι θάνατοι οφείλονται κατά πλειοψηφία σε πνιγμό, ενώ ένας αριθμός αυτών προκαλείται από φυσικά τραύματα, καρδιακή προσβολή και ηλεκτροπληξία (Chowdhury et al., 1993; Jonkman and Kelman, 2005). Τα βασικά προβλήματα στον Ελληνικό χώρο τα οποία είναι υπεύθυνα για την πρόκληση σφοδρών πλημμυρών είναι η μείωση της διατομής των ρεμάτων, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του πλημμυρικού κινδύνου (hazard) και η ανέργεια υποδομών στα πλημμυρικά πεδία, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της έκθεσης (exposure) (Diakakis M., Palikarakis A., Katsetsiadou K., 2014).

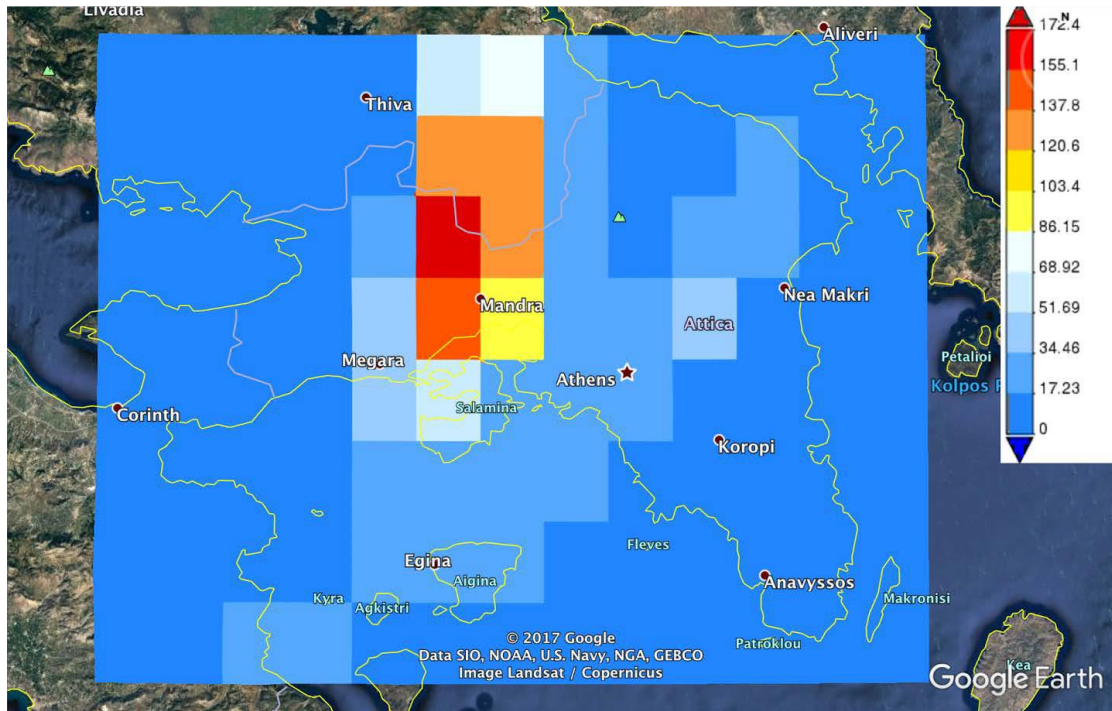


Εικόνα 1.4.1 : Αριθμός πλημμυρών και αριθμός θανάτων ανά 5ετία για τη περίοδο 1880-2010 στον Ελληνικό χώρο. (Diakakis M., Manroulis S., Deligiannakis G., 2012)

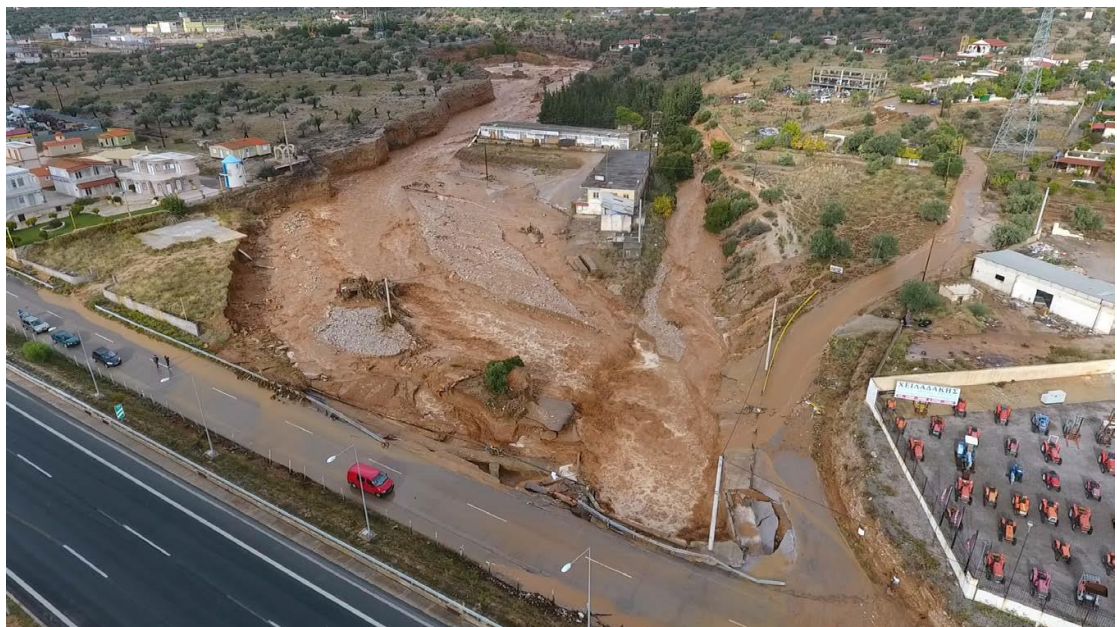
## 1.5 Το πλημμυρικό επεισόδιο της 15<sup>ης</sup> Νοεμβρίου στη περιοχή της Δυτικής Αττικής

Κατά την 15<sup>η</sup> Νοεμβρίου 2017 ισχυρές καταιγίδες έπληξαν την ευρύτερη περιοχή της Μάνδρας λόγω έντονης αστάθειας σε μια πολύ περιορισμένη έκταση γύρω από το όρος Πατέρα, από τις πρωινές ώρες μέχρι και το μεσημέρι της ίδιας μέρας. Αποτέλεσμα αυτού του εντοπισμένου και σφοδρού φαινομένου ήταν η πρόκληση ξαφνικής πλημμύρας (flash flood) στις υδρολογικές λεκάνες της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, τα ρέματα τα οποία απορρέουν στην λεκάνη της Νέας Περάμου, στην πεδινή περιοχή της Μάνδρας καθώς και στη Βιομηχανική Περιοχή της τελευταίας ήταν αυτά τα οποία ενεργοποίησαν προυπάρχοντα αλλουβιακά ριπίδια Τεταρτογενούς ηλικίας, των οποίων ο σχηματισμός είναι αποτέλεσμα μεταφοράς ιζημάτων. Χαρακτηριστική ήταν η δράση των ρεμάτων στους ανατολικούς πρόποδες του όρους Πατέρα, Σούρες και Αγίας Αικατερίνης, τα οποία και προκάλεσαν τις μεγαλύτερες καταστροφές μέσα στον οικισμό της Μάνδρας. Το γεγονός ότι οι οικισμοί έχουν αναπτυχθεί ακριβώς πάνω στους γεωλογικούς σχηματισμούς αυτών των ριπιδίων, τα οποία είναι και αυτά που κατακλύστηκαν από ύδατα, καθώς και το ότι οι οικισμοί αυτοί έχουν αναπτυχθεί κάθετα στη ροή του νερού είχαν ως αποτέλεσμα την πλημμύρα των οικισμών, αφού τα ύδατα δεν ήταν δυνατό να ακολουθήσουν την φυσική τους διαδρομή και την αποστράγγιση τους στο θαλάσσιο χώρο. Ακόμη, η έντονη ανάπτυξη οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου κάθετα στη ροή των υδάτων έπαιξε σημαντικό ρόλο στη μη ομαλή απορροή αυτών και ενίσχυσε το πλημμυρικό γεγονός ως προς το πλάτος (Lekkas et al, 2017). Η εργασία αυτή εστιάστηκε στην περιοχή της Νέας Περάμου η οποία διαθέτει έντονη ανάπτυξη τόσο οδικών όσο και σιδηροδρομικών αξόνων και οι οποίοι έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της πλημμύρας στη περιοχή.





Εικόνα 1.5.1 : Εκτίμηση βροχόπτωσης στη περιοχή από δορυφορικές εικόνες της NASA. (Lekkas et al., 2017)



Εικόνα 1.5.2 : Η περιοχή της Νέας Περάμου και ο αγωγός ανάντη της Εθνικής Οδού. (Lekkas et al., 2017)

Αποτέλεσμα του σφοδρού αυτού φαινομένου πέρα από τις τεράστιες υλικές καταστροφές στις ανωτέρω περιοχές, ήταν και ο τραγικός απολογισμός των 24 νεκρών ανθρώπων, γεγονός το οποίο καθιστά την πλημμύρα αυτή ως την πιο πολύνεκρη των τελευταίων 40 ετών στη χώρα (Spryrou et al., 2017).

## 1.6 Η συμβολή των μη επανδρωμένων οχημάτων στη μεταπλημμυρική έρευνα

Τα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (Unmanned Aircraft Systems, UAS, ΣμηΕΑ) σήμερα έχουν πολυάριθμες εφαρμογές σε πολλούς και διαφορετικούς επιστημονικούς τομείς, σε στρατιωτικές επιχειρήσεις αλλά και στον κλάδο της ασφάλειας. Όσον αφορά τις επιστήμες της γης, η τηλεπισκόπηση είναι μια πολύ γνωστή και χρήσιμη επιστήμη για το χώρο της γεωργίας και της περιβαλλοντικής ανάλυσης. Ο έλεγχος της βλάστησης καθώς και της βιοποικιλότητας παραδοσιακά γινόταν με τη χρήση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων, με αποτέλεσμα υψηλές δαπάνες όταν απαιτούνταν υψηλή ανάλυση. Τα ΣμηΕΑ παρουσίασαν επιτυχώς ένα παράδειγμα μικρότερης και φθηνότερης πλατφόρμας χειρισμού στη κοινότητα της τηλεπισκόπησης (Colomina I., Molina P., 2014).

Στον τομέα των φυσικών καταστροφών, το μη επανδρωμένο αεροσκάφος καθίσταται πολύτιμο εργαλείο για τον επιστήμονα τόσο για την εκτίμηση του κινδύνου, όσο και για την αξιολόγηση ζημιών μετά από μια φυσική καταστροφή και για όλα τα είδη φυσικών καταστροφών, αφού βελτιώνει την αντίδραση σε επείγουσες καταστάσεις, συλλέγοντας κρίσιμες πληροφορίες οι οποίες μπορούν να αποδειχθούν ιδιαίτερα σημαντικές σε πληθώρα καταστάσεων και συμβάντων.

Πιο συγκεκριμένα, στην μεταπλημμυρική έρευνα τα πλεονεκτήματα της χρήσης ΣμηΕΑ είναι πολλά (Andreadakis et al., 2017) και αναλύονται παρακάτω.

- Η σημειακή έρευνα αναβαθμίζεται σε χαρτογράφηση μεγάλων περιοχών, επικεντρωμένη σε συγκεκριμένα σημεία ενδιαφέροντος.

- Τα ΣμηΕΑ παρέχουν μια γρήγορη επισκόπηση μεγάλων περιοχών επιτρέποντας να κερδιστεί χρόνος και να επανεκτιμηθεί η διαδρομή της πορείας της έρευνας.

- Η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών δεν αντικαθιστά την εργασία υπαίθρου αλλά αντιθέτως, τη βελτιώνει καθώς ο επιστήμονας δεν χάνει τη προσωπική του επαφή με την περιοχή της έρευνας.



- Η έκταση της πλημμύρας μπορεί να χαρτογραφηθεί γρήγορα και με ακρίβεια, περιλαμβάνοντας εκτάσεις οι οποίες είναι δυσπρόσιτες.

- Η κατεύθυνση της ροής και οι μηχανισμοί της καταστροφής γίνονται καλύτερα κατανοητοί με το συνδυασμό σημειακών παρατηρήσεων και επισκόπησης της διπλανής σε αυτές περιοχής.

- Η παράκτια διάβρωση, η δυναμική της πλημμύρας καθώς και οι διαδικασίες της διάβρωσης και απόθεσης μπορούν να ποσοτικοποιηθούν με μεγάλη λεπτομέρεια, καθώς η μοντελοποίηση με μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορεί να έχει ακρίβεια λίγων μόλις cm.

- Η 3D χαρτογράφηση των ποτάμιων κοιτών μπορεί να γίνει εύκολα βελτιώνοντας την ακρίβεια της εκτίμησης της ροής της πλημμύρας.

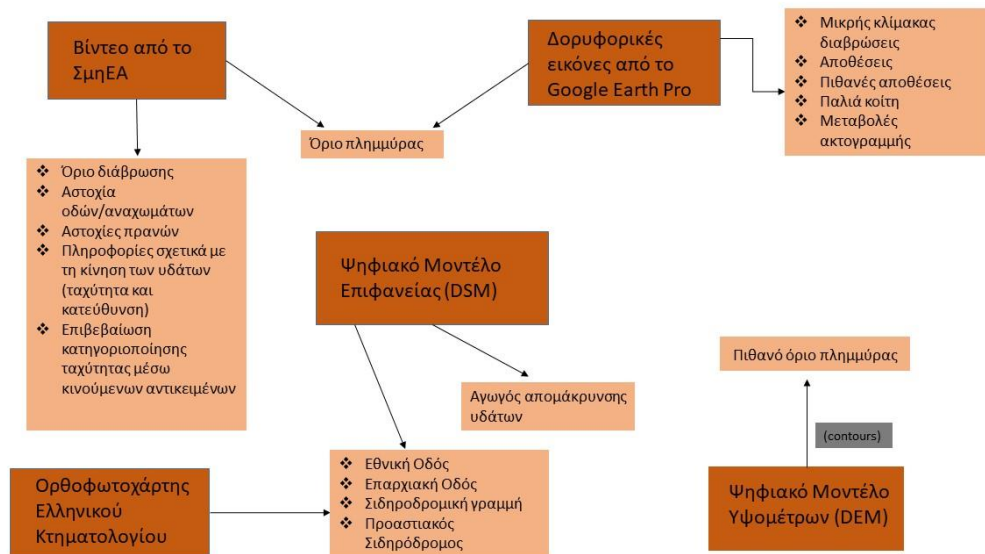
## Κεφάλαιο 2. Μεθοδολογία

### 2.1 Στόχος και περιγραφή των εργασιών

Ο στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της σχέσης των σύνθετων υποδομών της περιοχής και της ξαφνικής πλημμύρας (flash flood) που έπληξε αυτήν, δηλαδή ο βαθμός κατά τον οποίο το πλημμυρικό γεγονός επηρεάστηκε από τα τεχνικά έργα και το οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο, αλλά και αντιστρόφως τις επιπτώσεις της ίδιας της πλημμύρας σε αυτά. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν διάφορα πρωτογενή δεδομένα και κυρίως δορυφορικές εικόνες του προγράμματος Google Earth Pro και βίντεο από μη επανδρωμένο όχημα, το οποίο πραγματοποίησε επιτόπου πτήσεις κατά την εξέλιξη του φαινομένου. Ακόμη, σημαντική ήταν η συμβολή αεροφωτογραφιών από το Ελληνικό Κτηματολόγιο, του παλαιότερου Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας (Digital Surface Model, DSM) και του Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων (Digital Elevation Model, DEM) της περιοχής καθώς και του ορθομωσαϊκού (Mosaic) για την περιοχή ανάντη της Εθνικής Οδού μετά το πλημμυρικό γεγονός, που δημιουργήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Pix4D.

Η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων έγινε με το πρόγραμμα ArcMap του λογισμικού ArcGIS, της οποίας αποτέλεσμα ήταν η χαρτογράφηση των απαραίτητων στοιχείων αλλά και η δημιουργία σύνθετων χαρτών αυτών προκειμένου να εξαχθούν τα απαραίτητα αποτελέσματα και συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, με τη χρήση τόσο των βίντεο από το μη επανδρωμένο όχημα όσο και των δορυφορικών εικόνων του προγράμματος Google Earth Pro, ήταν δυνατή η χαρτογράφηση του ορίου πλημμύρας το οποίο ήταν το πρώτο στάδιο της χαρτογράφησης. Με τη χρήση μόνο των δορυφορικών εικόνων χαρτογραφήθηκαν οι αποθέσεις του ρέματος, οι πιθανές αποθέσεις που θα μπορούσαν να έχουν μεταφερθεί από το συγκεκριμένο ρέμα, κάποιες μικρές διαβρώσεις ανάντη της Εθνικής Οδού (περιοχή εργοστασίου), η παλαιά κοίτη του ρέματος πριν τη πλημμύρα καθώς και οι διάφορες μεταβολές της ακτογραμμής. Με τη χρήση μόνο των βίντεο από την επιτόπια έρευνα κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του φαινομένου, χαρτογραφήθηκαν διάφορες θραύσεις στο οδόστρωμα και στα αναχώματα, οι οποίες είναι αποτέλεσμα της δράσης των υδάτων, κάποιες καταπτώσεις βράχων, το όριο διάβρωσης όπου είναι εμφανές και το οποίο ταυτίζεται με τα όρια της νέας κοίτης καθώς και σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη κίνηση των υδάτων της πλημμύρας και συγκεκριμένα σχετικά με τη κατεύθυνση και την ταχύτητα αυτών. Για τις πληροφορίες αυτές υπήρξε στη συνέχεια επιβεβαίωση τους με πραγματικά δεδομένα, αφού υπολογίστηκε η ταχύτητα αντικειμένων των οποίων ήταν εμφανής η αρχική και τελική τους θέση κατά τη διάρκεια της πλημμύρας. Με τα παραπάνω στοιχεία δημιουργήθηκε ένας σύνθετος χάρτης ταχυτήτων. Τέλος, με τη βοήθεια της αεροφωτογραφίας του Ελληνικού Κτηματολογίου και του παλαιού Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας (DSM) χαρτογραφήθηκε το οδικό και το σιδηροδρομικό δίκτυο της περιοχής, αφού

πρώτα εφαρμόστηκε εφέ σκιασμένου αναγλύφου (Hillshade effect) ενώ με βάσει μόνο το DSM ο αγωγός απομάκρυνσης όμβριων υδάτων και μέσω μόνο του Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων (DEM) ένα πιθανό όριο πλημμύρας, δηλαδή η περιοχή η οποία πιθανόν να κατακλύσθηκε από τα ύδατα που μετέφερε το συγκεκριμένο ρέμα. Αναλυτικά τα στάδια της χαρτογράφησης όλων των παραπάνω απαραίτητων για τη τελική σύνθεση των χαρτών στοιχείων, καθώς και ενδεικτικές εικόνες αυτών παρουσιάζονται παρακάτω.

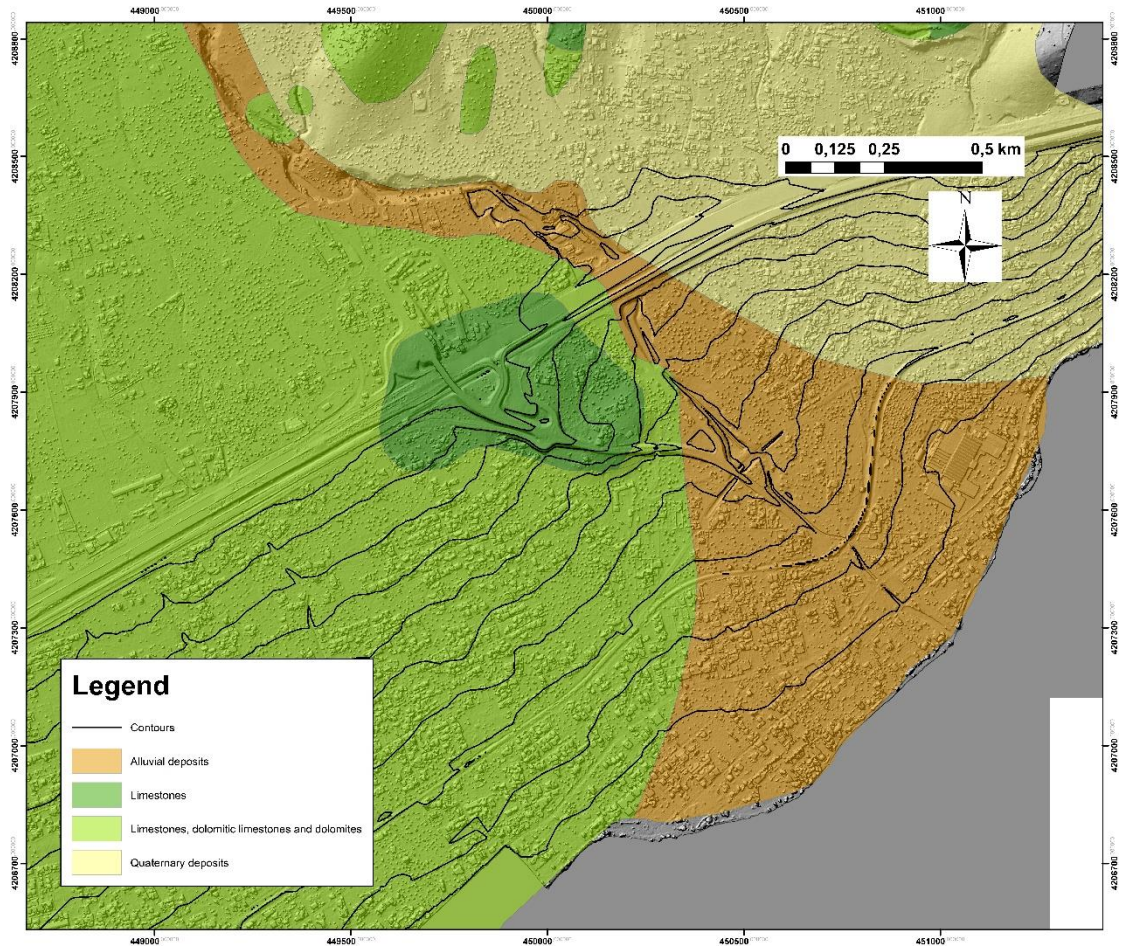


Εικόνα 2.1.1 : Διάγραμμα ροής απεικόνισης των πρωτογενών δεδομένων και των αντίστοιχων αποτελεσμάτων μετά από την επεξεργασία τους.

## 2.2 Περιοχή μελέτης

### 2.2.1 Γεωλογία και μορφολογία

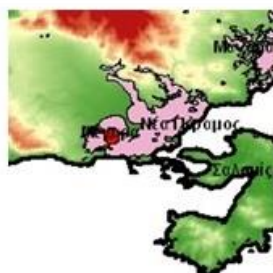
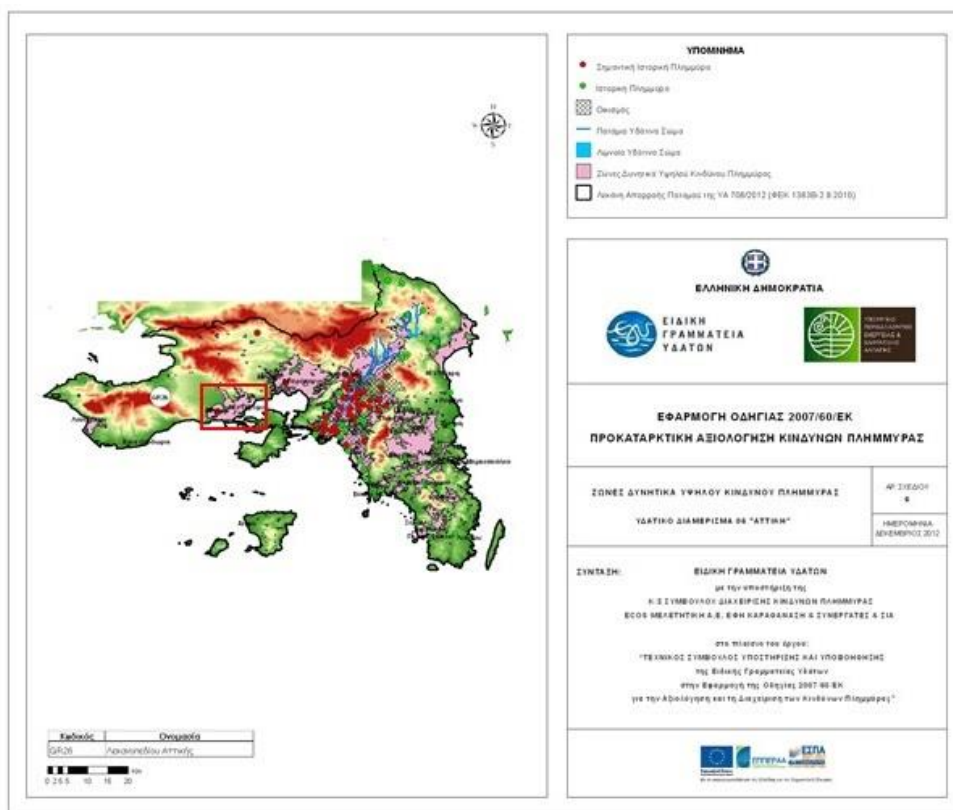
Η μελέτη εστιάστηκε στη περιοχή της Νέας Περάμου, η οποία βρίσκεται νότια του όρους Πατέρας και στις ακτές της εκβάλλει ρέμα το οποίο πηγάζει από το συγκεκριμένο βουνό. Το ρέμα αυτό έχει 3 διαφορετικές ονομασίες και συγκεκριμένα το αρχικό του τμήμα ονομάζεται ρέμα Αγίας Τριάδας, το ενδιάμεσο ρέμα Ζωιρέζας και το τελικό που είναι και αυτό το οποίο διέρχεται από τον οικισμό της Νέας Περάμου, ρέμα Κουλουριώτικο. Το μέγεθος της λεκάνης απορροής του ρέματος Κουλουριώτικο φτάνει τα 8.610 στρέμματα. Όσον αφορά το όρος Πατέρας, αυτό αποτελεί έναν ορεινό όγκο μεγίστου υψομέτρου 1.132 μέτρων, ο οποίος μαζί με τα όρη Πάρνηθα, Κιθαιρώνα και Γεράνεια εκτείνονται κυρίως με διεύθυνση Α-Δ. Στα όρη αυτά εμφανίζονται ιζηματογενείς ανθρακικοί σχηματισμοί, κυρίως ασβεστόλιθοι και δολομίτες, καθώς και φλύσχος της Υποπελαγονικής ενότητας, ενώ ενδιάμεσα οι πεδινές λεκάνες είναι κυρίως μειοκαινικής ηλικίας και χαρακτηρίζονται από νεοτεκτονική ενεργότητα. Οι λεκάνες αυτές δομούνται από Τεταρτογενή ιζήματα τα οποία περιλαμβάνουν αλλουβιακές προσχώσεις και κώνους κορημάτων, με κάποιες κατά θέσεις εμφανίσεις του Τριτογενούς. Το ρέμα Κουλουριώτικο κατά τη πλημμύρα της 15<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2017 ενεργοποίησε προϋπάρχον αλλουβιακό ριπίδιο του Τεταρτογενούς, όπως φαίνεται και παρακάτω (χάρτης 1), με αποτέλεσμα τη μεταφορά μεγάλης ποσότητας φερτών υλικών στον οικισμό της Νέας Περάμου, ο οποίος καθότι ανεπτυγμένος πάνω στους γεωλογικούς σχηματισμούς του ριπιδίου κατακλύστηκε από τα ύδατα του πλημμυρικού επεισοδίου.



Χάρτης 1 : Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης με ισουψείς καμπύλες. Η γεωλογία της περιοχής (αλλουβιακές προσχώσεις) σε συνδυασμό με τη μορφολογία υποδηλώνουν την ύπαρξη αλλουβιακού ριπιδίου, το οποίο ενεργοποιήθηκε κατά τη ξαφνική πλημμύρα της 15<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2017. Οι ισουψείς καμπύλες έχουν ισοδιάσταση 5 m.

## 2.2.2 Αξιολόγηση πλημμυρικού κινδύνου

Σύμφωνα με τη Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδυνών Πλημμύρας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής και από καταγραφές ιστορικών συμβάντων καθώς και σχετικές αναφορές, η περιοχή της Νέας Περάμου αποτελεί ευάλωτη περιοχή για πλημμυρικά φαινόμενα και μάλιστα περιλαμβάνεται στη Ζώνη Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου πλημμύρας GR06RAK0004 (Χαμηλή ζώνη Μεγάρων – Ν. Περάμου), η οποία έχει έκταση 48 km<sup>2</sup>.

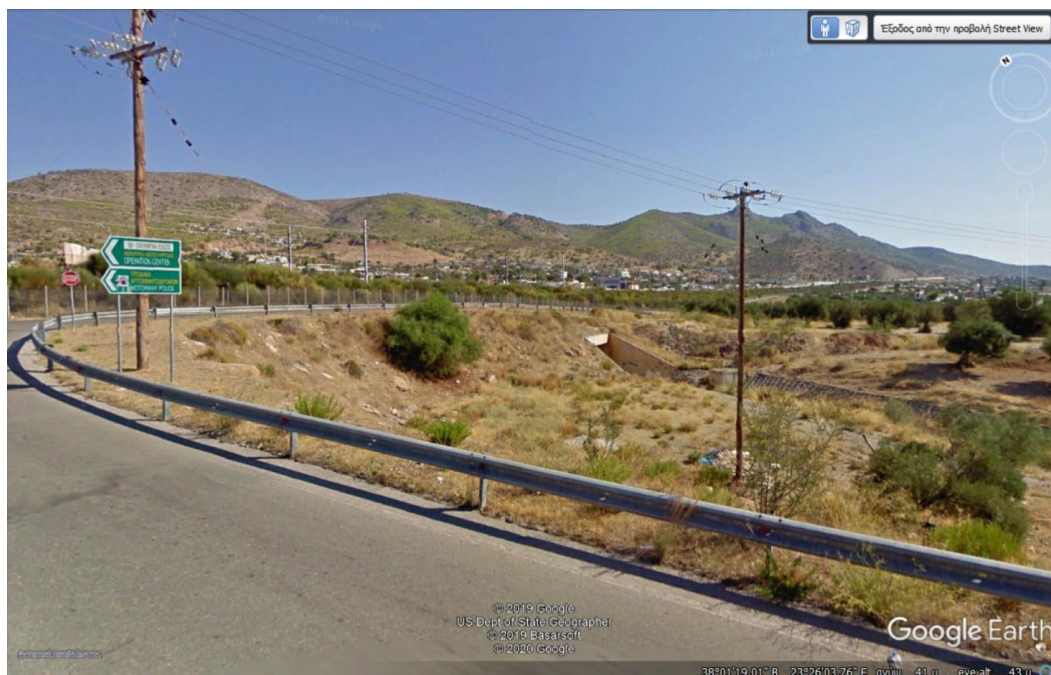


Χάρτης 2 : Χάρτης Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου πλημμύρας Υδατικού Διαμερισματος Αττικής όπου διακρίνεται η ευάλωτη περιοχή Μεγάρων – Νέας Περάμου.



### 2.2.3 Τεχνικά έργα

Το ρέμα Κουλουριώτικο διασχίζει όλο τον οικισμό της Νέας Περάμου από το ύψος της Εθνικής Οδού (Ολυμπία Οδός) και κάτω και για τον λόγο αυτό έχει κατασκευαστεί αγωγός απομάκρυνσης όμβριων υδάτων, ο οποίος ανάντη και εν μέρει κατάντη της Εθνικής Οδού είναι πλακοσκεπής ενώ στη συνέχεια και μέχρι την ακτογραμμή έχει τη μορφή εγκιβωτισμένης κοίτης (concrete channel). Το συνολικό μήκος του αγωγού είναι 2.540 μέτρα. Ακόμη, ανάντη της περιοχής έχει κατασκευαστεί τεχνικό έργο (ιζηματοπαγίδα) με σκοπό την συγκράτηση αδρομερών υλικών και την ελεύθερη ροή υδάτων και πιο λεπτόκοκκων υλικών. Εκτός από την κατάκλυση του οικισμού, σημαντική ήταν και η μεταφορά και απόθεση υλικών τόσο στις ακτές όσο και στον θαλάσσιο πυθμένα, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα τη ρύπανση των υδάτων και σημαντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα. Η μεταφορά αυτή έγινε τόσο από τη φυσική κοίτη του ρέματος, η οποία ταυτίστηκε με τον αγωγό όσο και από μια εναλλακτική μικρότερη κοίτη με σημαντικές αλλαγές στην ακτογραμμή και δημιουργία μικρότερων ριπιδίων. Επίσης, ο οικισμός της Νέας Περάμου είναι έντονα αστικοποιημένος αφού εκτός από εργοστάσια, διαθέτει ανεπτυγμένο οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο καθώς εκτός από την Ολυμπία Οδό υπάρχει σύνδεση τόσο με τον Προαστιακό Σιδηρόδρομο, όσο και με το Εθνικό Σιδηροδρομικό Δίκτυο. Σημαντικές επαρχιακοί οδοί διέρχονται από αυτόν όπως η Επαρχιακή Οδός Μεγάρων – Περαχώρας, αλλά και η Παλαιά Εθνική Οδός Αθηνών – Κορίνθου, κοντά στην παραλία. Τα παραπάνω τεχνικά έργα τέμνουν όλα κάθετα τον αγωγό απομάκρυνσης όμβριων υδάτων.



Εικόνα 2.2.3.1 : Αποψη του πλακοσκεπή αγωγού κατάντη της Ολυμπίας Οδού (Google Earth Street View, ημερομηνία εικόνας 9/2011).



Εικόνα 2.2.3.2 : Ο αγωγός κοντά στην ακτογραμμή της περιοχής (Google Earth Street View, ημερομηνία εικόνας 9/2011).





Χάρτης 3 : Χάρτης απεικόνισης των σημαντικότερων τεχνικών έργων της περιοχής με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

## 2.3 Χαρτογράφηση επιμέρους στοιχείων

### 2.3.1 Όριο πλημμύρας

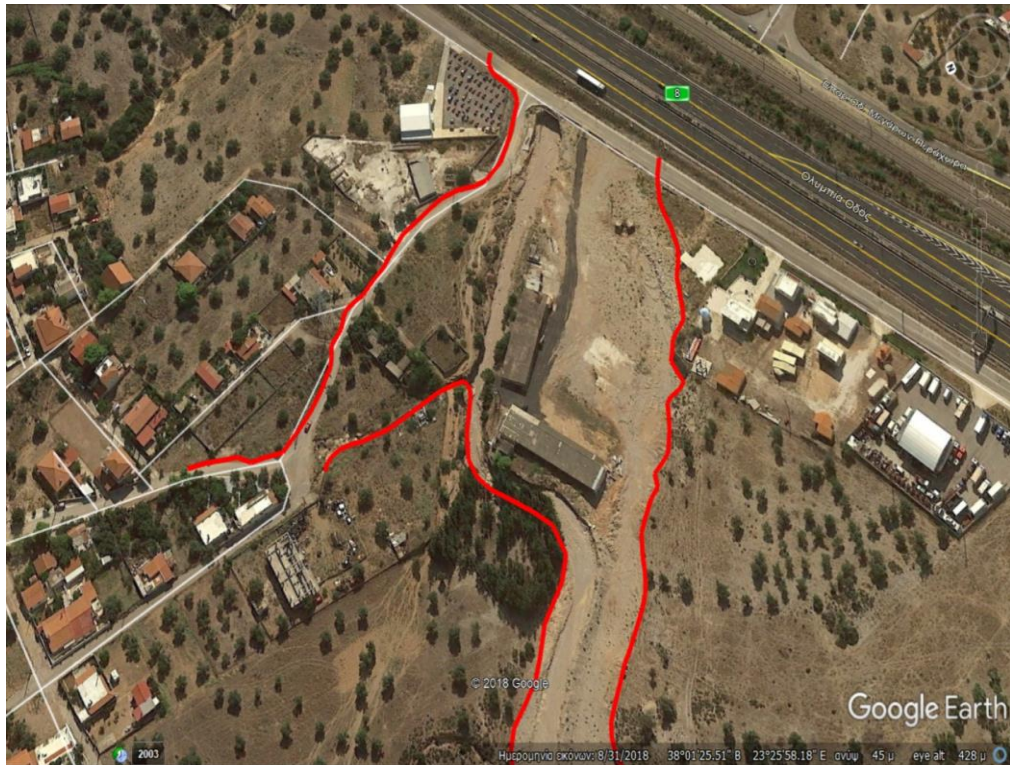
Το όριο της πλημμύρας, δηλαδή ο χώρος ο οποίος κατακλύστηκε από τα όμβρια ύδατα χαρτογραφήθηκε με τη βοήθεια τόσο των δορυφορικών εικόνων από το πρόγραμμα Google Earth Pro, όσο και των βίντεο των οποίων η λήψη έγινε κατά την εξέλιξη του φαινομένου. Ιδιαίτερα ο ρόλος των βίντεο ήταν αρκετά κρίσιμος, καθώς μόνο με τις δορυφορικές εικόνες δε θα γινόταν σωστή εκτίμηση του ορίου αφού αυτές έχουν ληφθεί πολύ μετά το πλημμυρικό

επεισόδιο (επιλέχθηκαν οι εικόνες της 31<sup>ης</sup> Αυγούστου 2018 λόγω καλύτερης ανάλυσης). Αν και τα βίντεο δεν έχουν ληφθεί ακριβώς τη στιγμή της κατάκλυσης, είναι αρκετά εύκολο να διακρίνει κανείς το σημείο μέχρι το οποίο έφτασαν τα ύδατα λόγω αλλαγής του χρώματος του εδάφους (καφέ χρώμα). Έτσι, η απαραίτητη χαρτογράφηση έγινε μέσω του προγράμματος Google Earth Pro, στο οποίο δημιουργήθηκε φάκελος και στη συνέχεια KMZ αρχείο με το παρατηρούμενο από τις δορυφορικές εικόνες και τα βίντεο του μη επανδρωμένου οχήματος όριο της πλημμύρας, το οποίο εισήχθη στο πρόγραμμα ArcMap και μετατράπηκε σε αναγνωρίσιμη από αυτό μορφή (εργαλείο KML To Layer), ενώ στη συνέχεια υπήρξε και μετατροπή των συντεταγμένων (εργαλείο Data Management Tools -> Projections and Transformations -> Feature -> Project), από WGS\_84 σε Greek Grid, δηλαδή στις συντεταγμένες του Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας. Γενικά, η χαρτογράφηση όλων των επιμέρους στοιχείων για τα οποία ήταν απαραίτητη η χρήση δορυφορικών εικόνων ή βίντεο έγινε μέσω του παραπάνω προγράμματος και αφού αυτά αποθηκεύτηκαν σε φάκελο ο οποίος εξήχθη σε αρχείο KMZ. Σε σημεία στα οποία δεν υπήρχαν διαθέσιμες λήψεις που να επιτρέπουν σίγουρη οριοθέτηση της πλημμύρας, κυρίως από το ύψος της Σιδηροδρομικής Γραμμής και κάτω, χαρτογραφήθηκε και ένα δεύτερο πιθανό όριο πλημμύρας το οποίο αναλύεται παρακάτω.

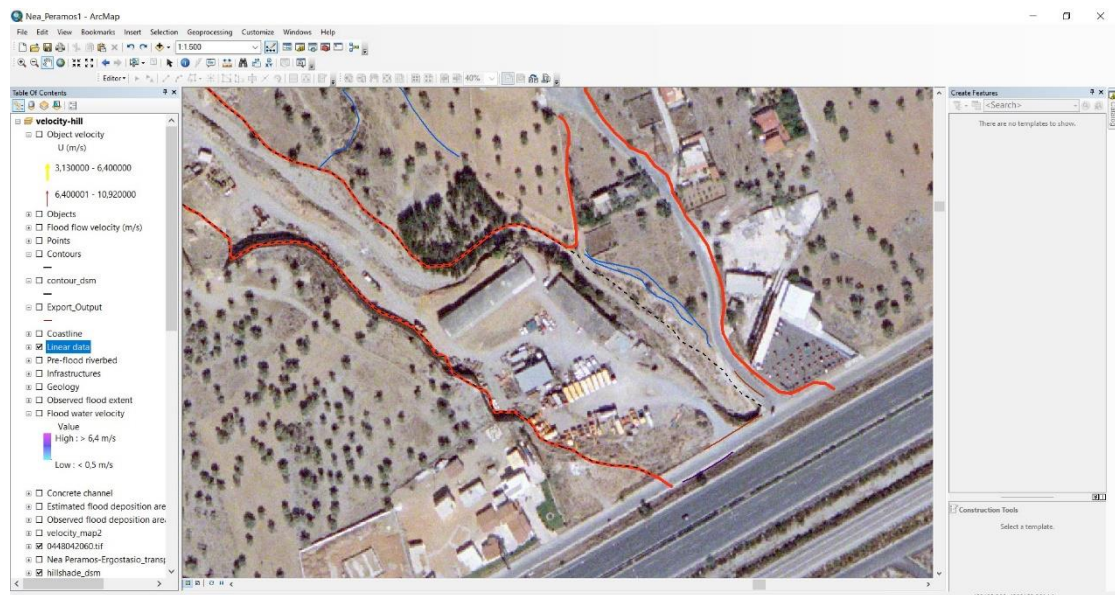


Εικόνα 2.3.1.1 : Στιγμιότυπο από βίντεο του μη επανδρωμένου οχήματος στο οποίο διακρίνεται το όριο πλημμύρας (έκταση με καφέ χρώμα). Ημερομηνία και ώρα λήψης : 15/11/2017, 10.03 π.μ.

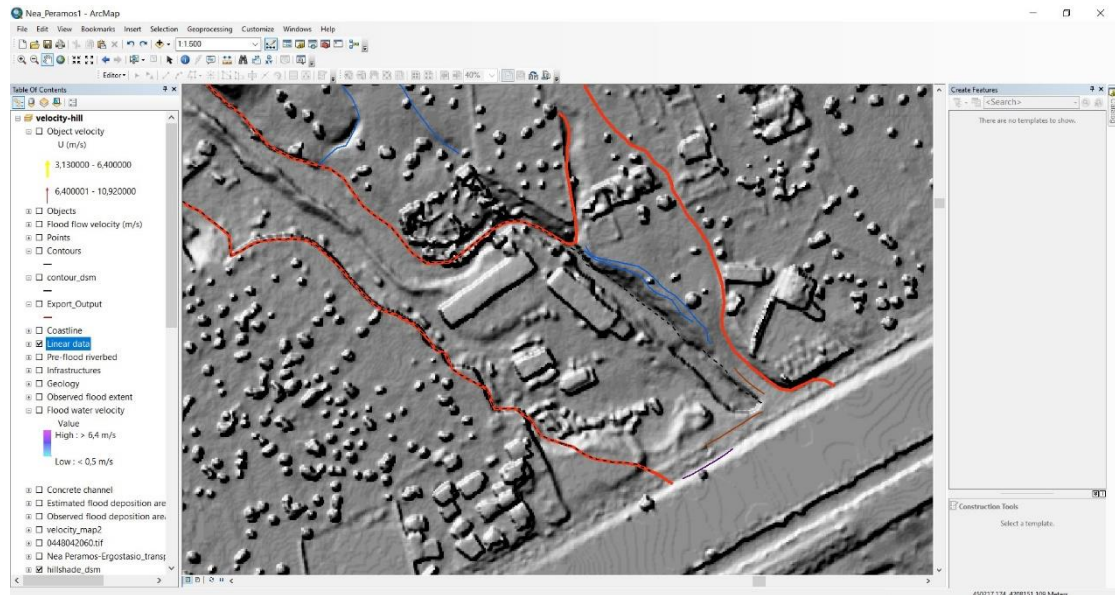




Εικόνα 2.3.1.2 : Χαρτογράφηση του ανωτέρου ορίου (κόκκινη γραμμή) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.



Εικόνα 2.3.1.3 : Απεικόνιση του παραπάνω χαρτογραφημένου ορίου πλημμύρας στο πρόγραμμα ArcMap (κόκκινη γραμμή) με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου. Διακρίνονται ακόμη το όριο διάβρωσης (διακεκομμένη γραμμή), κάποιες μικρότερες εδαφικές διαβρώσεις (μπλε γραμμή), καθώς και αστοχίες των τεχνικών έργων (καφέ και μωβ γραμμές), τα οποία αναλύονται παρακάτω.

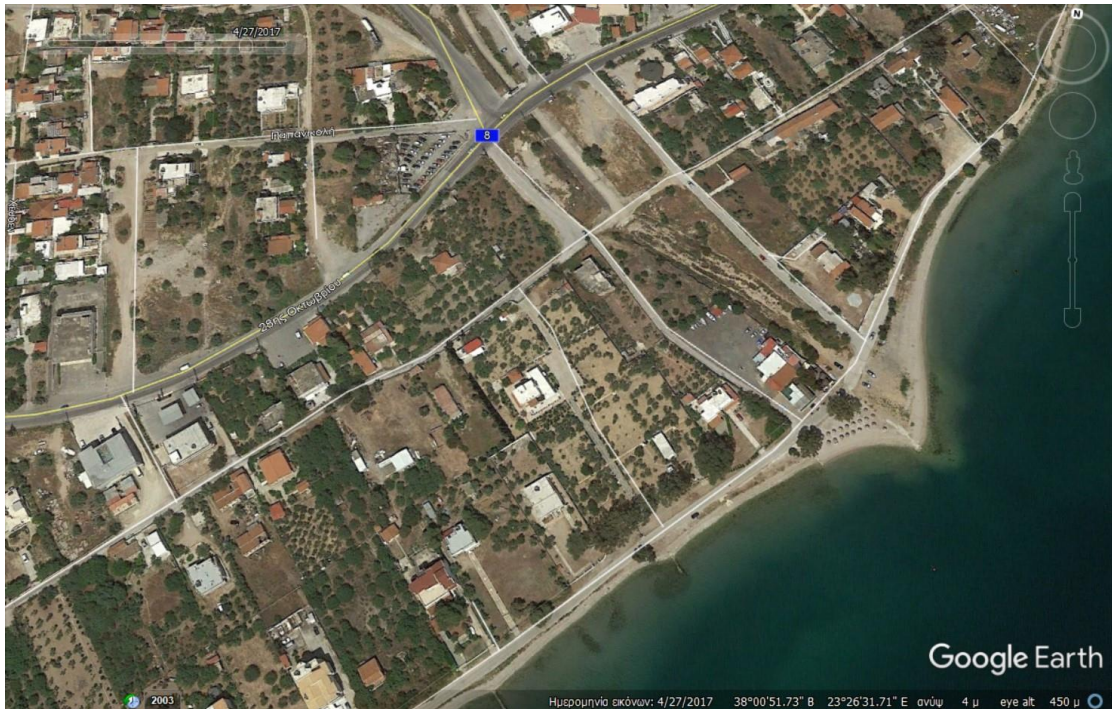


Εικόνα 2.3.1.4 : Απεικόνιση του παραπάνω χαρτογραφημένου ορίου πλημμύρας στο πρόγραμμα ArcMap (κόκκινη γραμμή) με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM). Διακρίνονται ακόμη το όριο διάβρωσης (διακεκομμένη γραμμή), κάποιες μικρότερες εδαφικές διαβρώσεις (μπλε γραμμή), καθώς και αστοχίες των τεχνικών έργων (καφέ και μωβ γραμμές), τα οποία διακρίνονται παρακάτω.

### 2.3.2 Αποθέσεις πλημμύρας

Η χαρτογράφηση των πολυγώνων των περιοχών που καλύφθηκαν από φερτά υλικά (κυρίως λάσπη) έγινε με τη βοήθεια των δορυφορικών εικόνων. Οι περιοχές αυτές έχουν διαφορετικό χρωματισμό (μπεζ χρώμα) από τις γειτονικές τους.





Εικόνα 2.3.2.1 : Η παράκτια περιοχή του οικισμού στο σημείο εκβολής του ρέματος Κουλουριώτικο πριν τη πλημμύρα (Ημερομηνία εικόνας 27/4/2017).

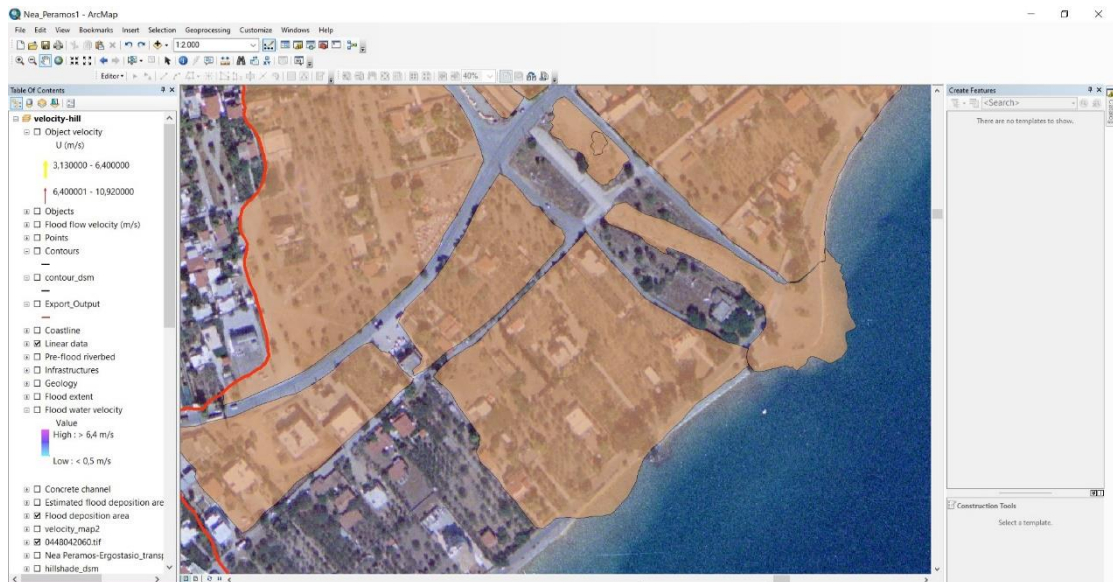


Εικόνα 2.3.2.2 : Εκτάσεις καλυμμένες με αποθέσεις στην παράκτια περιοχή του οικισμού μετά τη πλημμύρα. Ξεχωρίζουν λόγω του διαφορετικού χρώματος τους (μπεζ) από τις γειτονικές τους (Ημερομηνία εικόνας 31/8/2018).

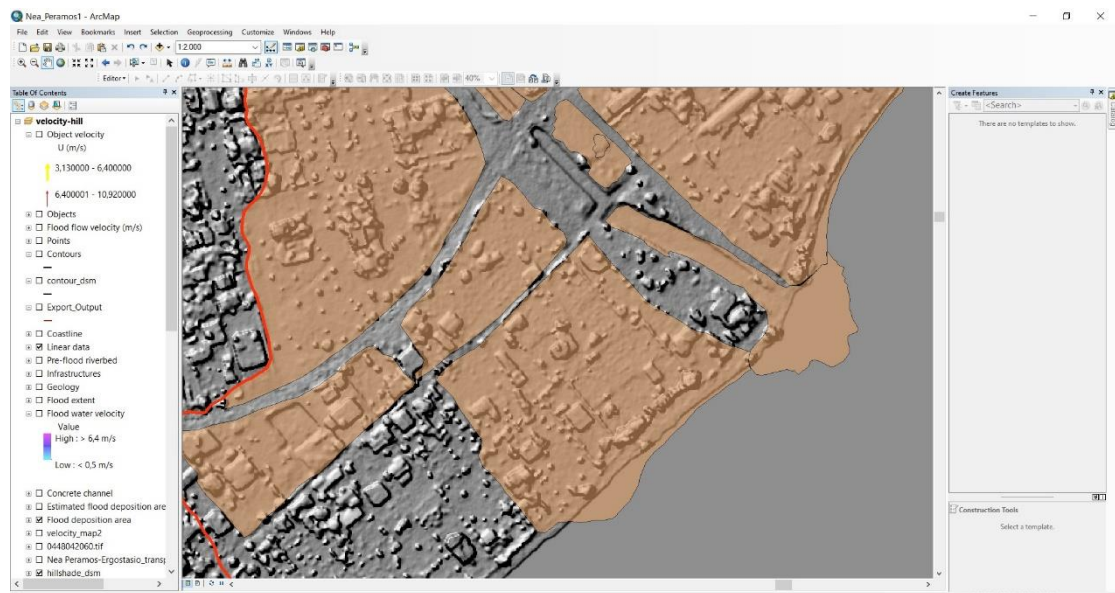




Εικόνα 2.3.2.3 : Χαρτογράφηση των ανωτέρω εκτάσεων (μωβ πολύγωνα) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.



Εικόνα 2.3.2.4 : Απεικόνιση των παραπάνω χαρτογραφημένων αποθέσεων πλημμύρας ως πολύγωνα στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

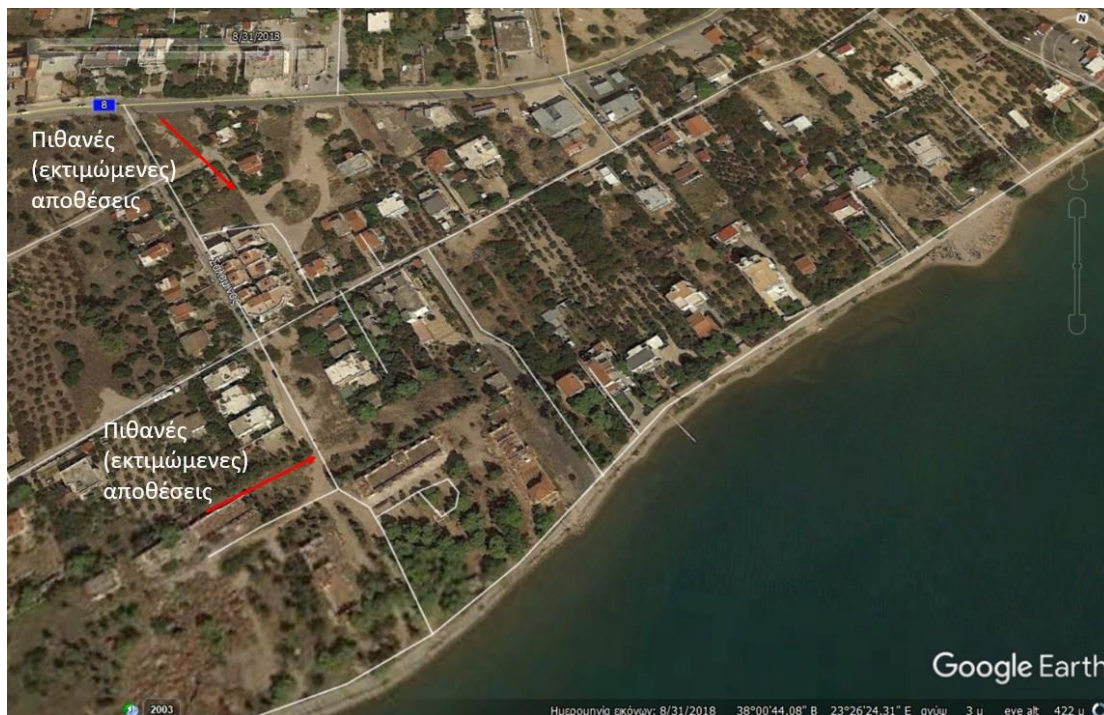


Εικόνα 2.3.2.5 : Απεικόνιση των παραπάνω χαρτογραφημένων αποθέσεων πλημμύρας ως πολύγωνα στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).

### 2.3.3 Πιθανές αποθέσεις πλημμύρας

Παρόμοια με παραπάνω, χαρτογραφήθηκαν και τα πολύγωνα αποθέσεων για τις οποίες δεν υπήρχε μεγάλη βεβαιότητα ότι προήλθαν από τη μεταφορά και απόθεση υλικών από το συγκεκριμένο ρέμα ή κάποιο άλλο γειτονικό, καθώς βρίσκονταν εκτός του ορίου έκτασης της πλημμύρας για το οποίο υπήρχε μεγαλύτερη βεβαιότητα. Για το λόγο αυτό, οριοθετήθηκε και μια ακόμη περιοχή η οποία πιθανώς να κατακλύστηκε από ύδατα κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης πλημμύρας.



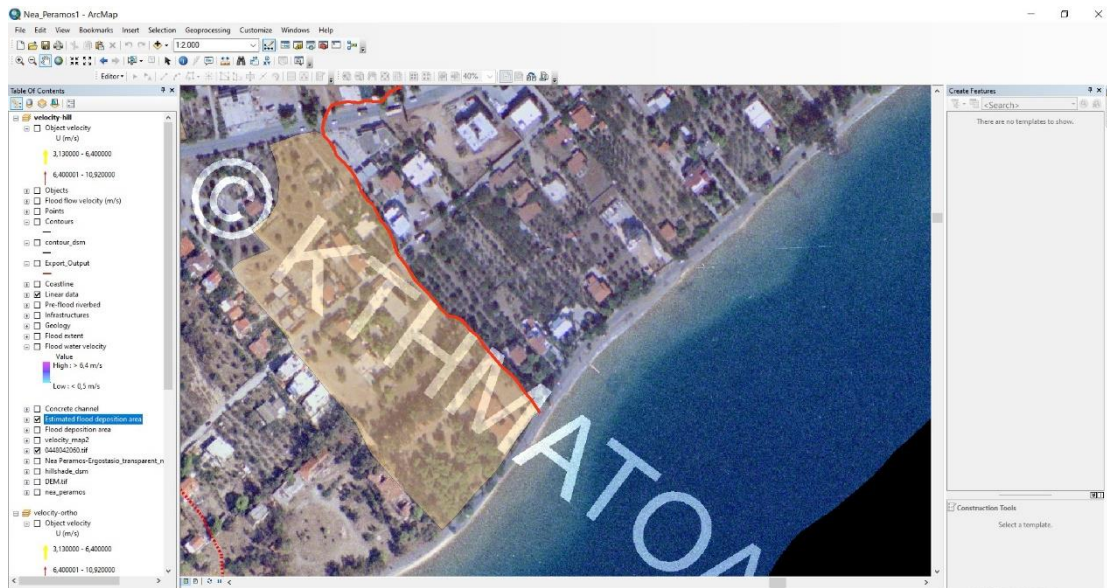


Εικόνα 2.3.3.1 : Εκτάσεις οι οποίες πιθανόν να καλύφθηκαν από φερτά υλικά κατά τη διάρκεια της πλημμύρας. Ξεχωρίζουν λόγω διαφορετικού χρώματος (μπεζ) από τις γειτονικές τους.

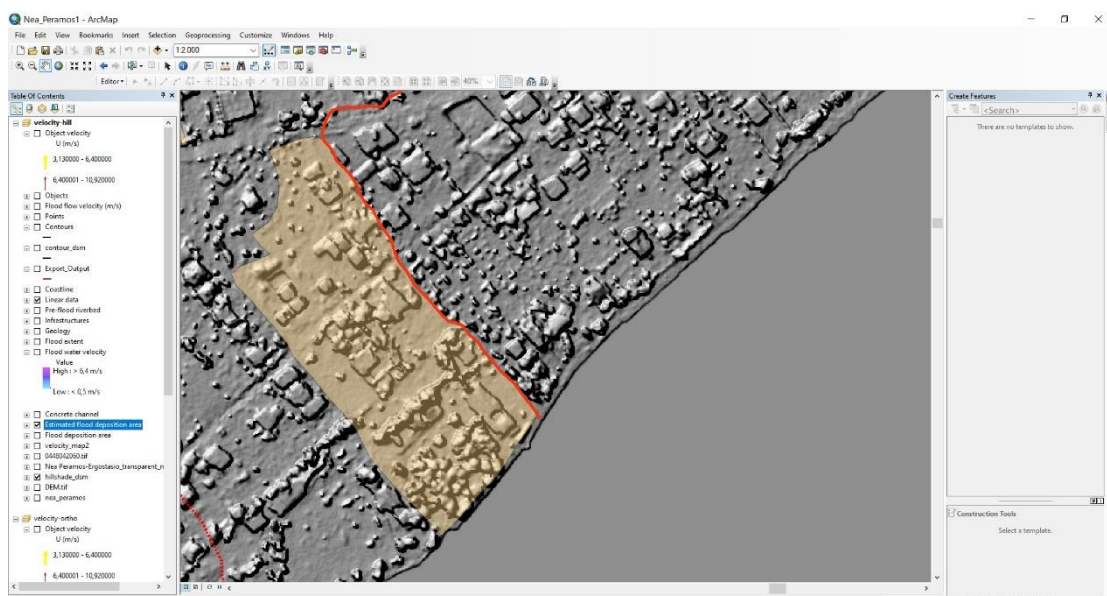


Εικόνα 2.3.3.2 : Χαρτογράφηση των ανωτέρω εκτάσεων (κίτρινο χρώμα) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.





Εικόνα 2.3.3.3 : Απεικόνιση των παραπάνω χαρτογραφημένων πιθανών (εκτιμώμενων) αποθέσεων ως πολύγωνα στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου. Διακρίνεται ακόμη το πιθανό όριο πλημμύρας (διακεκομμένη γραμμή), το οποίο αναλύεται παρακάτω.

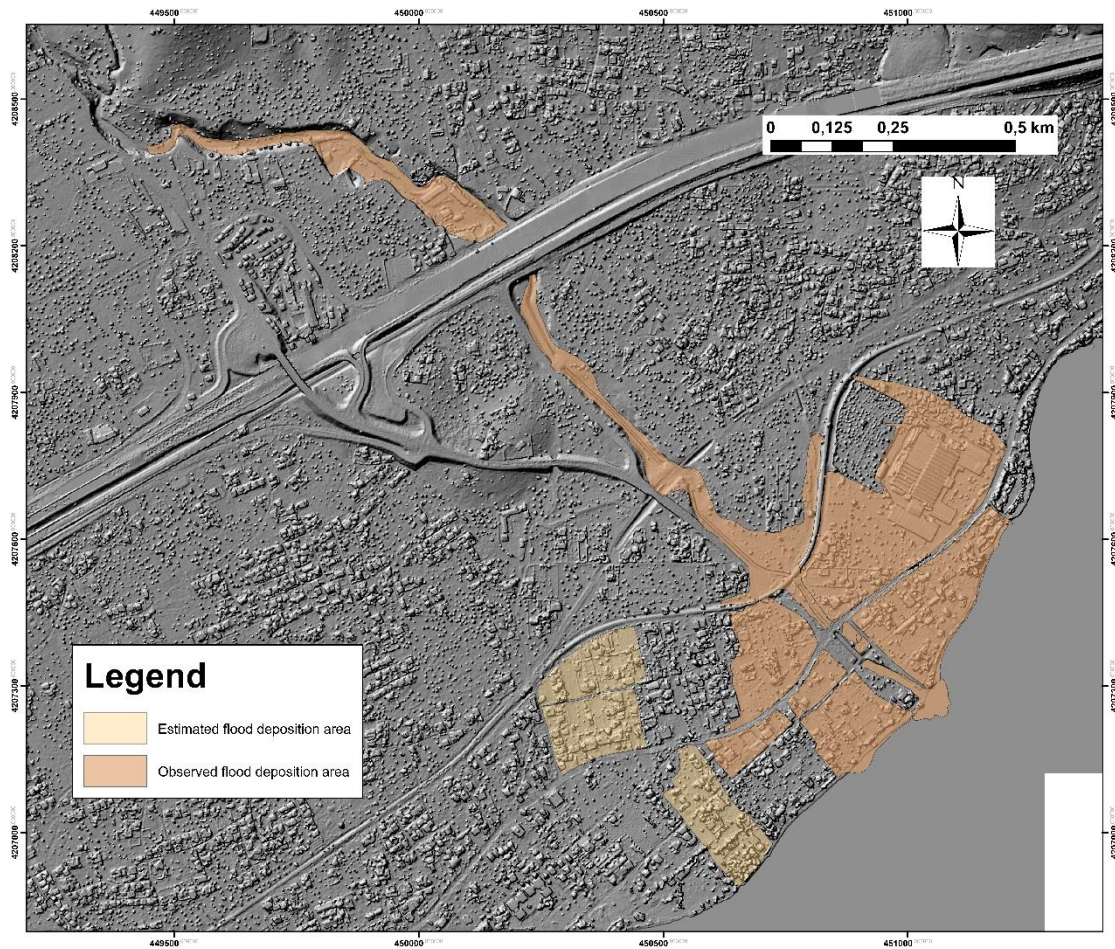


Εικόνα 2.3.3.4 : Απεικόνιση των παραπάνω χαρτογραφημένων πιθανών (εκτιμώμενων) αποθέσεων ως πολύγωνα στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM). Διακρίνεται ακόμη το πιθανό όριο πλημμύρας (διακεκομμένη γραμμή), το οποίο αναλύεται παρακάτω.



Χάρτης 4 : Χάρτης αποθέσεων και πιθανών (εκτιμώμενων) αποθέσεων της περιοχής με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

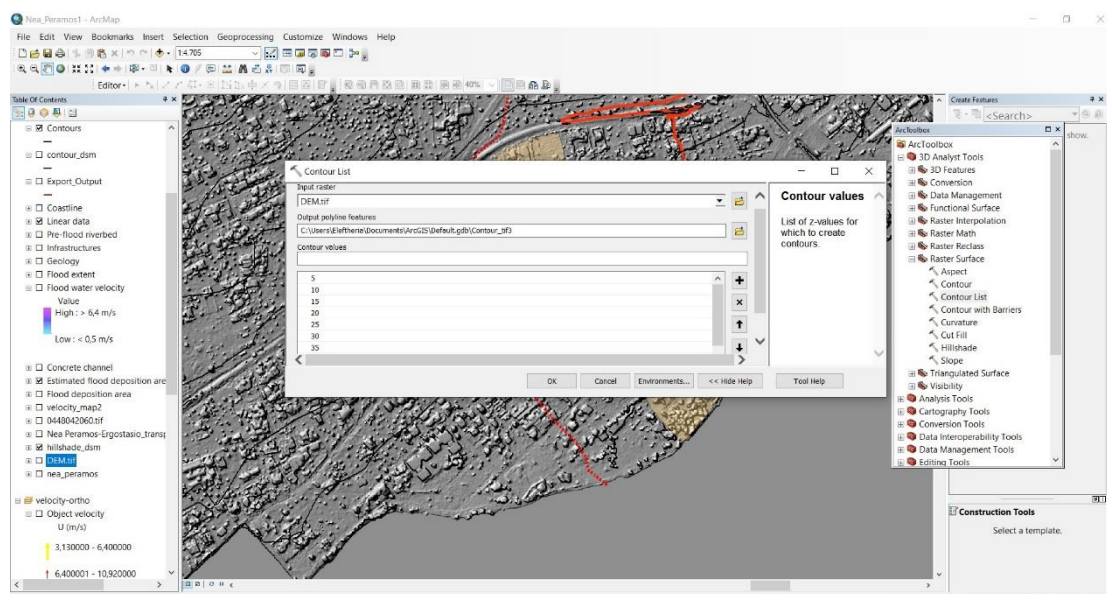




Χάρτης 5 : Χάρτης αποθέσεων και πιθανών (εκτιμώμενων) αποθέσεων της περιοχής με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).

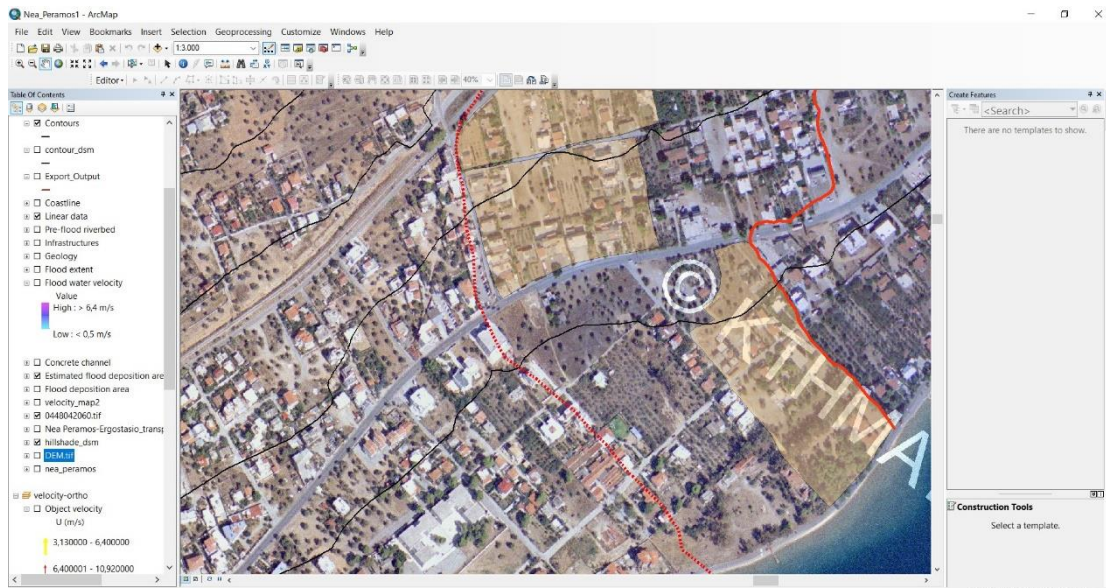
## 2.3.4 Πιθανό όριο πλημμύρας

Για σημεία στα οποία δεν ήταν δυνατή η σίγουρη οριοθέτηση της πλημμύρας, αλλά παρόλα αυτά παρατηρήθηκαν αποθέσεις οι οποίες βρίσκονταν εκτός του βέβαιου ορίου πλημμύρας, χρησιμοποιήθηκε το παλαιότερο Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων (DEM), μέσω του οποίου δημιουργήθηκαν ισουψείς καμπύλες (επιλογή Raster Surface και στη συνέχεια Contour List από την εργαλειοθήκη 3D Analyst) μέχρι το υψόμετρο των 50 m και οι οποίες είχαν ισοδιάσταση 5 m. Μετά τη δημιουργία των ισουψών καμπυλών ήταν δυνατή η χαρτογράφηση ενός πιθανού ορίου πλημμύρας, καθώς ήταν πιο εύκολη η διάκριση κάποιας μισγάγγειας η οποία θα μπορούσε να έχει μεταφέρει και να έχει αποθέσει υλικό εκτός του βέβαιου ορίου πλημμύρας.

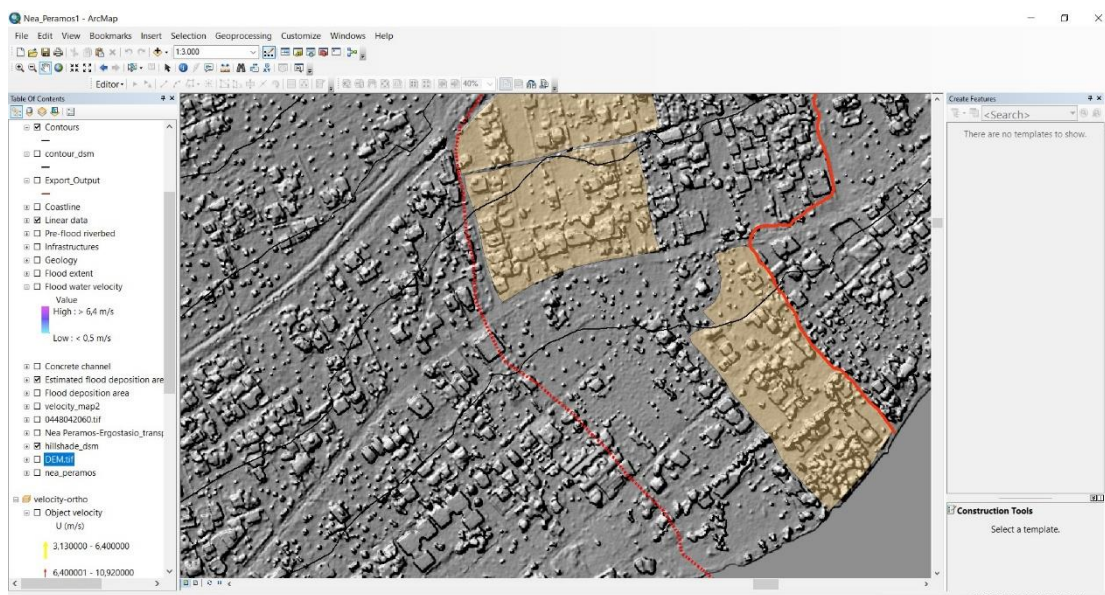


Εικόνα 2.3.4.1 : Διαδικασία δημιουργίας ισουψών καμπυλών με τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Υψομέτρων (DEM). Δημιουργήθηκαν για υψόμετρο μέχρι τα 50 m και ανά 5 m.





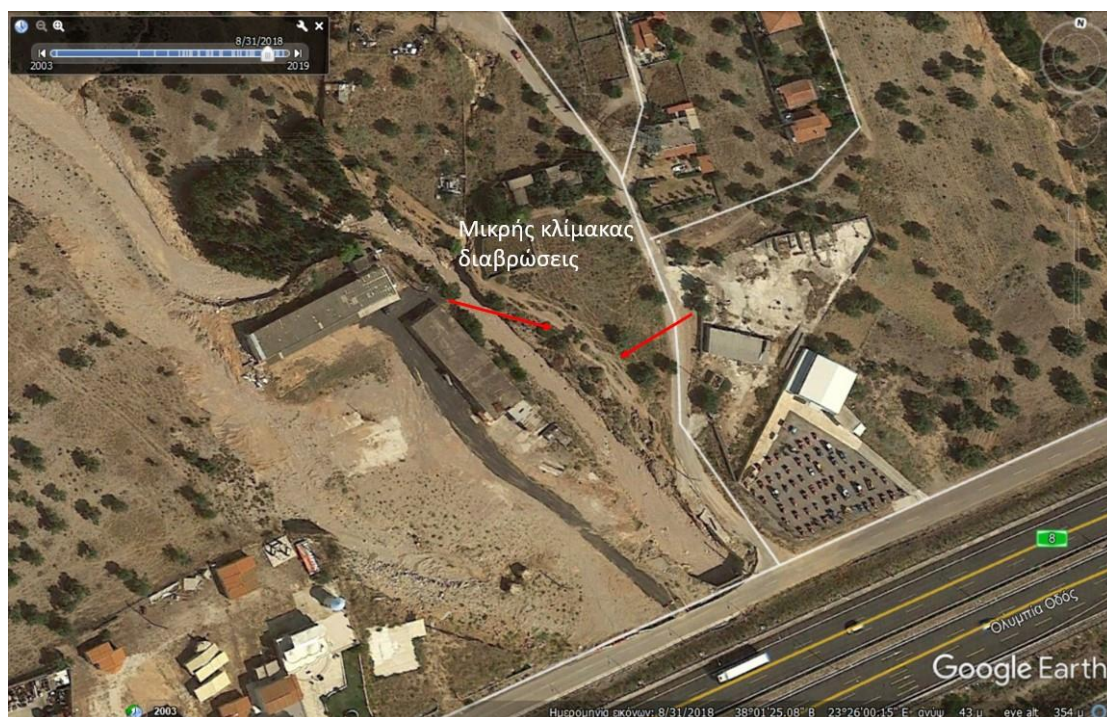
Εικόνα 2.3.4.2 : Απεικόνιση πιθανού ορίου πλημμύρας (διακεκομμένη γραμμή) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου. Η ύπαρξη τόσο των εκτιμωμένων αποθέσεων της πλημμύρας, όσο και μιας μισγάγγειας επιτρέπει την οριοθέτηση περιοχής η οποία πιθανώς να πλημμύρισε.



Εικόνα 2.3.4.3 : Απεικόνιση πιθανού ορίου πλημμύρας (διακεκομμένη γραμμή) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM). Η ύπαρξη τόσο των εκτιμωμένων αποθέσεων της πλημμύρας, όσο και μιας μισγάγγειας επιτρέπει την οριοθέτηση περιοχής η οποία πιθανώς να πλημμύρισε.

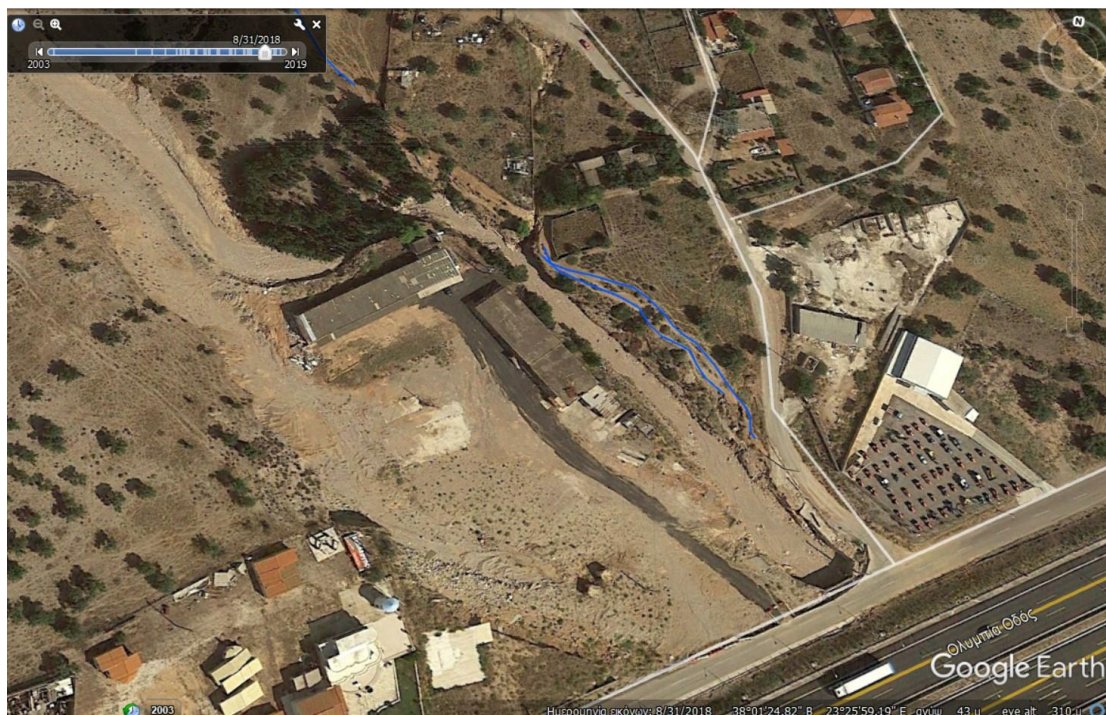
### 2.3.5 Μικρές εδαφικές διαβρώσεις

Εντοπίστηκαν μέσω των δορυφορικών εικόνων και χαρτογραφήθηκαν κάποιες μικρές διαβρώσεις ανάντη της Εθνικής Οδού, κοντά στο εργοστάσιο.

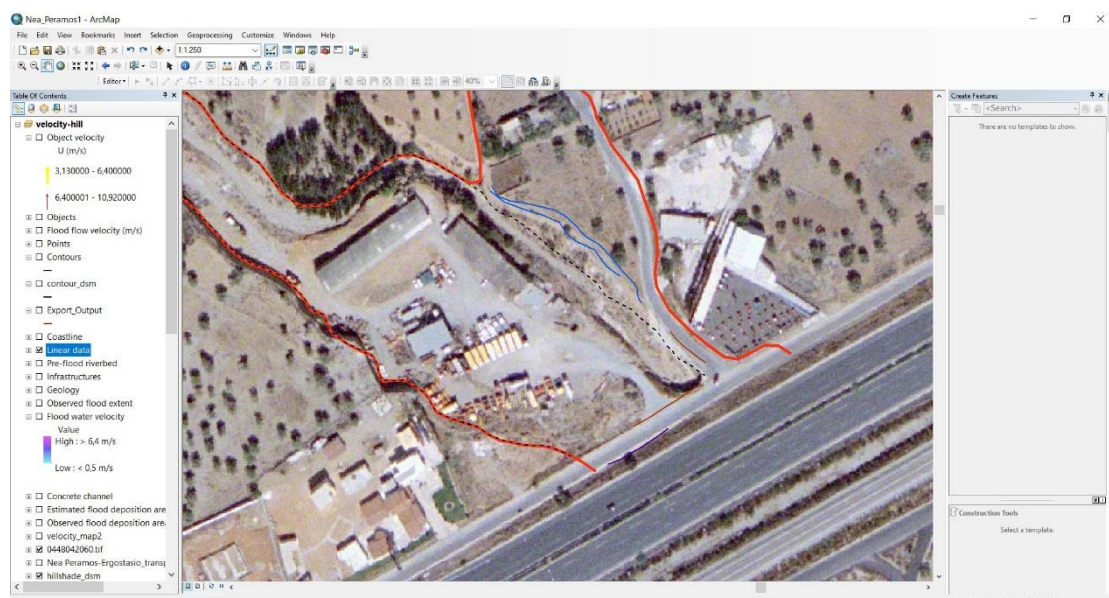


Εικόνα 2.3.5.1 : Μικρές εδαφικές διαβρώσεις στη περιοχή ανάντη της Εθνικής Οδού.

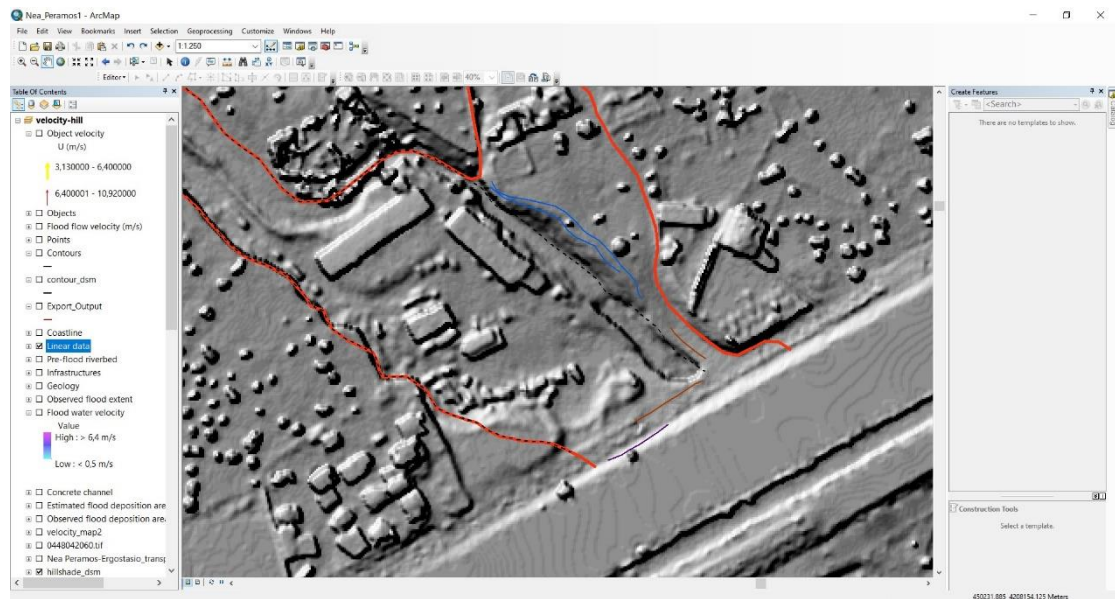




Εικόνα 2.3.5.2 : Χαρτογράφηση των ανωτέρω διαβρώσεων (γαλάζιο χρώμα) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.



Εικόνα 2.3.5.3 : Απεικόνιση των παραπάνω χαρτογραφημένων μικρών διαβρώσεων (γαλάζιο χρώμα) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

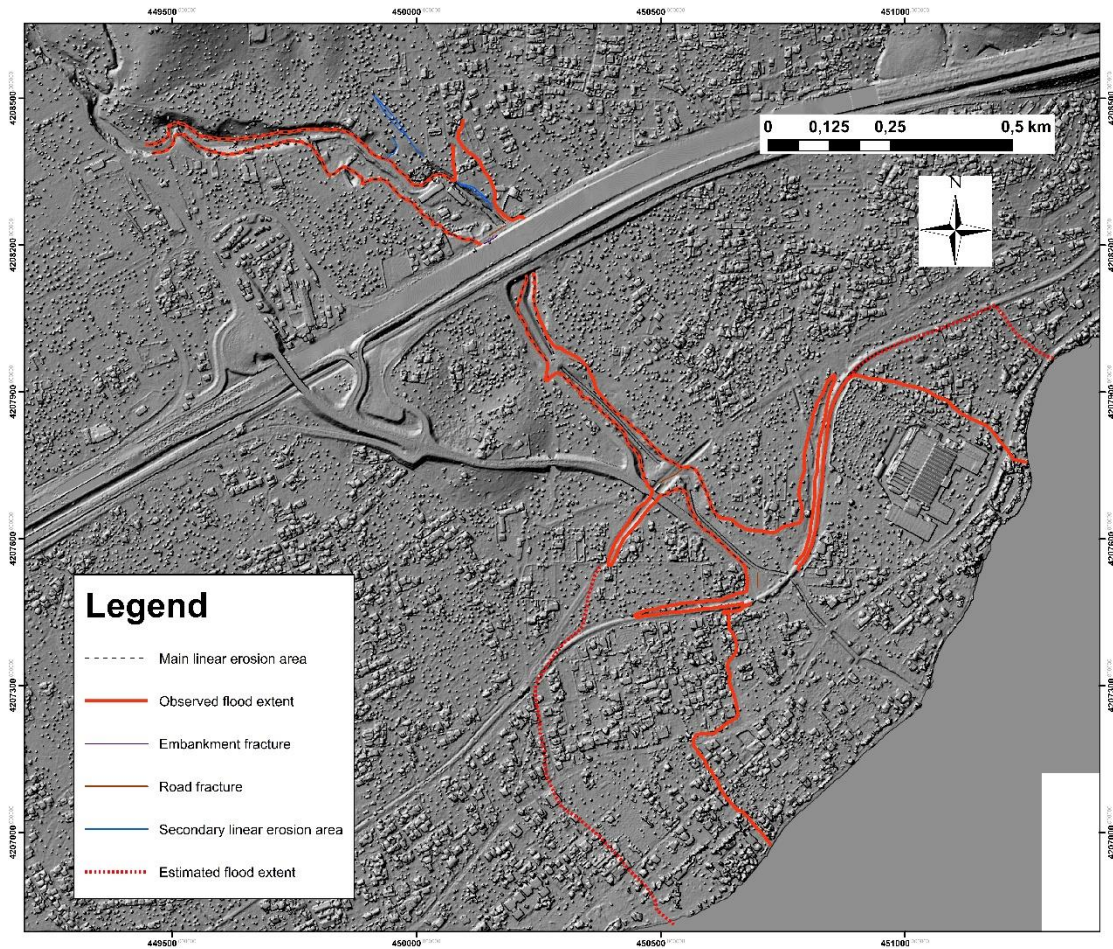


Εικόνα 2.3.5.4 : Απεικόνιση των παραπάνω χαρτογραφημένων μικρών διαβρώσεων (γαλάζιο χρώμα) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).





Χάρτης 6 : Χάρτης χαρτογραφημένων γραμμικών στοιχείων της περιοχής με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου. Διακρίνεται το όριο πλημμύρας, το πιθανό όριο πλημμύρας, οι αστοχίες στο οδόστρωμα και στο ανάχωμα της Εθνικής Οδού, το όριο διάβρωσης και μικρότερης κλίμακας εδαφικές διαβρώσεις.



Χάρτης 7 : Χάρτης χαρτογραφημένων γραμμικών στοιχείων της περιοχής με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM). Διακρίνεται το όριο πλημμύρας, το πιθανό όριο πλημμύρας, οι αστοχίες στο οδόστρωμα και στο ανάχωμα της Εθνικής Οδού, το όριο διάβρωσης και μικρότερης κλίμακας εδαφικές διαβρώσεις.

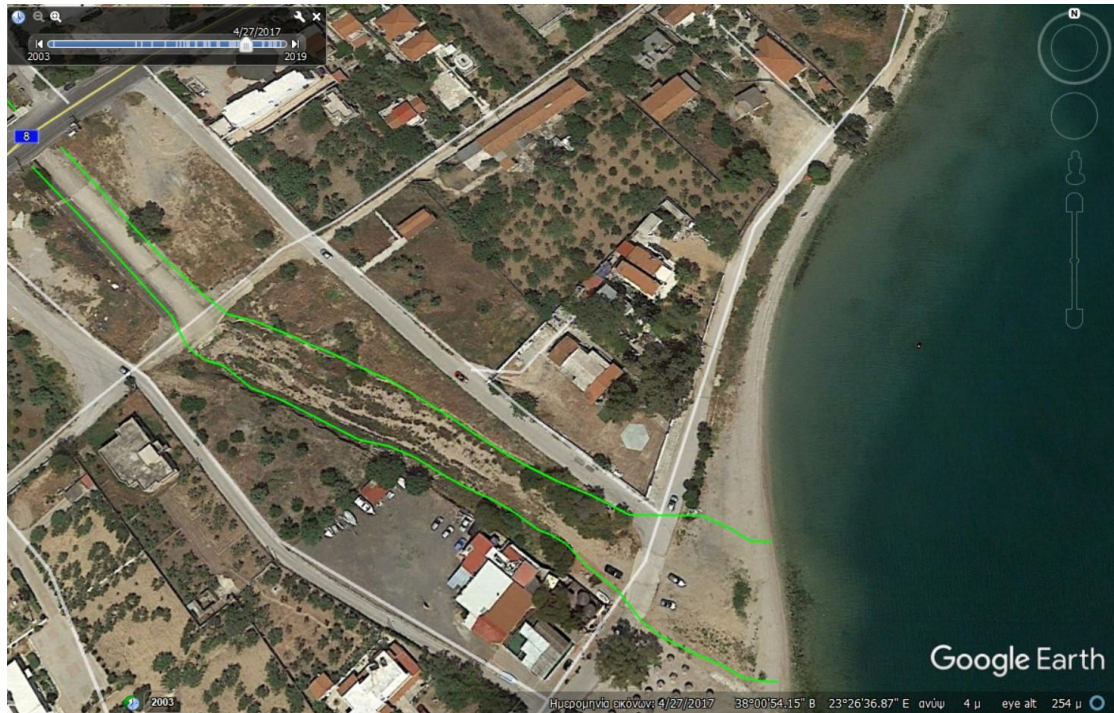


### 2.3.6 Παλαιά κοίτη

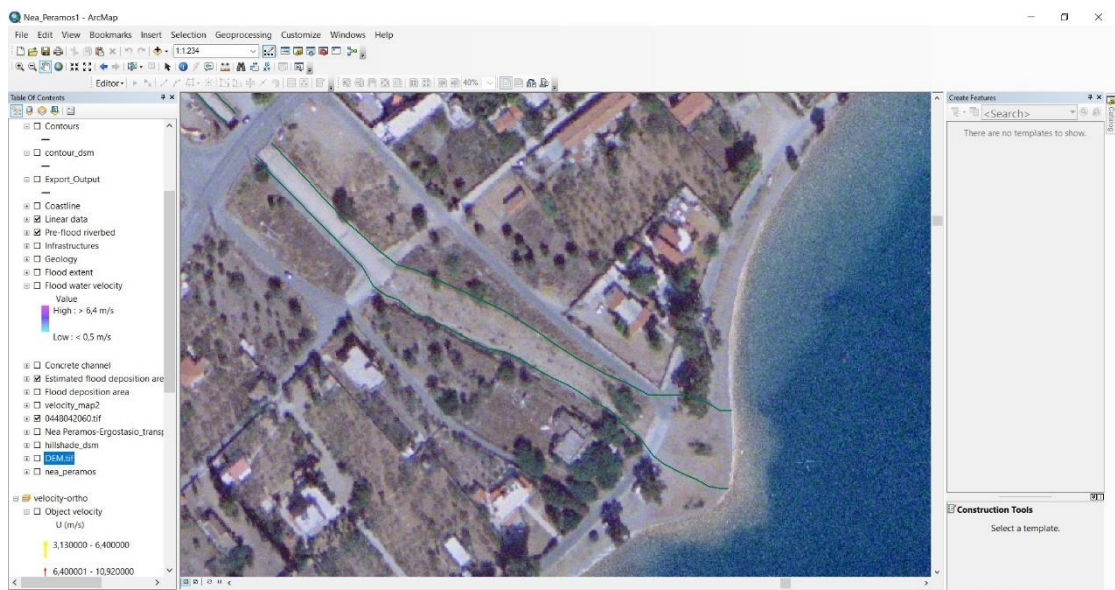
Η χαρτογράφηση της παλαιάς κοίτης του ρέματος, δηλαδή του τμήματος μέσα στο οποίο έρεε κατά το παρελθόν και πριν το πλημμυρικό γεγονός έγινε με τη χρήση των δορυφορικών εικόνων από το 2016 και το 2017, καθώς στα συγκεκριμένα έτη ήταν πιο ευδιάκριτα τα όρια της κοίτης λόγω καλύτερης ανάλυσης. Κατάντη της Εθνικής Οδού ταυτίζεται ως επί το πλείστον με τα όρια του αγωγού απομάκρυνσης υδάτων (εγκιβωτισμένη κοίτη) συμπεριλαμβανομένου του αναχώματος αυτού εκτός ενός μικρού τμήματος που ταυτίζεται με τις εκβολές του ρέματος στις ακτές της περιοχής, ενώ ανάντη της Εθνικής Οδού συναντάται στη φυσική της μορφή.



Εικόνα 2.3.6.1 : Τα όρια της κοίτης του ρέματος πριν το πλημμυρικό γεγονός. Συναντάται τόσο στη φυσική της μορφή, όσο και στην εγκιβωτισμένη (αγωγός απομάκρυνσης όμβριων υδάτων).

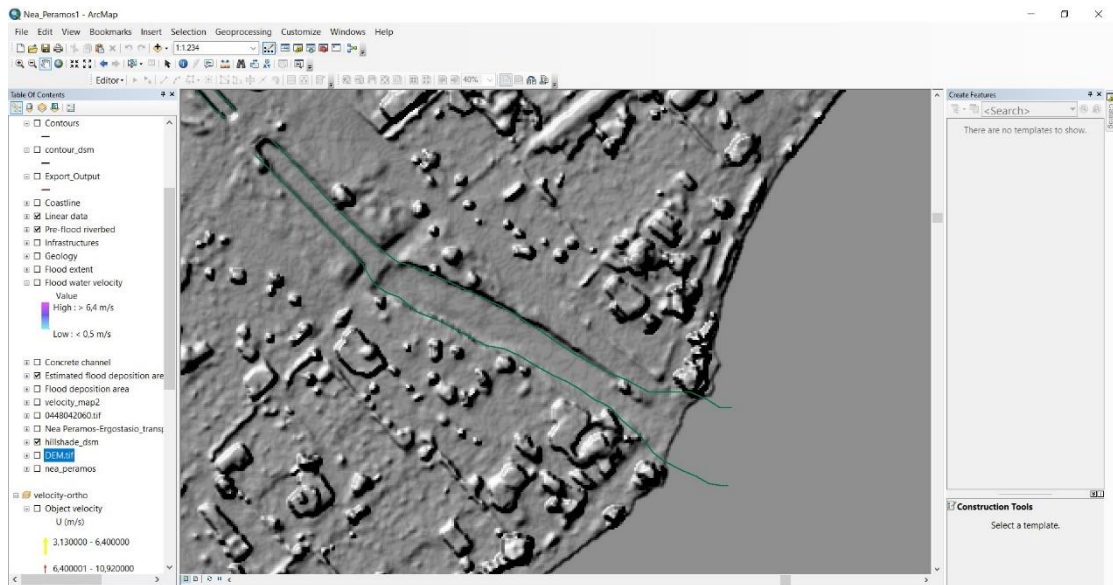


Εικόνα 2.3.6.2 : Χαρτογράφηση της κοίτης (πράσινο χρώμα) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.



Εικόνα 2.3.6.3 : Απεικόνιση των ορίων της κοίτης πριν τη πλημμύρα (πράσινο χρώμα) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.



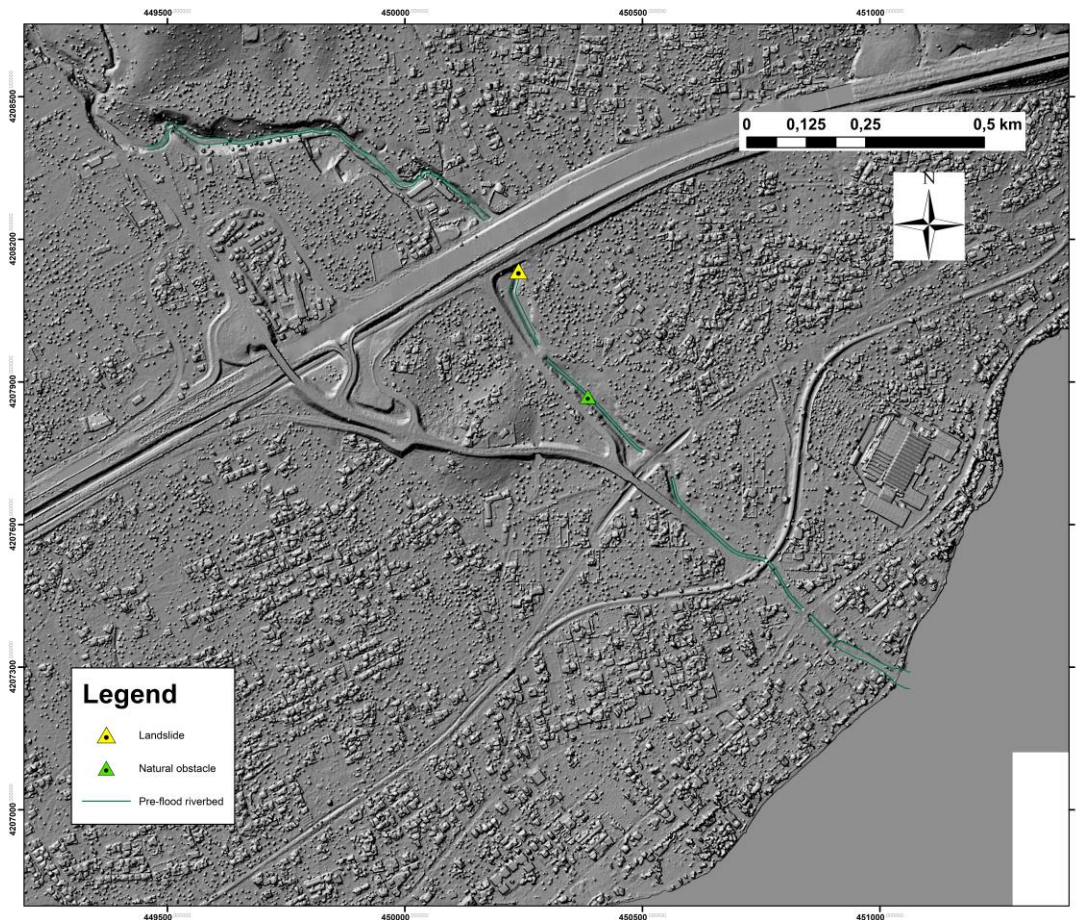


Εικόνα 2.3.6.4 : Απεικόνιση των ορίων της κούτης πριν τη πλημμύρα (πράσινο χρώμα) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).



Χάρτης 8 : Χάρτης ορίων της κοίτης του ρέματος Κουλουριώτικο πριν τη πλημμύρα με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου. Διακρίνονται ακόμα τα σημεία στα οποία υπήρξαν κάποιες μικρές αστοχίες πρανών καθώς και η θέση φυσικού εμποδίου εντός της κοίτης, κατά τη διάρκεια της πλημμύρας.



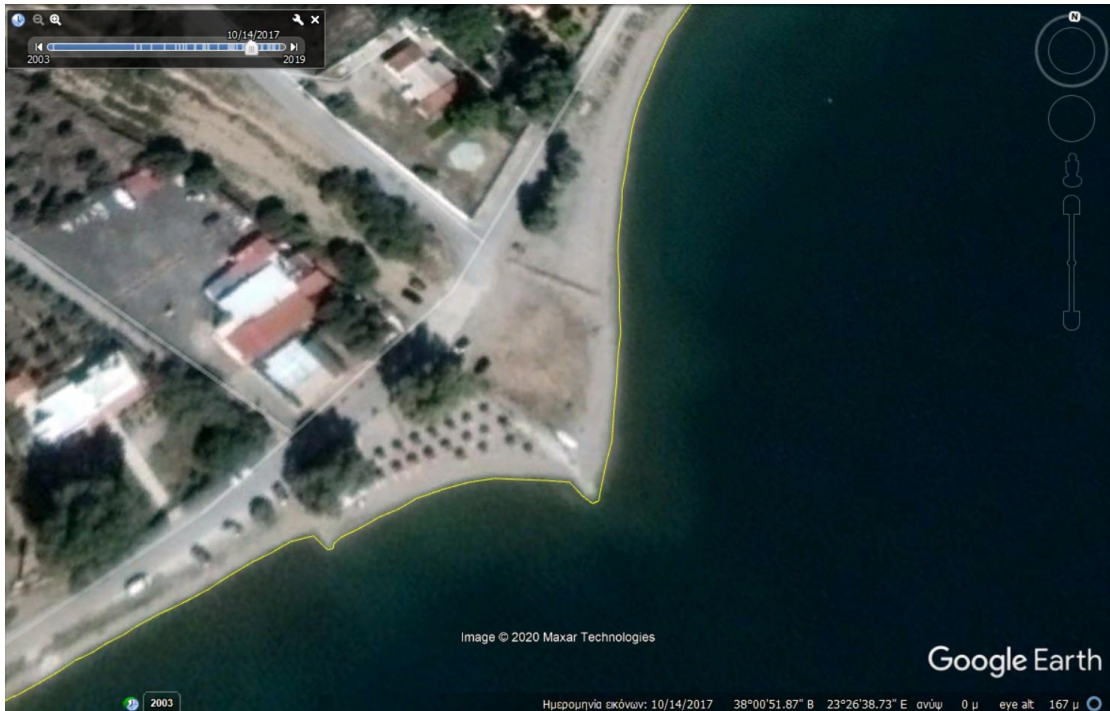


Χάρτης 9 : Χάρτης ορίων της κοίτης του ρέματος Κουλουριώτικο πριν τη πλημμύρα με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM). Διακρίνονται ακόμα τα σημεία στα οποία υπήρξαν κάποιες μικρές αστοχίες πρανών καθώς και η θέση φυσικού εμποδίου εντός της κοίτης, κατά τη διάρκεια της πλημμύρας.

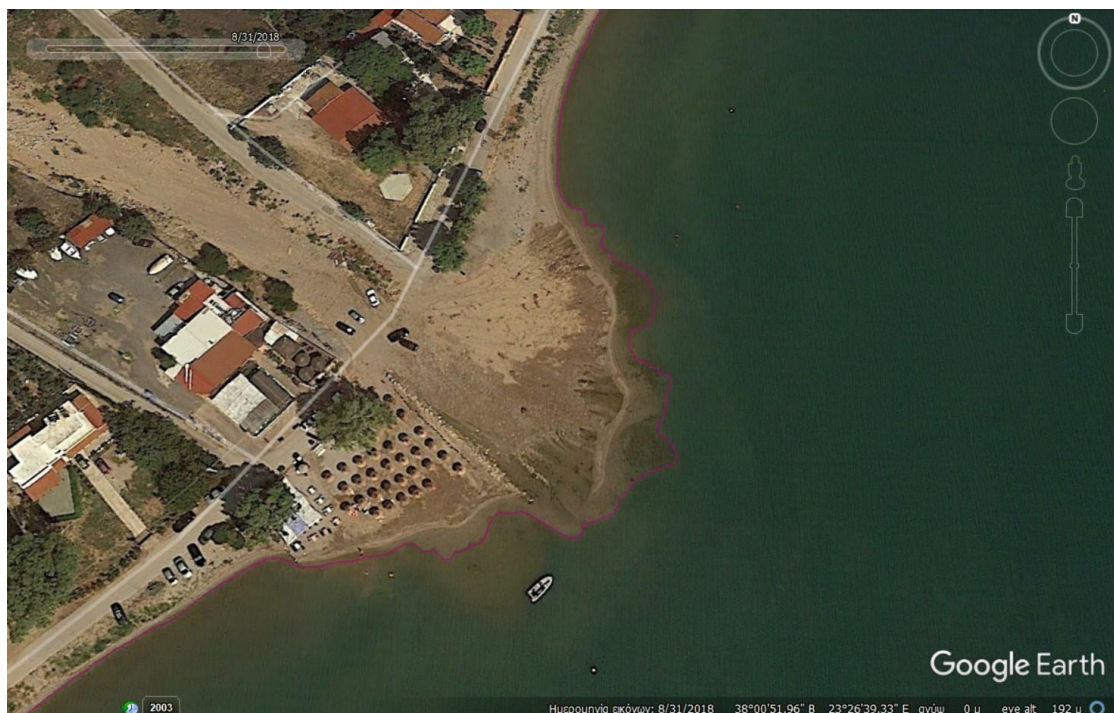
### 2.3.7 Μεταβολές ακτογραμμής

Το τελευταίο στοιχείο το οποίο χαρτογραφήθηκε με τη χρήση μόνο των δορυφορικών εικόνων και το οποίο παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι οι μεταβολές στην ακτογραμμή της περιοχής. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν οι εικόνες της 14<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2017, δηλαδή ένα μήνα πριν τη πλημμύρα και της 31<sup>ης</sup> Αυγούστου 2018 λόγω καλύτερης ανάλυσης. Γίνεται εμφανές ότι μέσω του συγκεκριμένου πλημμυρικού επεισοδίου η ακτογραμμή επηρεάστηκε δραματικά, καθώς σε ορισμένα σημεία της παρατηρούνται καινούριες γεωμορφές που συνιστούν μικρής έκτασης αλλουβιακά ριπίδια με χαρακτηριστική μορφή βεντάλιας.

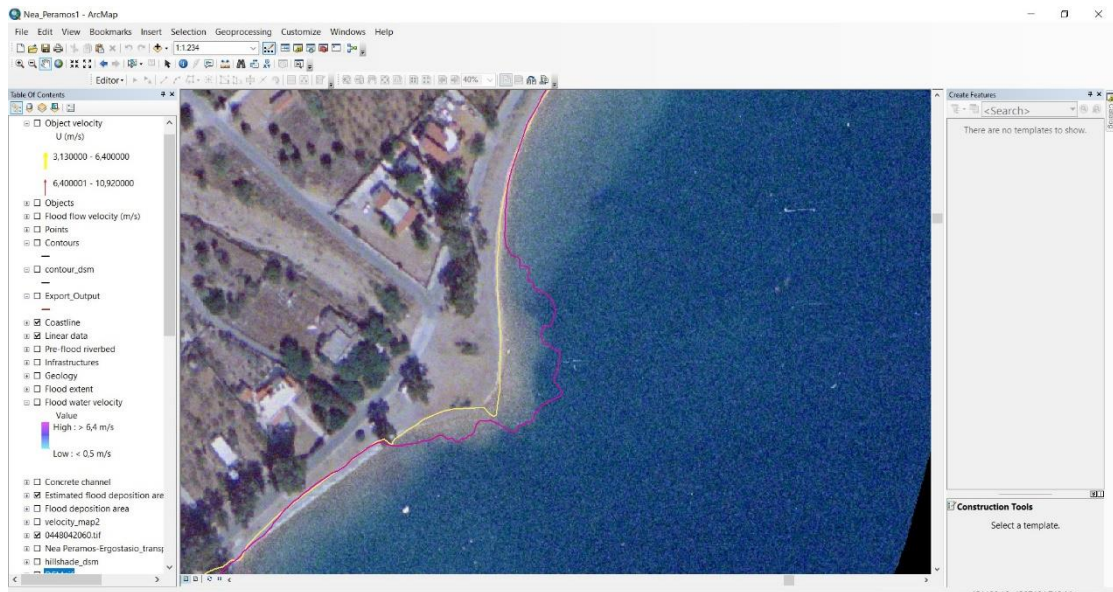




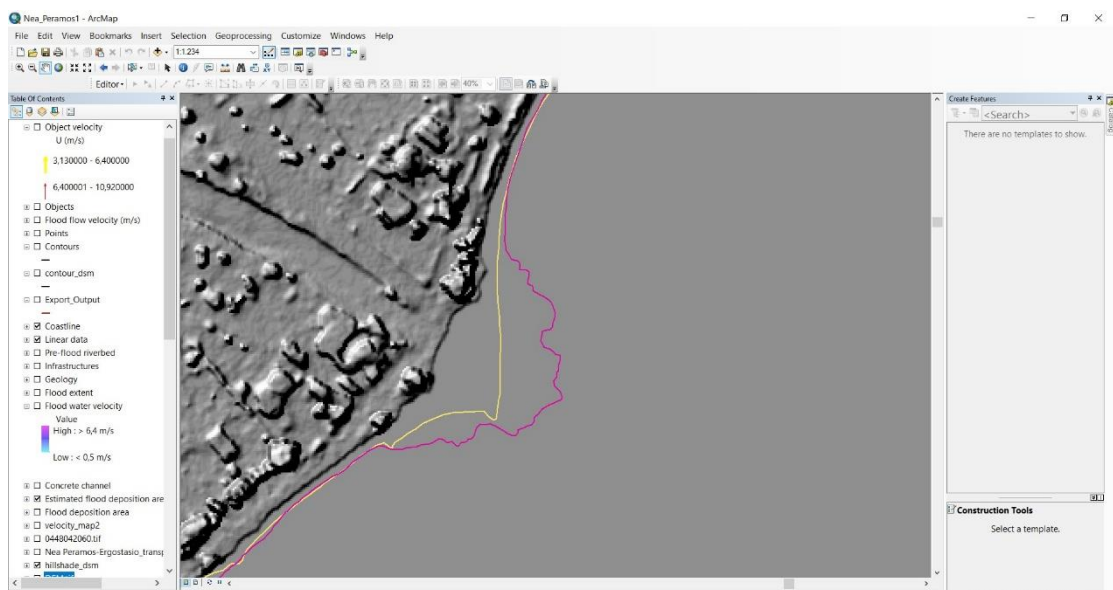
Εικόνα 2.3.7.1 : Η χαρτογραφημένη ακτογραμμή (κίτρινο χρώμα) ένα μήνα πριν το πλημμυρικό γεγονός (ημερομηνία εικόνας 14/10/2017).



Εικόνα 2.3.7.2 : Η χαρτογραφημένη στην ίδια περιοχή με παραπάνω ακτογραμμή (μωβ χρώμα) μετά το πλημμυρικό γεγονός (ημερομηνία εικόνας 31/8/2018). Παρατηρείται ραγδαία αλλαγή και δημιουργία μικρού αλλουβιακού ριπιδίου στις εκβολές του ρέματος.



Εικόνα 2.3.7.3 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης ακτογραμμής πριν (κίτρινο χρώμα) και μετά (μωβ χρώμα) τη πλημμύρα, η οποία είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρών αλλουβιακών ριπιδίων, στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.



Εικόνα 2.3.7.4 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης ακτογραμμής πριν (κίτρινο χρώμα) και μετά (μωβ χρώμα) τη πλημμύρα, η οποία είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρών αλλουβιακών ριπιδίων, στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).





Χάρτης 10 : Χάρτης ακτογραμμής πριν (14/10/2017) και μετά το πλημμυρικό γεγονός (31/8/2018) με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.





Χάρτης 11 : Χάρτης ακτογραμμής πριν (14/10/2017) και μετά το πλημμυρικό γεγονός (31/8/2018) με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).

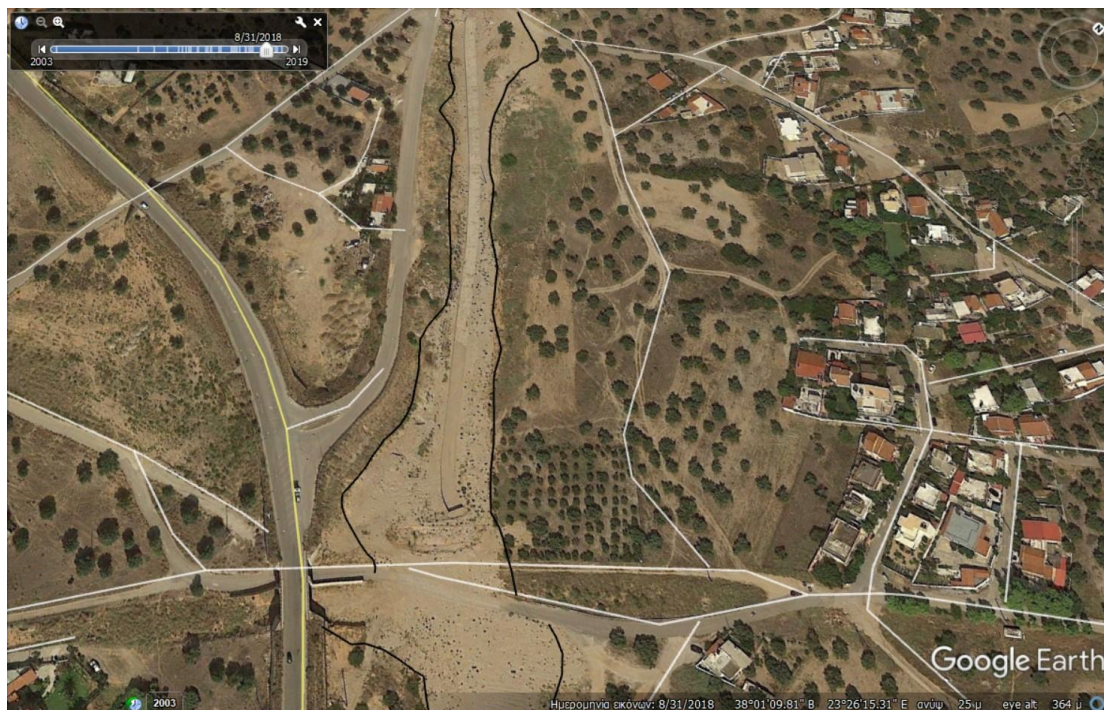
### 2.3.8 Όριο διάβρωσης

Το όριο διάβρωσης, δηλαδή το σημείο μέχρι το οποίο το συγκεκριμένο ρέμα μπόρεσε να απομακρύνει υλικά μητρικού πετρώματος, προϊόντων αποσάθρωσης και ιζημάτων κατά μήκος του πυθμένα και των πλευρικών τοιχωμάτων της κοίτης του, χαρτογραφήθηκε μόνο με τη χρήση των βίντεο, καθώς ήταν αρκετά εύκολη η διάκριση του από αυτά κατά την εξέλιξη του φαινομένου. Και σε αυτή τη περίπτωση όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρο για τη χαρτογράφηση οι δορυφορικές εικόνες.



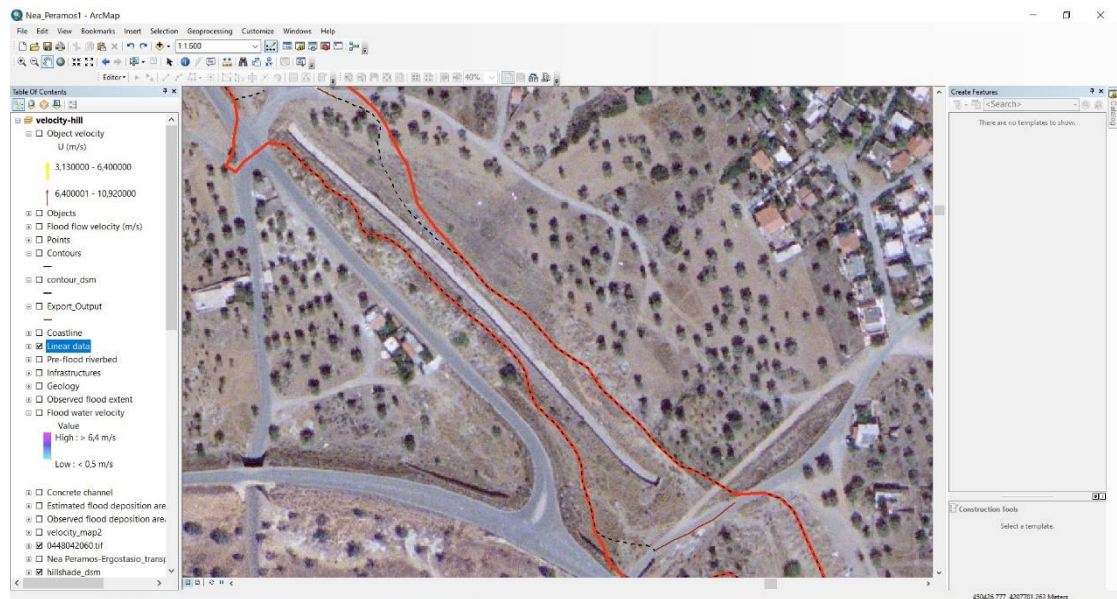


Εικόνα 2.3.8.1 : Στιγμιότυπο από βίντεο του UAV στο οποίο διακρίνεται το όριο διάβρωσης του ρέματος κατά την εξέλιξη του φαινομένου.

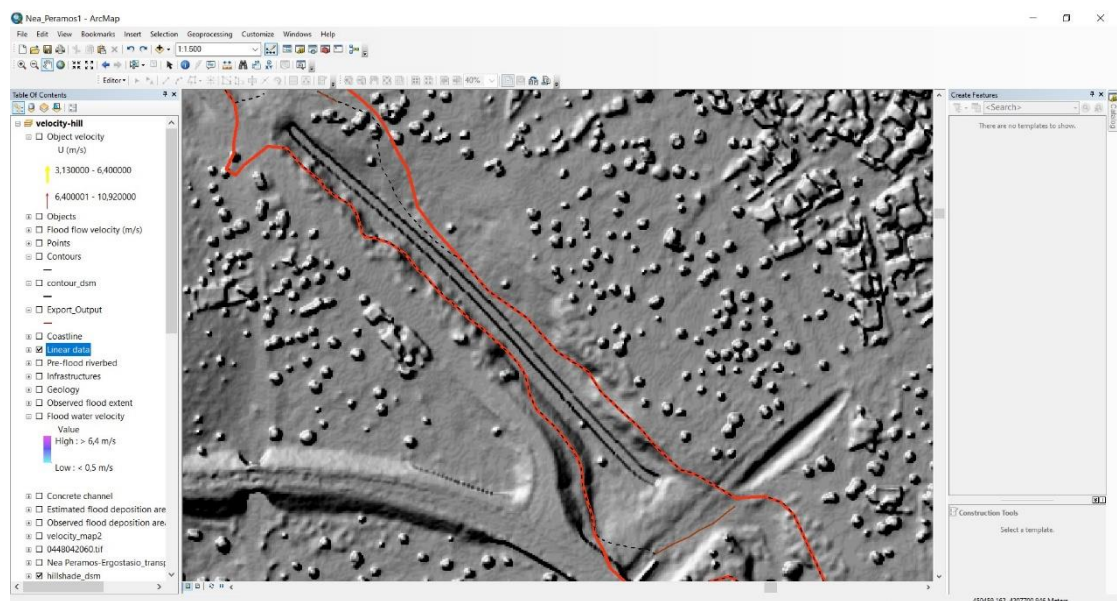


Εικόνα 2.3.8.2 : Χαρτογράφηση του ανωτέρου ορίου διάβρωσης (μάυρο χρώμα) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro).





Εικόνα 2.3.8.3 : Απεικόνιση του χαρτογραφημένου ορίου διάβρωσης (μαύρη διακεκομμένη γραμμή) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.



Εικόνα 2.3.8.4 : Απεικόνιση του χαρτογραφημένου ορίου διάβρωσης (μαύρη διακεκομμένη γραμμή) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).



### 2.3.9 Θραύσεις οδοστρώματος και αστοχίες πρανών

Η ορμή και η δύναμη των όμβριων υδάτων σε κάποιες περιπτώσεις ήταν τόσο μεγάλη, ώστε να προκαλέσει αστοχίες σε κάποιες μεγαλύτερες και μικρότερες οδούς, καθώς και στα αναχώματα αυτών. Ακόμη, παρατηρήθηκαν κάποιες αστοχίες πρανών ακριβώς κατάντη της Ολυμπίας Οδού κοντά στην έξοδο του αγωγού, όπως και η ύπαρξη κάποιου φυσικού εμποδίου μέσα στον αγωγό το οποίο πιθανόν να ήταν κάποιος ογκόλιθος ή κορμός δέντρου. Τα παραπάνω στοιχεία χαρτογραφήθηκαν με τη χρήση των δεδομένων από το UAV.



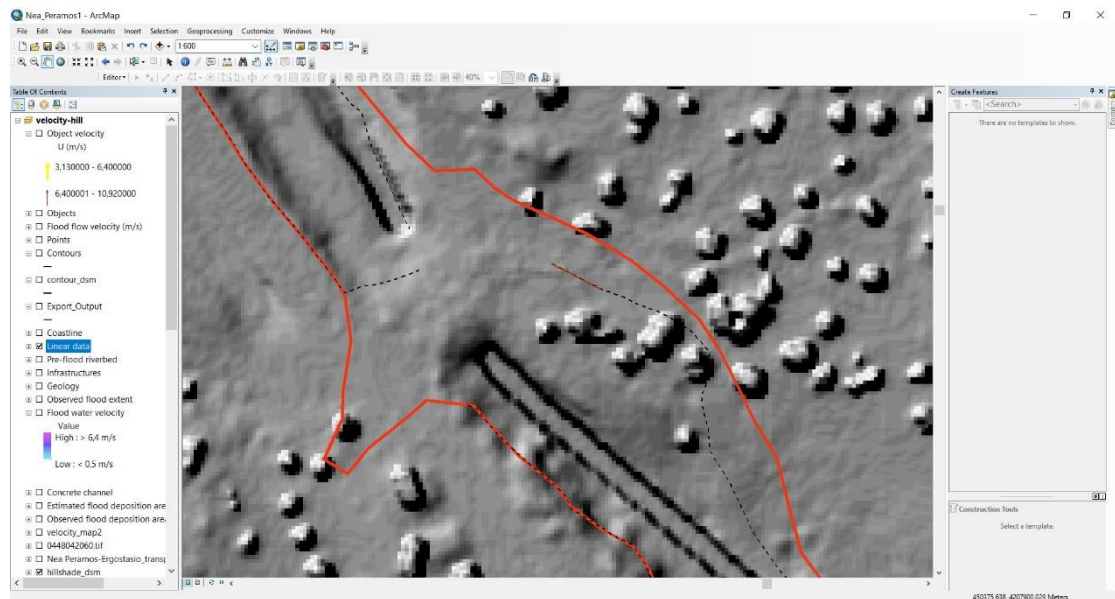
Εικόνα 2.3.9.1 : Στιγμιότυπο από βίντεο του UAV στο οποίο διακρίνεται αστοχία σε μικρή οδό, αποτέλεσμα της ορμής των υδάτων κατά τη διάρκεια της πλημμύρας.



Εικόνα 2.3.9.2 : Χαρτογράφηση της παραπάνω αστοχίας (καφέ γραμμή) με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.



Εικόνα 2.3.9.3 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης αστοχίας (καφέ γραμμή) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

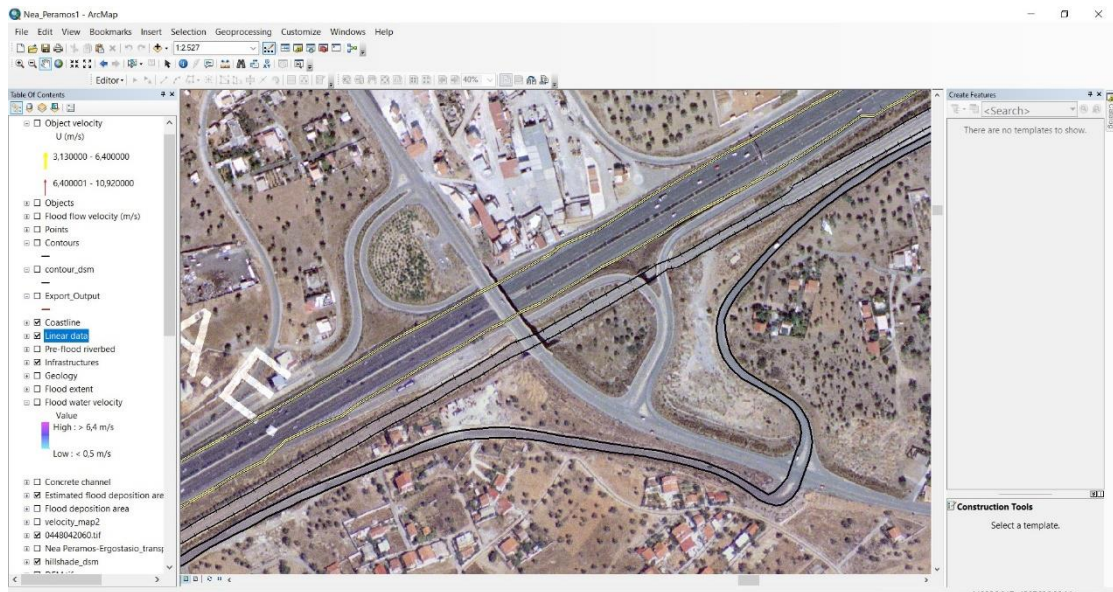


Εικόνα 2.3.9.4 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης αστοχίας (καφέ γραμμή) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).

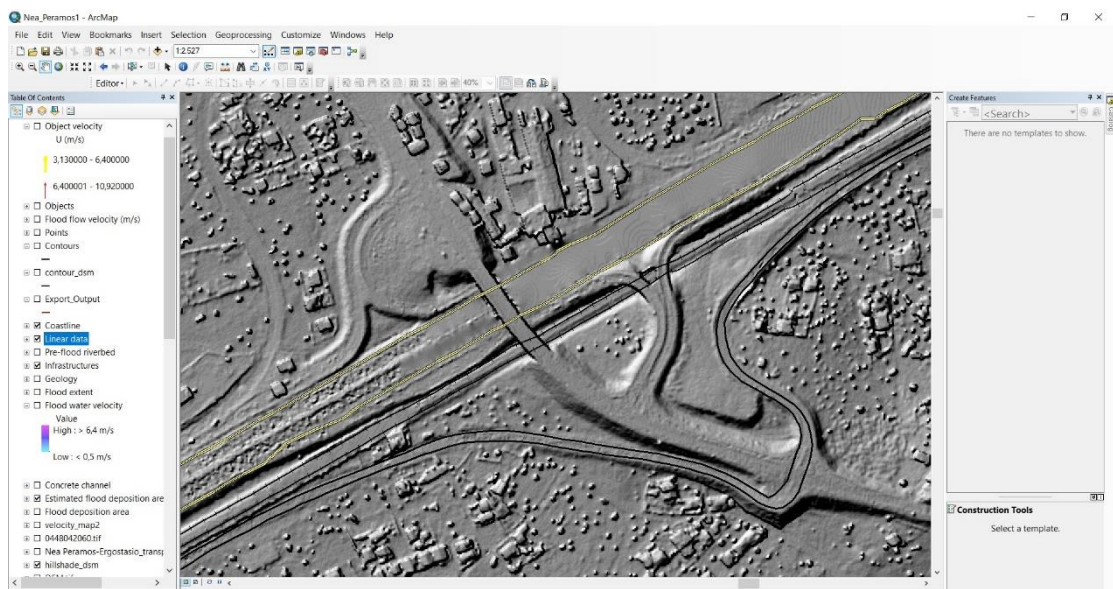
### 2.3.10 Οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο

Με τη βοήθεια της αεροφωτογραφίας της περιοχής του Ελληνικού Κτηματολογίου καθώς και του παλαιού Ψηφιακού Μοντέλου Επιφανείας, χαρτογραφήθηκαν κατευθείαν στο πρόγραμμα ArcMap ως γραμμικά στοιχεία όλοι οι σημαντικοί δρόμοι και σιδηρόδρομοι οι οποίοι διέρχονται από τη περιοχή, δηλαδή ή Εθνική Οδός, η επαρχιακή οδός Μεγάρων – Περαχώρας, ο Προαστιακός Σιδηρόδρομος και η Σιδηροδρομική Γραμμή.



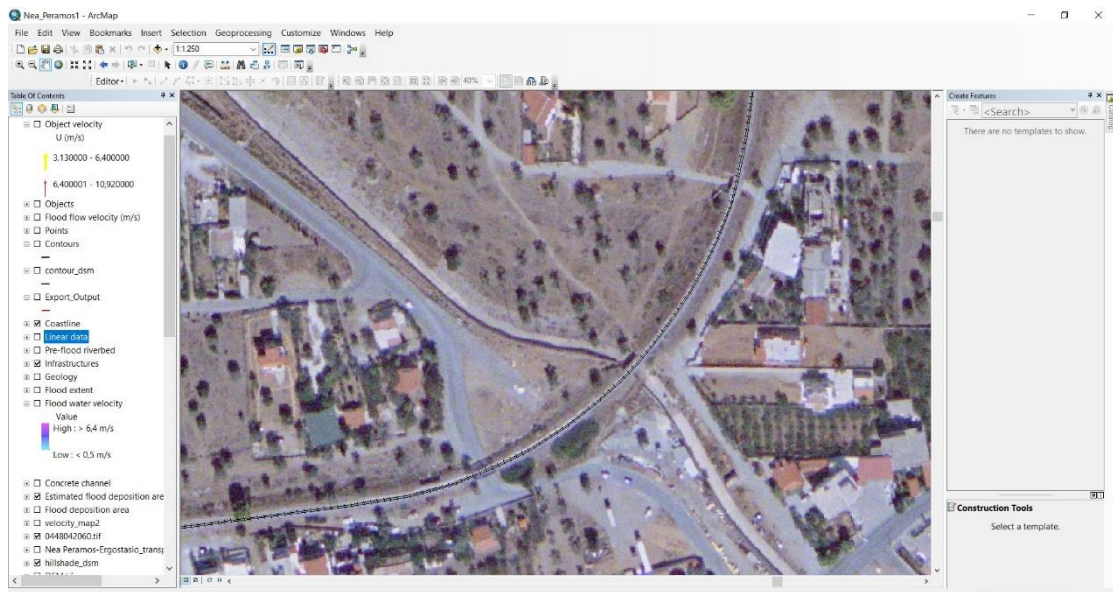


Εικόνα 2.3.10.1 : Απεικόνιση των χαρτογραφημένων σημαντικότερων οδών της περιοχής (κίτρινες γραμμές : Ολυμπία Οδός, μύρες γραμμές : Επαρχιακή Οδός Μεγάρων – Περαχώρας) και του Προαστιακού Σιδηροδρόμου με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

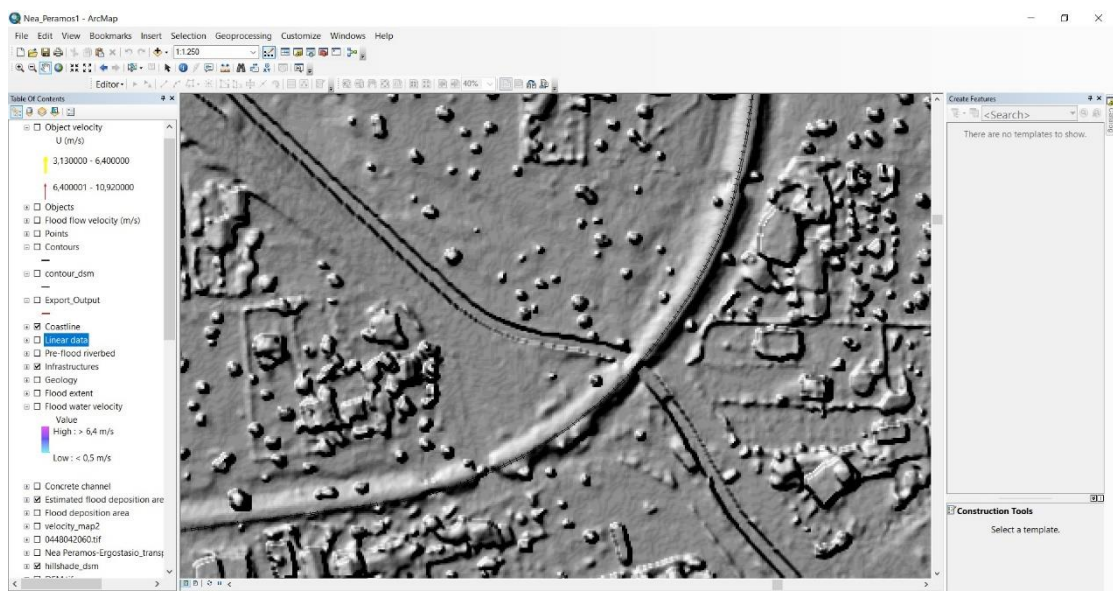


Εικόνα 2.3.10.2 : Απεικόνιση των χαρτογραφημένων σημαντικότερων οδών της περιοχής (κίτρινες γραμμές : Ολυμπία Οδός, μύρες γραμμές : Επαρχιακή Οδός Μεγάρων – Περαχώρας) και του Προαστιακού Σιδηροδρόμου με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).





Εικόνα 2.3.10.3 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης σιδηροδρομικής γραμμής στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

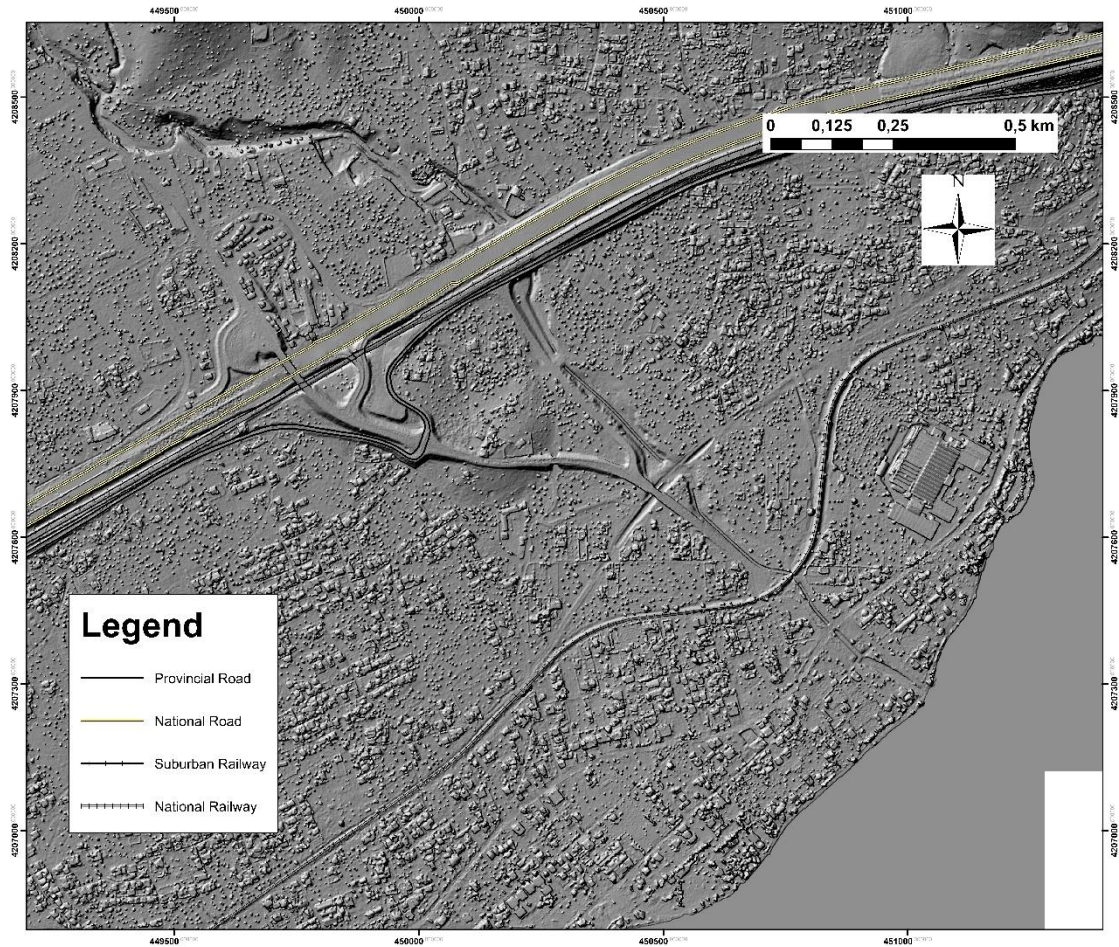


Εικόνα 2.3.10.4 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης σιδηροδρομικής γραμμής στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).



Χάρτης 12 : Χάρτης οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου της περιοχής με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.



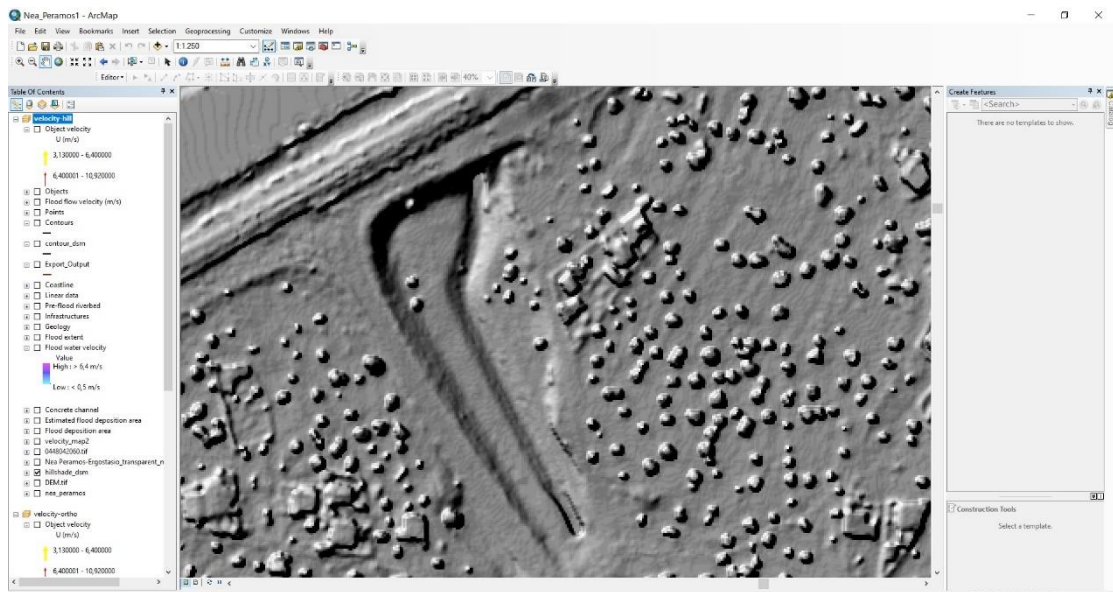


Χάρτης 13 : Χάρτης οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου της περιοχής με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).

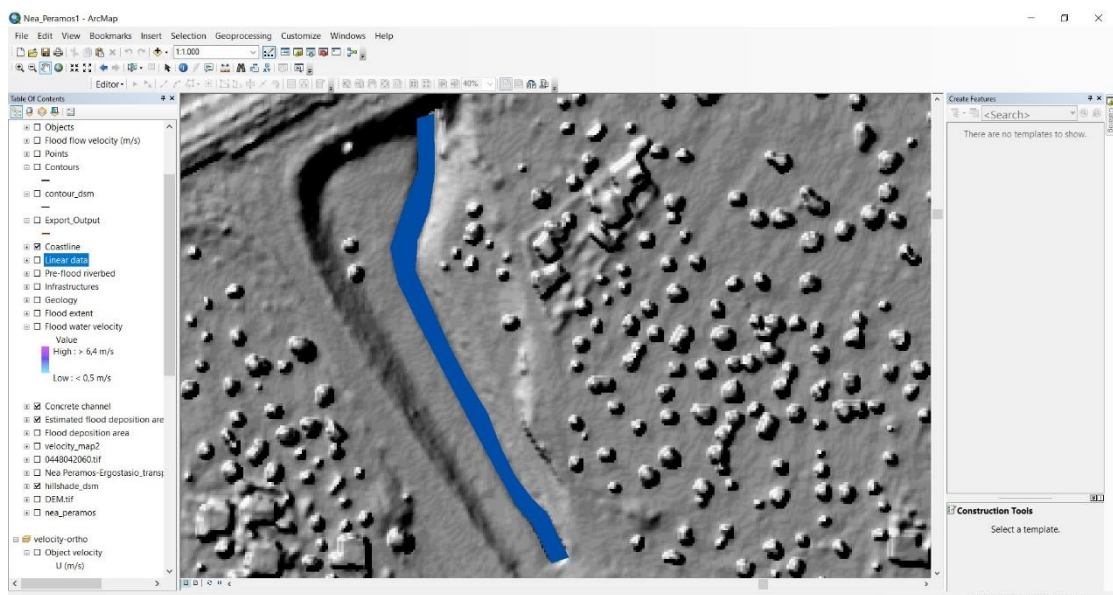
### 2.3.11 Αγωγός απομάκρυνσης όμβριων υδάτων

Μέσω του DSM της περιοχής χαρτογραφήθηκε κατευθείαν στο ArcMap ως πολύγωνα ο αγωγός απομάκρυνσης όμβριων υδάτων(εγκλιωτισμένη κοίτη) από το ύψος της Εθνικής Οδού μέχρι το σημείο κοντά στην ακτογραμμή στο οποίο τελειώνει.

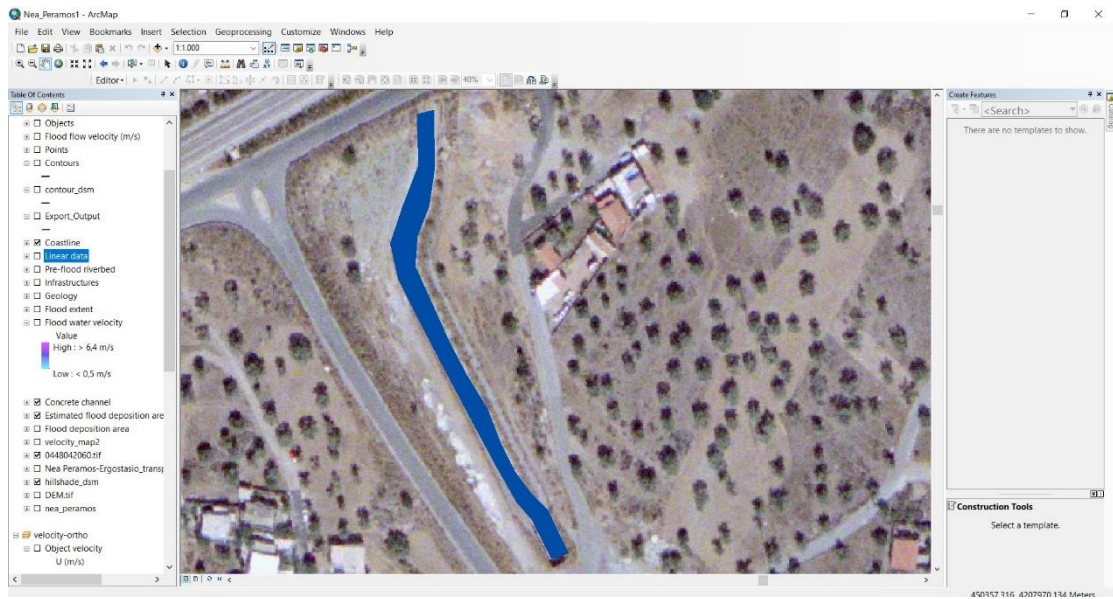




Εικόνα 2.3.11.1 : Η αποτύπωση της εγκιβωτισμένης κούτης στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).



Εικόνα 2.3.11.2 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης εγκιβωτισμένης κούτης ως πολύγωνο (μπλε χρώμα) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).



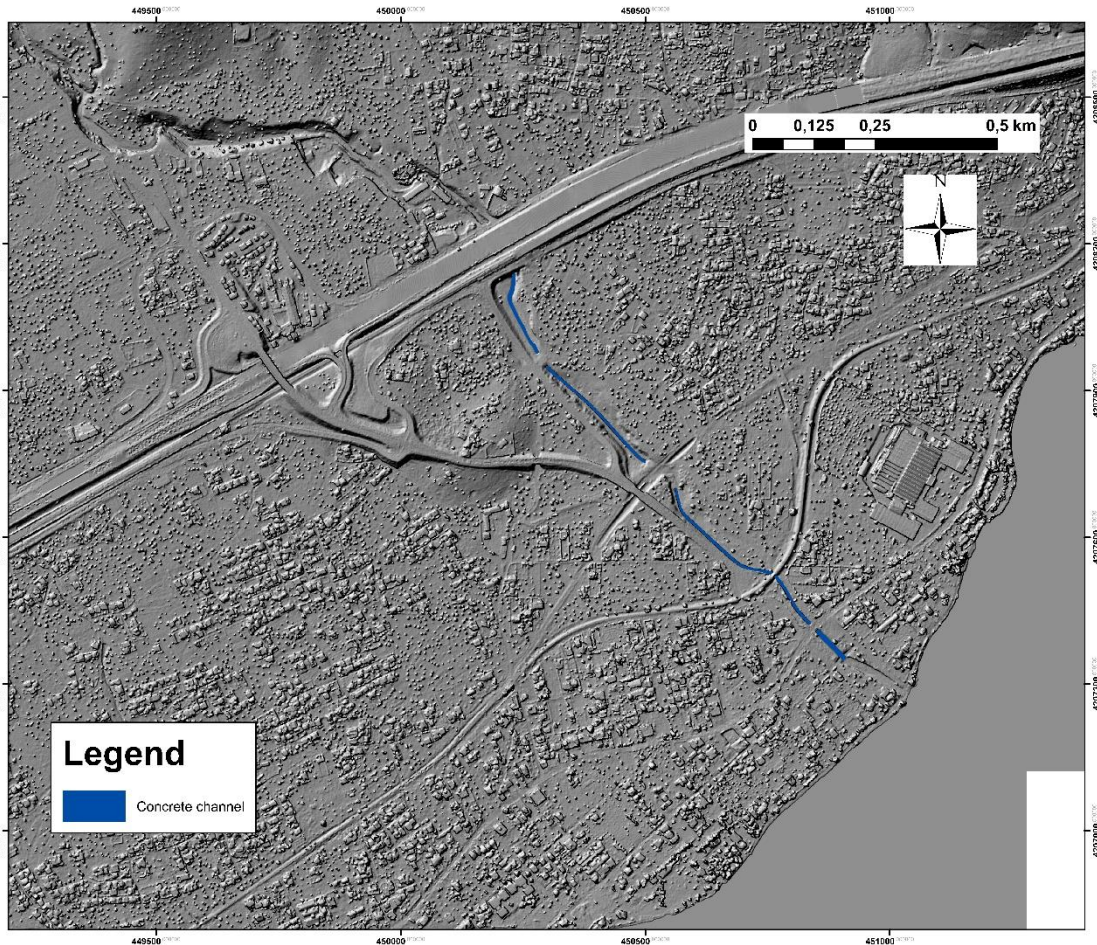
Εικόνα 2.3.11.3 : Απεικόνιση της χαρτογραφημένης εγκιβωτισμένης κούφης ως πολύγωνο (μπλε χρώμα) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.





Χάρτης 14 : Χάρτης αγωγού απομάκρυνσης όμβριων υδάτων της περιοχής με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.





Χάρτης 15 : Χάρτης αγωγού απομάκρυνσης όμβριων υδάτων με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).

### 2.3.12 Πληροφορίες σχετικά με τη κίνηση των υδάτων

Μέσω των βίντεο του drone εξήχθησαν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη κατεύθυνση και τη ταχύτητα των υδάτων, ενώ σε κάποιες θέσεις παρατηρήθηκε και στροβιλισμός της ροής των υδάτων. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν σημεία στη ροή για τα οποία ήταν δυνατή η διάκριση των παραπάνω στοιχείων και αφού συλλέχθηκαν σε φάκελο στο πρόγραμμα Google Earth Pro και εισήχθησαν στο ArcMap ως αρχείο KMZ, μετατράπηκε σε αναγνωρίσιμο από το λογισμικό αρχείο ενώ έγινε και η κατάλληλη μετατροπή των συντεταγμένων του, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Στη συνέχεια, στον Attribute Table του καινούριου αυτού shapefile δημιουργήθηκαν

2 καινούριες στήλες με τα ονόματα Velocity και Azimuth. Στη πρώτη στήλη εισήχθη τιμή με εύρος 0-3, όπου οι συγκεκριμένες τιμές αντιπροσώπευαν τις εξής κατά προσέγγιση πληροφορίες : 0 = στάσιμα ύδατα, 1 = ύδατα με μικρή ταχύτητα, 2 = ύδατα με μεσαία ταχύτητα, 3 = ύδατα με μεγάλη ταχύτητα. Στη δεύτερη στήλη εισήχθη τιμή με εύρος 0-360, δηλαδή η κατά προσέγγιση τιμή αζιμουθίου της κατεύθυνσης της ροής. Στη συνέχεια και για να είναι δυνατή η αναπαράσταση των παραπάνω πληροφοριών, επιλέχθηκε το κατάλληλο σύμβολο (βελάκι), το οποίο χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες της στήλης Azimuth περιστράφηκε ανάλογα με το αζιμούθιο του κάθε σημείου (Symbology -> Quantities -> Graduated symbols -> Advanced -> Rotation -> Rotate Points by Angle in this : Azimuth, Rotation Style : Geographic) ενώ χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες της στήλης Velocity απέκτησε διαφορετικό μέγεθος ανάλογα με τη κατηγορία της ταχύτητας για κάθε σημείο (Symbology -> Quantities -> Graduated symbols -> Value : Velocity, Symbol Size from : 10 to 25). Ακόμη, για να υπάρξει καλύτερο αποτέλεσμα σχετικά με τον σύνθετο χάρτη ταχυτήτων, επιλέχθηκαν και ορισμένα σημεία για τα οποία δεν υπήρχαν τα κατάλληλα δεδομένα αλλά υπήρχε μεγάλη βεβαιότητα ότι εκεί τα ύδατα ήταν στάσιμα, όπως είναι η περιοχή κατά μήκος του αναχώματος της σιδηροδρομικής γραμμής. Τα σημεία και οι πληροφορίες αυτών εισήχθησαν στο παραπάνω shapefile και προβλήθηκαν στους χάρτες όπως και τα παραπάνω.



Εικόνα 2.3.12.1 : Στιγμιότυπο από βίντεο του drone στο οποίο παρατηρείται ροή υδάτων με πολύ χαμηλή ταχύτητα (σχεδόν στάσιμα) και ροή υδάτων με χαμηλή ταχύτητα.





Εικόνα 2.3.12.2 : Χαρτογράφηση των παραπάνω ροών με τη χρήση σημείων με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.

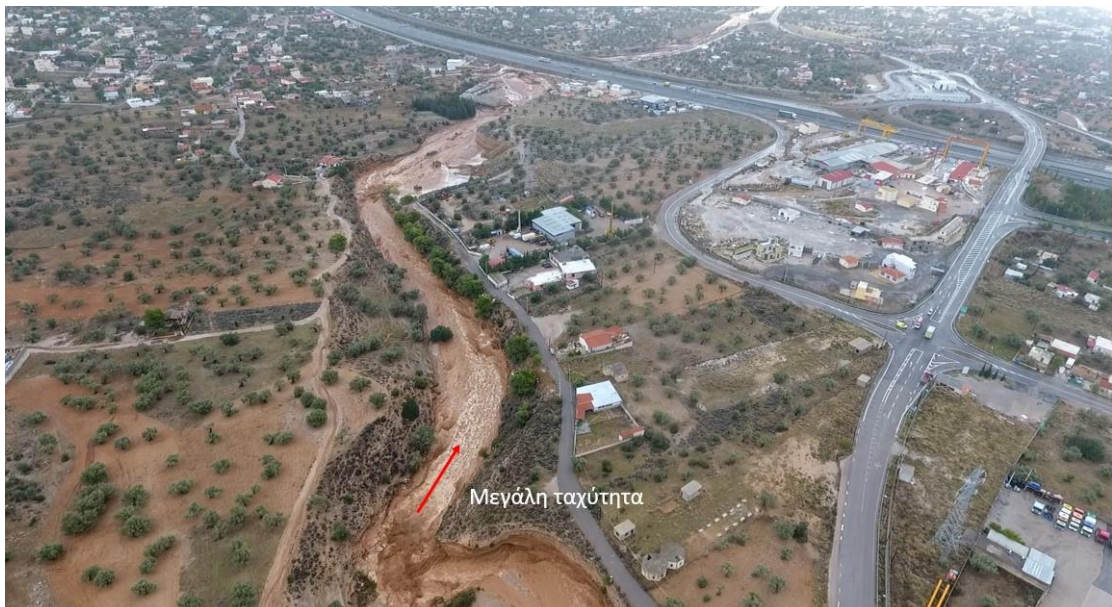


Εικόνα 2.3.12.3 : Στιγμιότυπο από βίντεο του drone στο οποίο διακρίνονται ροές υδάτων με μεσαία ταχύτητα.





Εικόνα 2.3.12.4 : Χαρτογράφηση των παραπάνω ροών με τη χρήση σημείων με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.

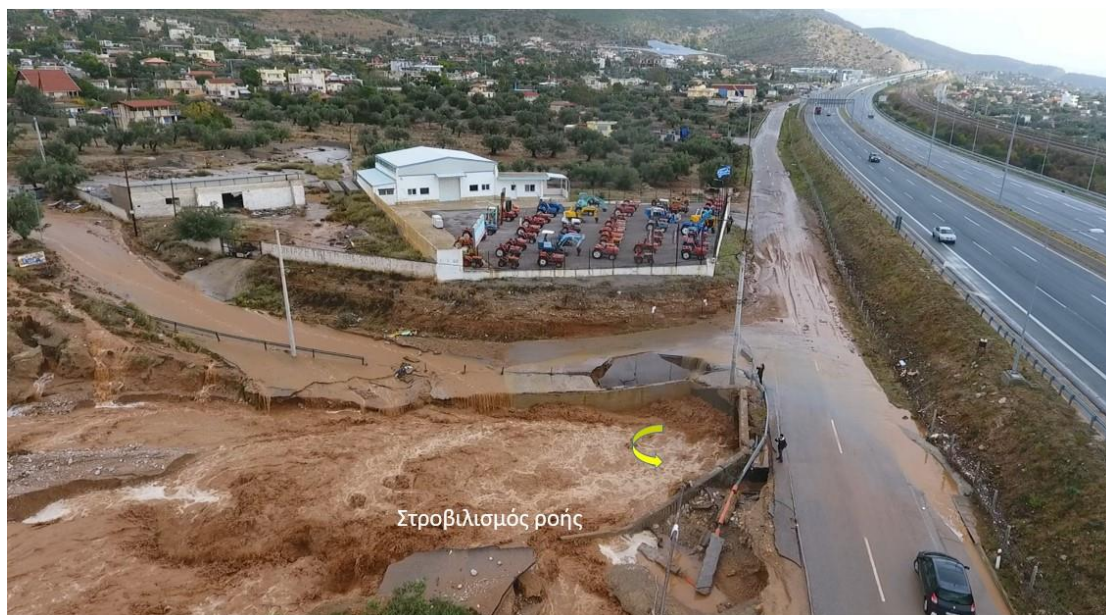


Εικόνα 2.3.12.5 : Στιγμιότυπο από βίντεο του drone στο οποίο διακρίνεται ροή με μεγάλη ταχύτητα.





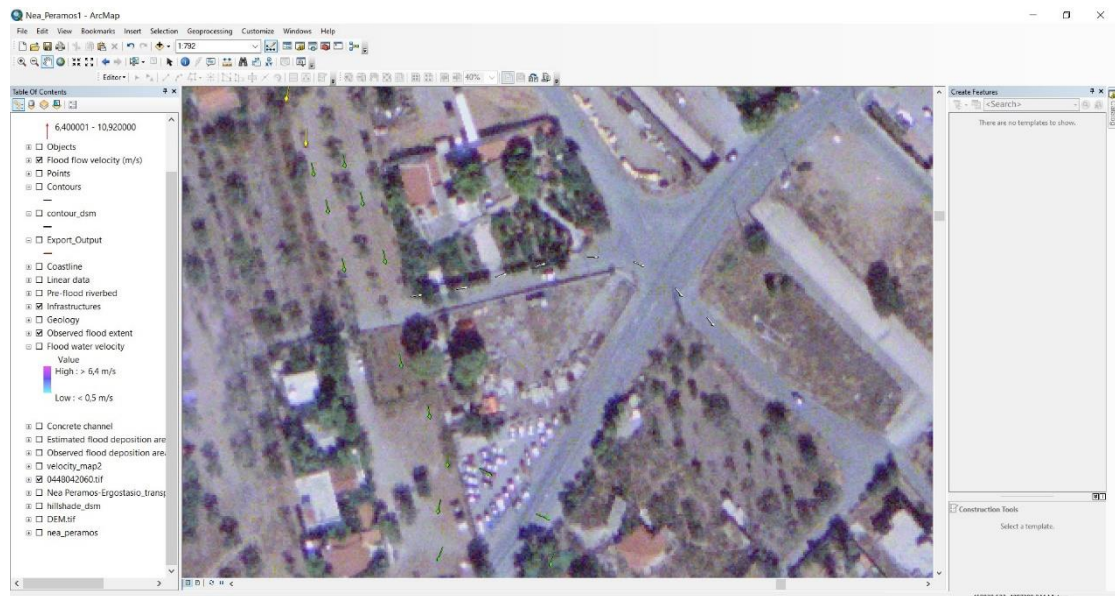
Εικόνα 2.3.12.6 : Χαρτογράφηση της παραπάνω ροής με τη χρήση σημείων με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth Pro.



Εικόνα 2.3.12.7 : Στιγμιότυπο από βίντεο του drone στο οποίο διακρίνεται στροβιλισμός στη ροή των υδάτων.

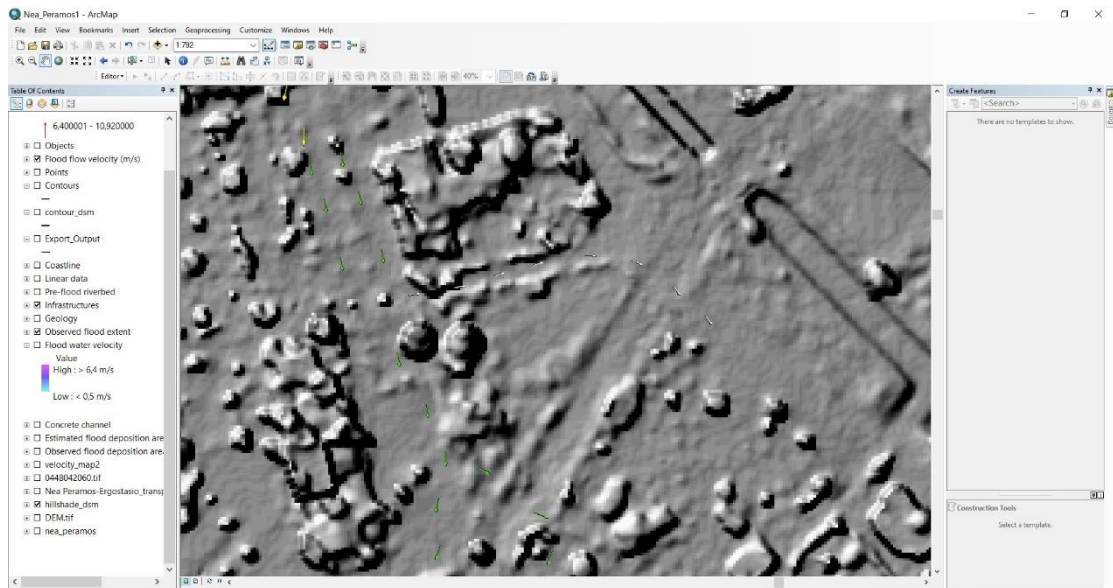
Shape *	OID	Name	FolderPath	SymbolID	AltMode	Base	Snippet	PopupInfo	HasLabel	LabelID	Velocity	Azimuth
Point_ZM	0	κίνηση νερού	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	2	150
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	2	150
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	2	160
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	2	180
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	2	190
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	2	200
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	1	100
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	1	100
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	1	100
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	2	180
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	2	110
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	2	90
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	2	70
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	2	40
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	2	360
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	3	140
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	3	130
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	3	110
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	3	100
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	3	90
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	3	80
Point_ZM	0	N	κίνηση νερού kmz/Χαρτογράφηση III	0	-1	0			-1	0	3	70

Εικόνα 2.3.12.8 : Ο πίνακας χαρακτηριστικών του αρχείου Flood\_flow\_velocity με τα απαραίτητα στοιχεία για τη κίνηση των υδάτων (ταχύτητα και αζιμούθιο).

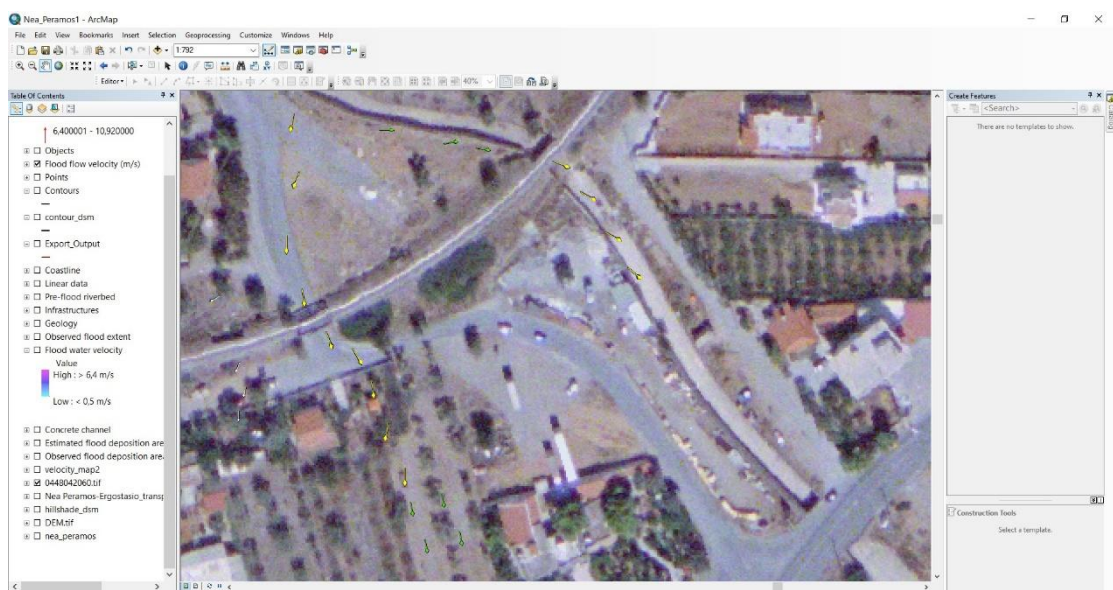


Εικόνα 2.3.12.9 : Απεικόνιση ροής υδάτων με πολύ χαμηλή ταχύτητα (άσπρα βέλη) και με χαμηλή ταχύτητα(πράσινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

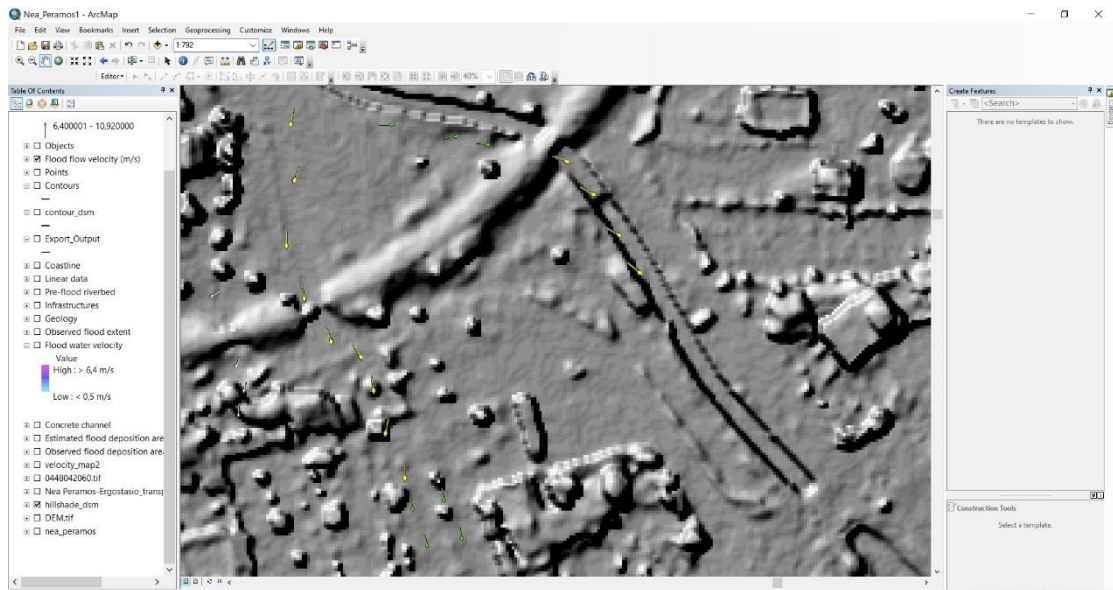




Εικόνα 2.3.12.10 : Απεικόνιση ροής υδάτων με πολύ χαμηλή ταχύτητα (άσπρα βέλη) και με χαμηλή ταχύτητα (πράσινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).



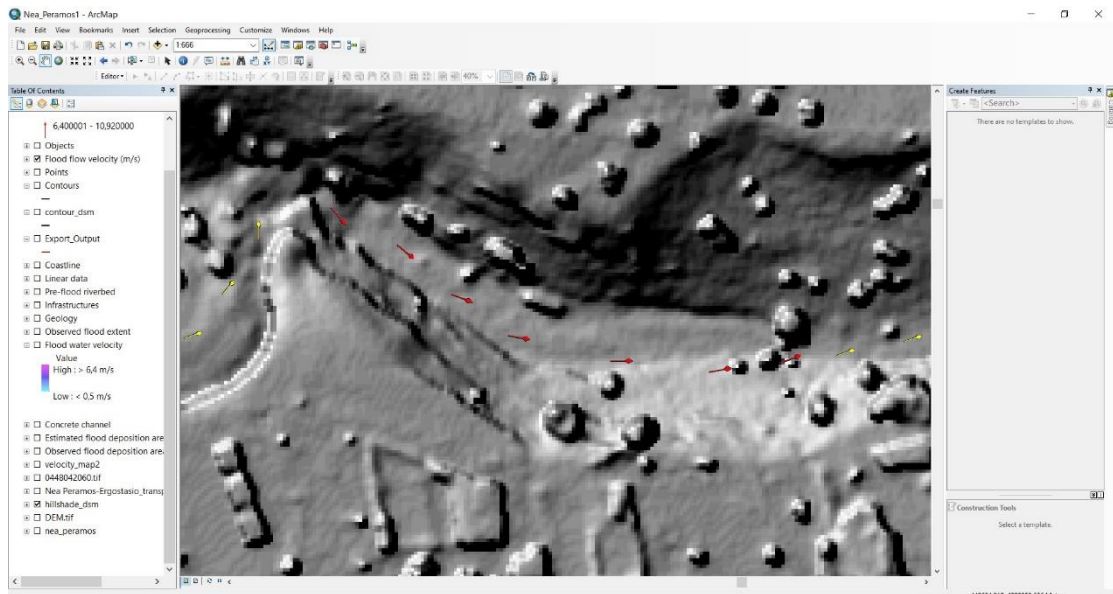
Εικόνα 2.3.12.11 : Απεικόνιση ροών υδάτων με μεσαία ταχύτητα (κίτρινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.



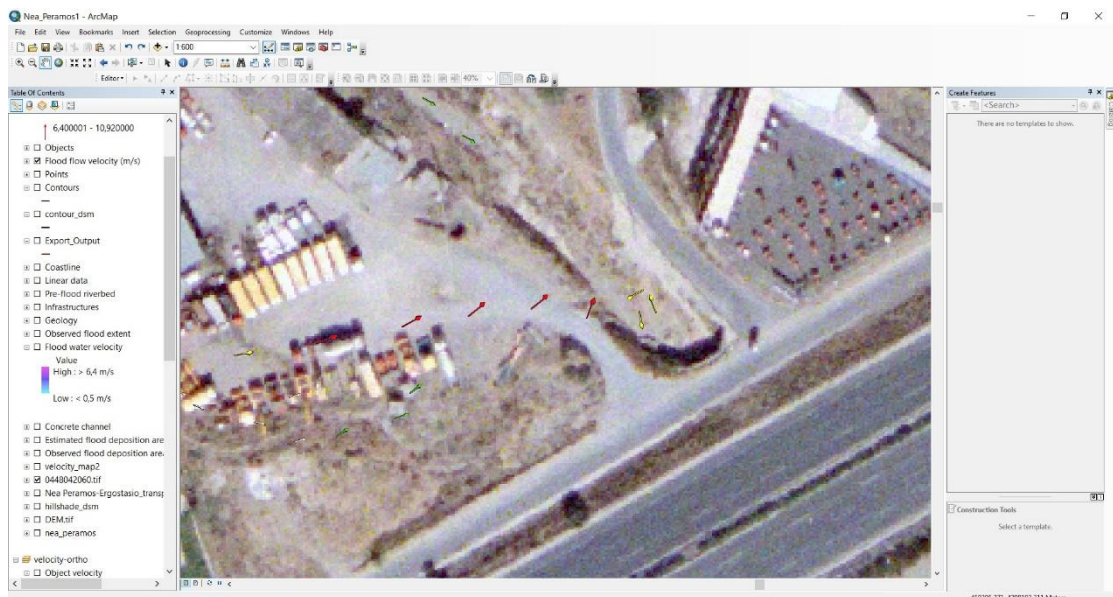
Εικόνα 2.3.12.12 : Απεικόνιση ροών υδάτων με μεσαία ταχύτητα (κίτρινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).



Εικόνα 2.3.12.13 : Απεικόνιση ροής υδάτων με μεγάλη ταχύτητα (κόκκινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

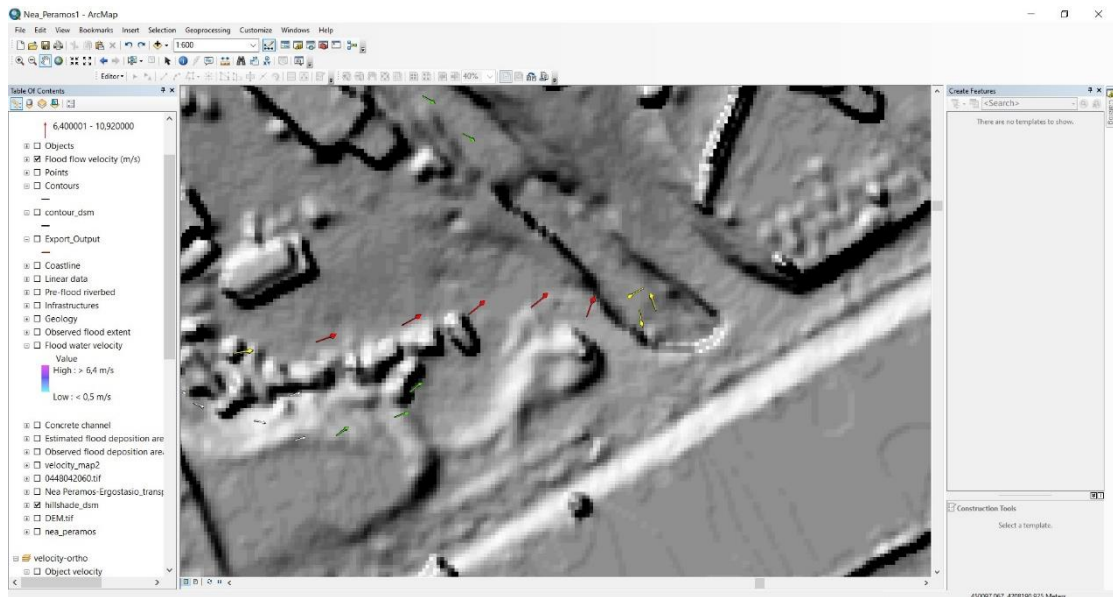


Εικόνα 2.3.12.14 : Απεικόνιση ροής υδάτων με μεγάλη ταχύτητα (κόκκινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).



Εικόνα 2.3.12.15 : Απεικόνιση στροβιλισμού της ροής των υδάτων (κίτρινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.





Εικόνα 2.3.12.16 : Απεικόνιση στροβιλισμού της ροής των υδάτων (κίτρινα βέλη) στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).

### 2.3.13 Επιβεβαίωση κατηγοριοποίησης ταχύτητας με πραγματικά δεδομένα

Για τις παραπάνω πληροφορίες σχετικά με τη ταχύτητα των υδάτων έγινε επιβεβαίωση χρησιμοποιώντας κινούμενα αντικείμενα των οποίων ήταν εμφανής η αρχική και η τελική τους θέση στα βίντεο του μη επανδρωμένου οχήματος. Έτσι, επιλέχθησαν 10 διαφορετικά αντικείμενα των οποίων η αρχική και τελική θέση εισήχθη στο πρόγραμμα Google Earth Pro, με όσο το δυνατόν καλύτερη δυνατή ακρίβεια, και στη συνέχεια με τη χρήση του εργαλείου του χάρακα μετρήθηκε η απόσταση των δύο θέσεων. Ακόμη, στο μέσον του διαστήματος αυτού δημιουργήθηκε και ένα ακόμη σημείο. Γνωρίζοντας την απόσταση μεταξύ αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου, καθώς και το χρονικό διάστημα που χρειάστηκε για να διανύσει την απόσταση αυτή υπολογίστηκε η ταχύτητα αυτού μέσω της απλής σχέσης :  $V = \Delta x / \Delta t$  σε m/s.



Εικόνα 2.3.13.1 : Αρχική θέση του αντικειμένου 1 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 00:10).



Εικόνα 2.3.13.2 : Τελική θέση του αντικειμένου 1 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 00:12).



Εικόνα 2.3.13.3 : Απεικόνιση αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 1, καθώς και υπολογισμός της απόστασης  $\Delta x$  με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.





Εικόνα 2.3.13.4 : Αρχική θέση του αντικειμένου 2 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 00:26).



Εικόνα 2.3.13.5 : Τελική θέση του αντικειμένου 2 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 00:31).





Εικόνα 2.3.13.6 : Απεικόνιση αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 2, καθώς και υπολογισμός της απόστασης  $\Delta x$  με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.



Εικόνα 2.3.13.7 : Αρχική θέση του αντικειμένου 3 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 00:31).





Εικόνα 2.3.13.8 : Τελική θέση του αντικειμένου 3 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 00:35).



Εικόνα 2.3.13.9 : Απεικόνιση αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 3, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.



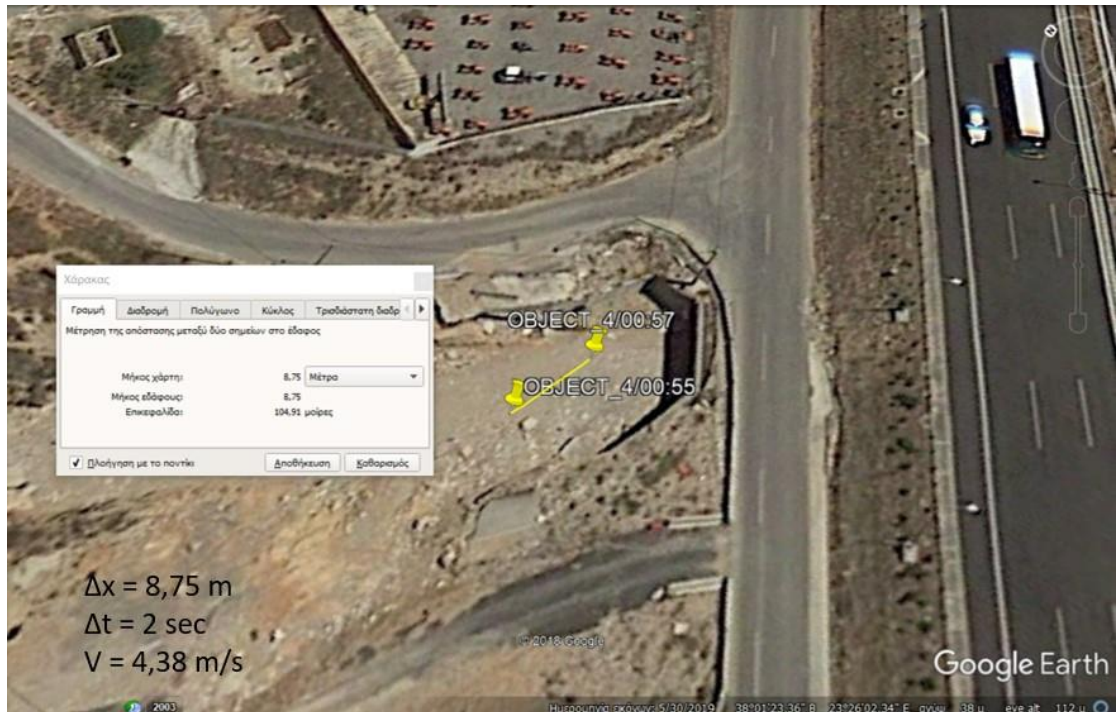


Εικόνα 2.3.13.10 : Αρχική θέση του αντικειμένου 4 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 00:55).



Εικόνα 2.3.13.11 : Τελική θέση του αντικειμένου 4 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 00:57).





Εικόνα 2.3.13.12 : Απεικόνιση αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 4, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.

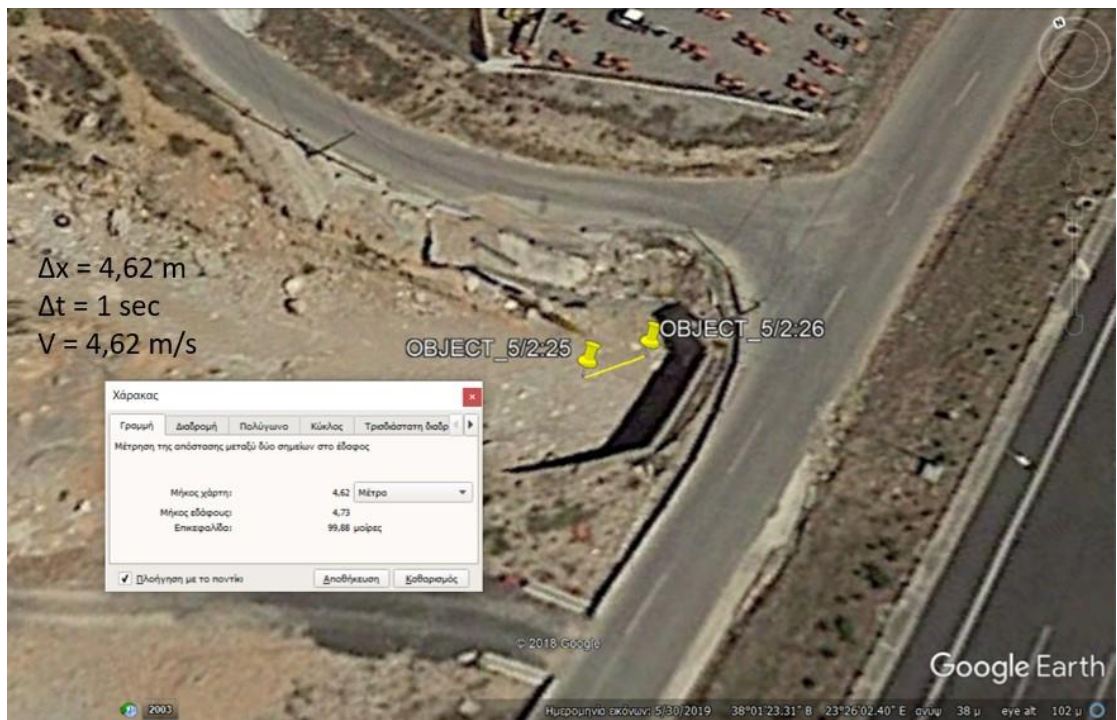


Εικόνα 2.3.13.13 : Αρχική θέση του αντικειμένου 5 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 02:25).





Εικόνα 2.3.13.14 : Τελική θέση του αντικειμένου 5 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 02:26).



Εικόνα 2.3.13.15 : Απεικόνιση αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 5, καθώς και υπολογισμός της απόστασης  $\Delta x$  με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.





Εικόνα 2.3.13.16 : Αρχική θέση του αντικειμένου 6 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 06:39).

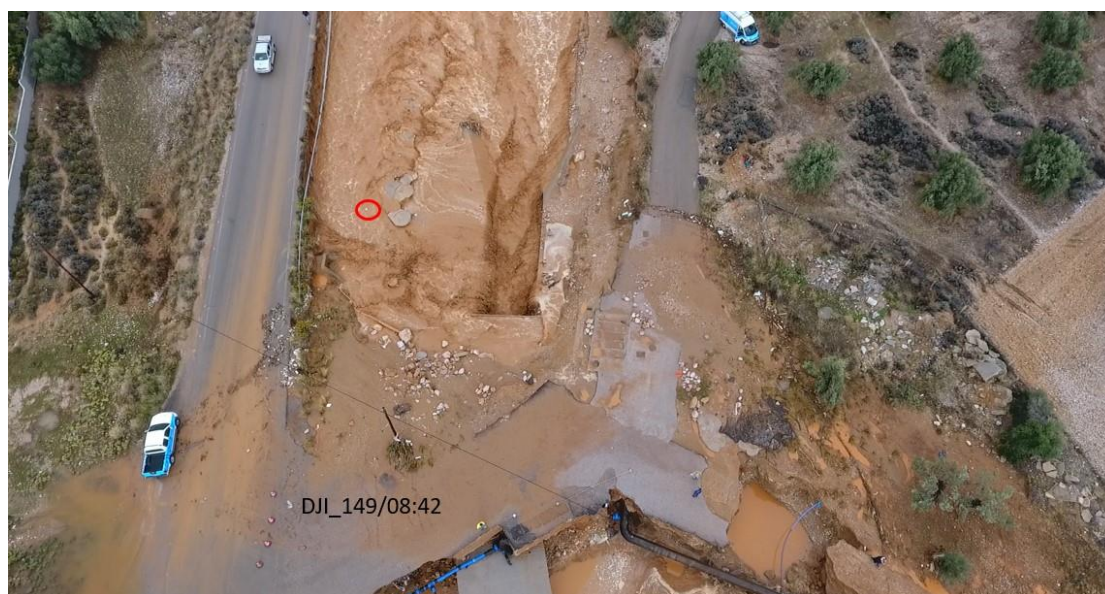


Εικόνα 2.3.13.17 : Τελική θέση του αντικειμένου 6 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 06:41).





Εικόνα 2.3.13.18 : Απεικόνιση αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 6, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.



Εικόνα 2.3.13.19 : Αρχική θέση του αντικειμένου 7 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 08:42).





Εικόνα 2.3.13.20 : Τελική θέση του αντικειμένου 7 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 08:44).

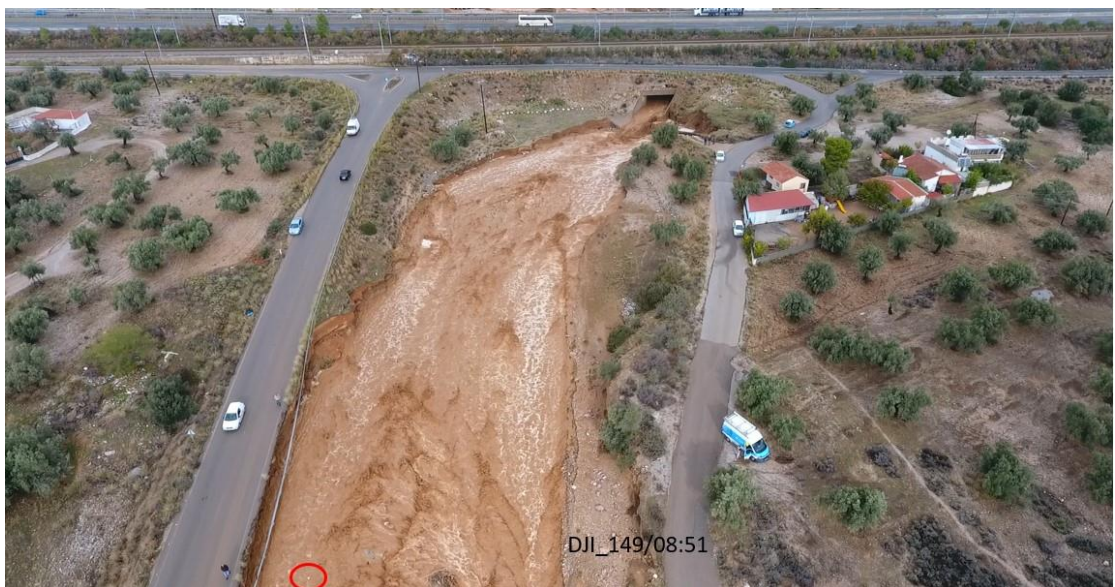


Εικόνα 2.3.13.21 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 7, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.





Εικόνα 2.3.13.22 : Αρχική θέση του αντικειμένου 8 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 08:48).



Εικόνα 2.3.13.23 : Τελική θέση του αντικειμένου 8 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 08:51)





Εικόνα 2.3.13.24 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 8, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.



Εικόνα 2.3.13.25 : Αρχική θέση του αντικειμένου 9 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 08:54).





Εικόνα 2.3.13.26 : Τελική θέση του αντικειμένου 9 (βίντεο DJI\_149, χρονική στιγμή 08:58).



Εικόνα 2.3.13.27 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 9, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.



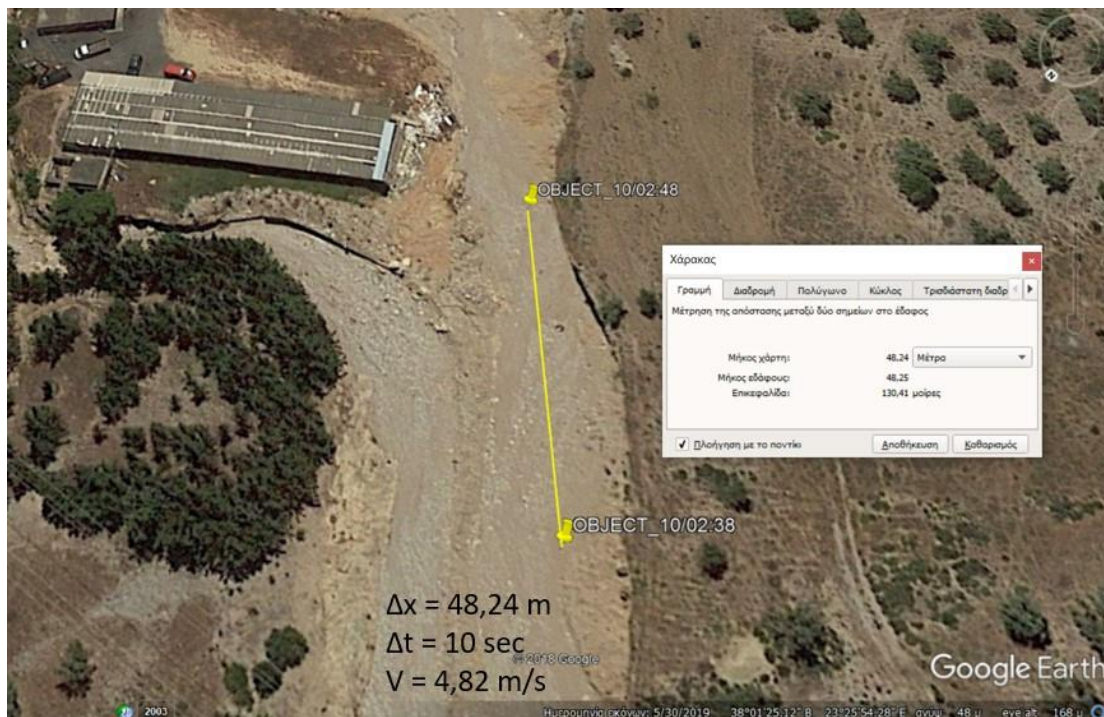


Εικόνα 2.3.13.28 : Αρχική θέση του αντικειμένου 10 (βίντεο DJI\_150, χρονική στιγμή 02:38).



Εικόνα 2.3.13.29 : Τελική θέση του αντικειμένου 10 (βίντεο DJI\_150, χρονική στιγμή 02:48).

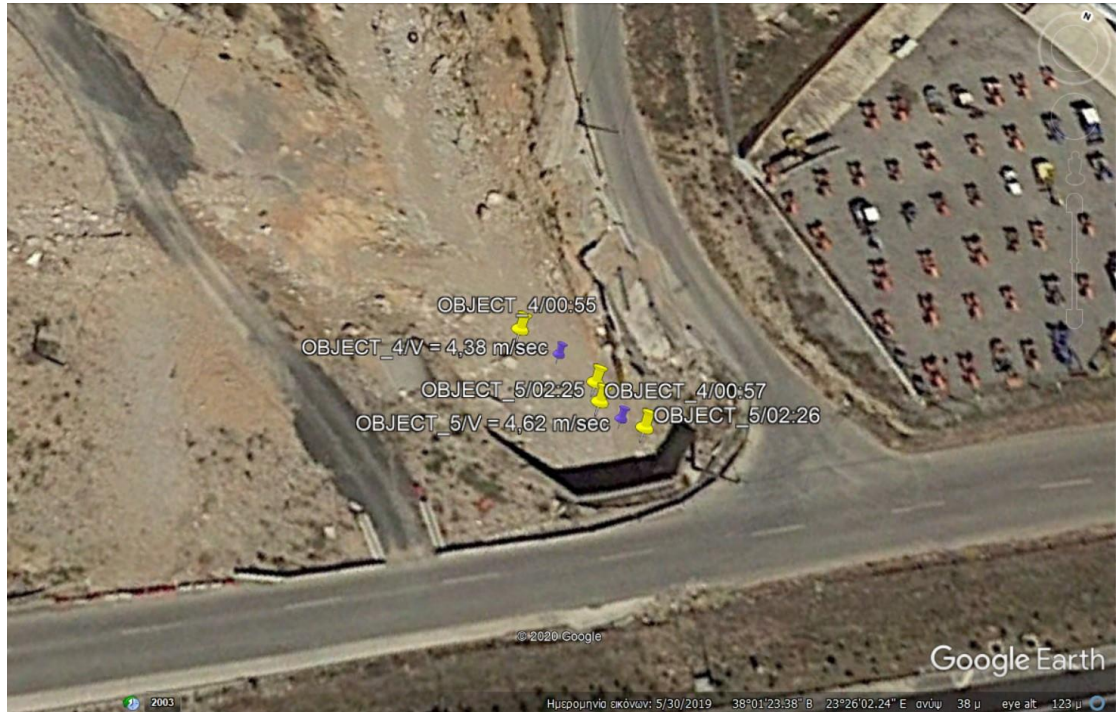




Εικόνα 2.3.13.30 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 10, καθώς και υπολογισμός της απόστασης Δx με τη χρήση του προγράμματος Google Earth Pro.



Εικόνα 2.3.13.31 : Απεικόνιση των αρχικών και τελικών θέσεων των αντικειμένων 1,2 και 3 καθώς και των θέσεων των ανυσμάτων ταχύτητάς τους.



Εικόνα 2.3.13.32 : Απεικόνιση των αρχικών και τελικών θέσεων των αντικειμένων 4 και 5, καθώς και των θέσεων των ανυσμάτων ταχύτητας τους.





Εικόνα 2.3.13.33 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 6, καθώς και της θέσης του ανύσματος ταχύτητας του.



Εικόνα 2.3.13.34 : Απεικόνιση των αρχικών και τελικών θέσεων των αντικειμένων 7,8 και 9, καθώς και των θέσεων των ανυσμάτων ταχύτητας τους.



Εικόνα 2.3.13.35 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 10, καθώς και της θέσης του ανύσματος ταχύτητας του.

Από τα παραπάνω δημιουργήθηκαν 2 ξεχωριστά αρχεία, ένα με τις αρχικές και τελικές θέσεις των αντικειμένων (Objects) και ένα με τα μέσα των αποστάσεων αυτών (Objects\_velocity), στο οποίο δημιουργήθηκαν καινούριες στήλες στον Attribute Table μετά την εισαγωγή και μετατροπή τους στο πρόγραμμα ArcMap με τα παρακάτω στοιχεία : Ταυτότητα αντικειμένου (V\_ID), αρχική θέση αντικειμένου σε sec (t1\_sec), τελική θέση αντικειμένου σε sec (t2\_sec), χρονικό διάστημα για τη μετατόπιση του αντικειμένου (dt\_sec), μετατόπιση αντικειμένου (dx\_m), ταχύτητα αντικειμένου (U) σε m/s καθώς και το αζιμούθιο του αντικειμένου αυτού στη συγκεκριμένη θέση (Azimuth), σε μοίρες όπως και παραπάνω. Παρατηρώντας ότι το εύρος των ταχυτήτων των αντικειμένων ήταν 3,13-10,92 m/s, έγινε κατηγοριοποίηση σε 2 κλάσεις (Symbology -> Quantities -> Graduated colors, Value : U, classes : 2) και συγκεκριμένα η πρώτη κλάση οριοθετήθηκε από τις τιμές 3,13-6,4 m/s και η δεύτερη για τιμές 6,4 m/s και άνω. Τα παραπάνω προβλήθηκαν και πάλι με τη χρήση του κατάλληλου συμβόλου (βελάκι), το οποίο περιστράφηκε όπως και πριν με τη χρήση των πληροφοριών του αζιμουθίου από το αντίστοιχο πεδίο. Με βάση τα παραπάνω, έγινε κατηγοριοποίηση και στο αρχείο με τις πληροφορίες σχετικά με τη κίνηση υδάτων. Συγκεκριμένα : κατηγορία 0 = 0 – 0,5 m/s , κατηγορία 1 = 0,5 – 3 m/s, κατηγορία 2 = 3 – 6,4 m/s και κατηγορία 3 = >6,4 m/s. Με το αρχείο αυτό και το εργαλείο IDW (Inverse Distance Weighted) δημιουργήθηκε καινούριο αρχείο, στο οποίο οι σημειακές τιμές ταχύτητας χρησιμοποιηθήκαν προκειμένου να καθοριστούν τιμές κελιών (cell values), με βάση την απόσταση σημείων με την ίδια τιμή ταχύτητας και για τη περιοχή εντός του ορίου πλημμύρας και τελικό αποτέλεσμα έναν σύνθετο χάρτη ταχυτήτων.



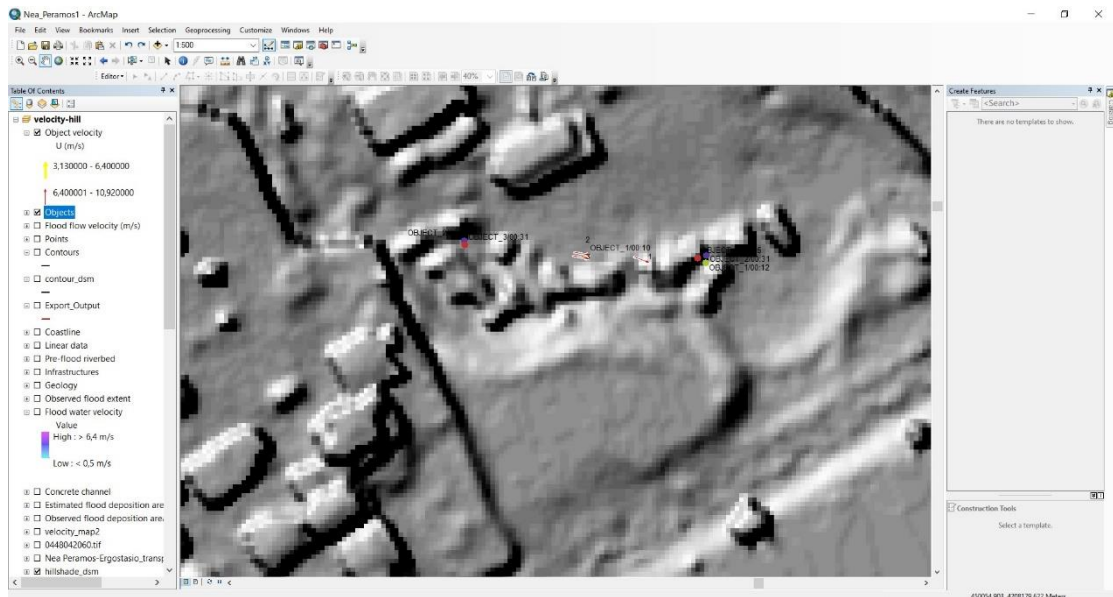
Base	Snippet	PopUpInfo	HasLabel	LabelID	V ID	t1 sec	t2 sec	dt sec	U	dx m	Azimuth
0			-1	0	8	528	531	3	3.13	9.39	170
0			-1	0	4	55	57	2	4.38	8.75	110
0			-1	0	9	534	538	4	4.59	18.35	160
0			-1	0	5	145	146	1	4.62	4.62	110
0			-1	0	10	158	168	10	4.82	48.24	140
0			-1	0	6	399	401	2	4.91	9.81	160
0			-1	0	7	522	524	2	6.4	12.78	90
0			-1	0	2	26	31	5	8.92	44.61	100
0			-1	0	3	31	35	4	10.8	43.21	100
0			-1	0	1	10	12	2	10.92	21.84	110

Εικόνα 2.3.13.36 : Ο πίνακας χαρακτηριστικών του αρχείου Object\_Velocity με τα απαραίτητα στοιχεία κάθε κινούμενου αντικειμένου.

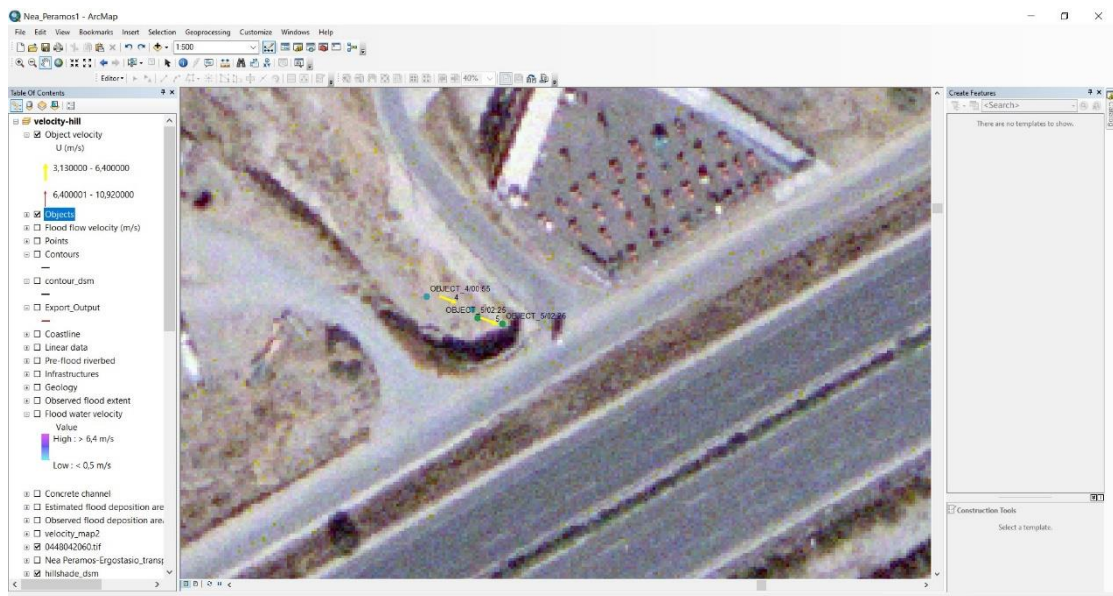


Εικόνα 2.3.13.37 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων 1,2 και 3, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

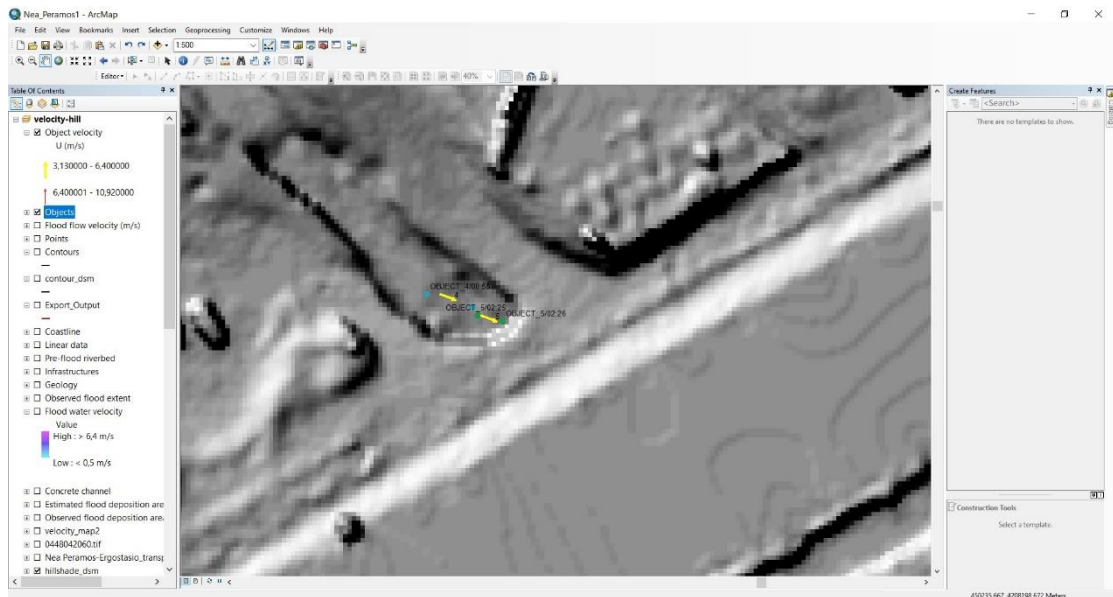




Εικόνα 2.3.13.38: Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων 1,2 και 3, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).



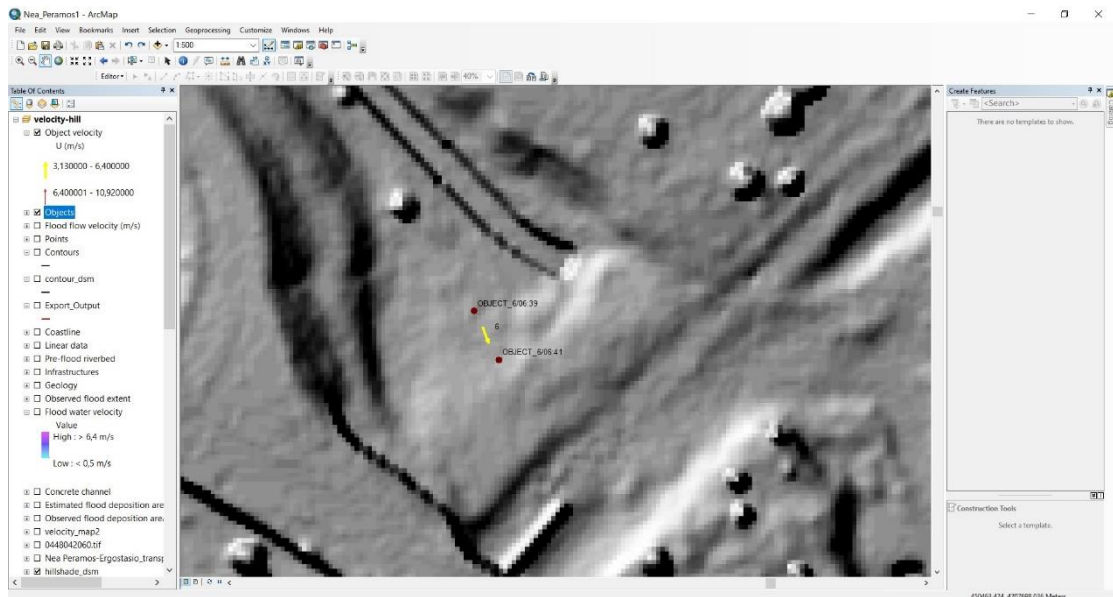
Εικόνα 2.3.13.39 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων 4 και 5, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.



Εικόνα 2.3.13.40 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων 4 και 5, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).



Εικόνα 2.3.13.41: Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 6, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας του στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

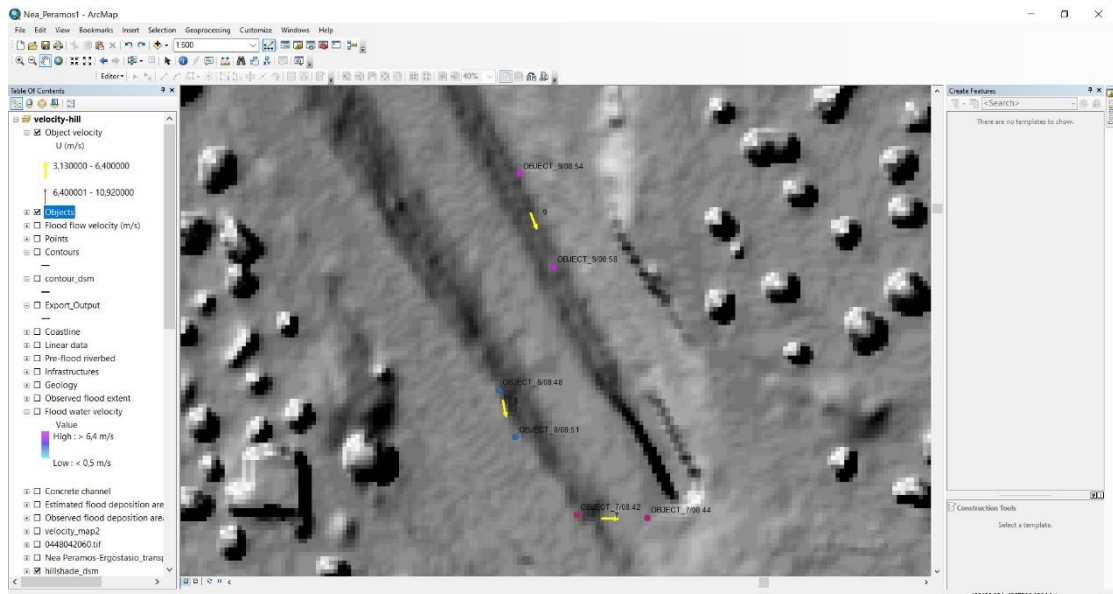


Εικόνα 2.3.13.42 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 6, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας του στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

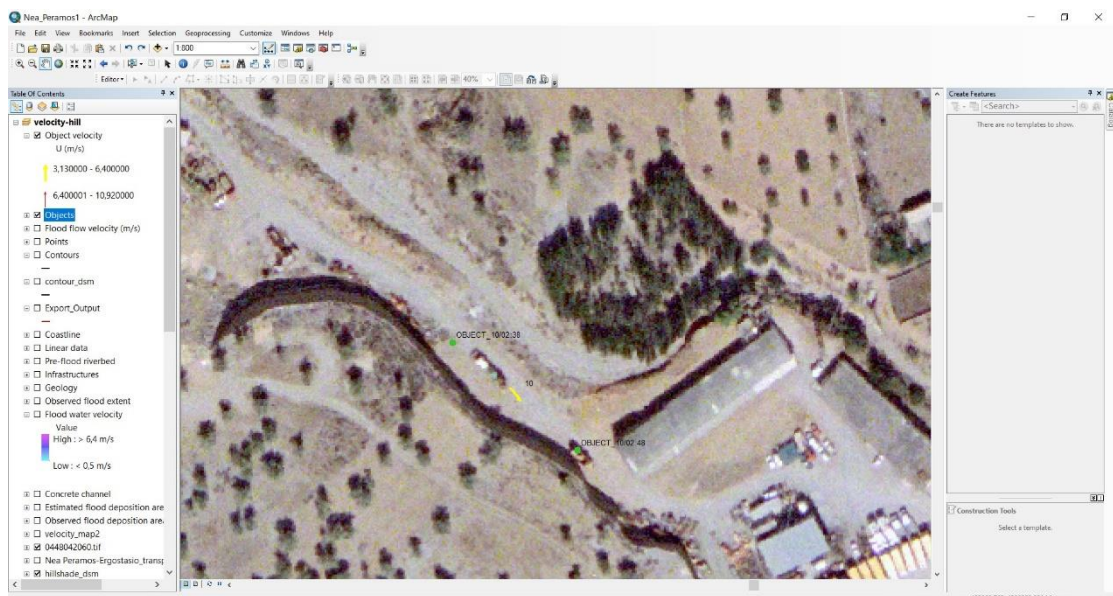


Εικόνα 2.3.13.43 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων 7,8 και 9, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

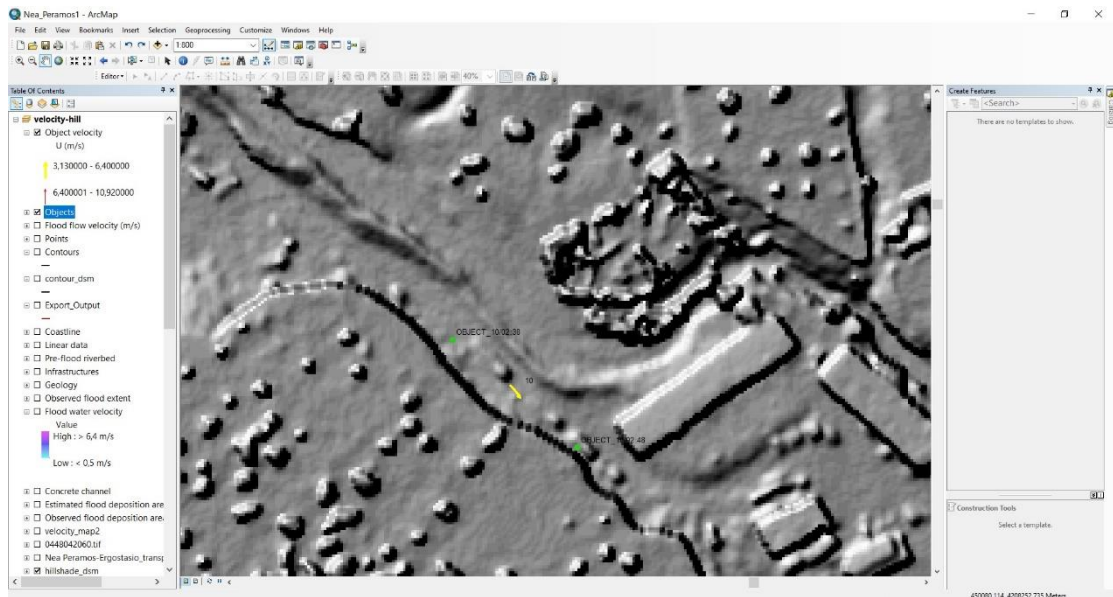




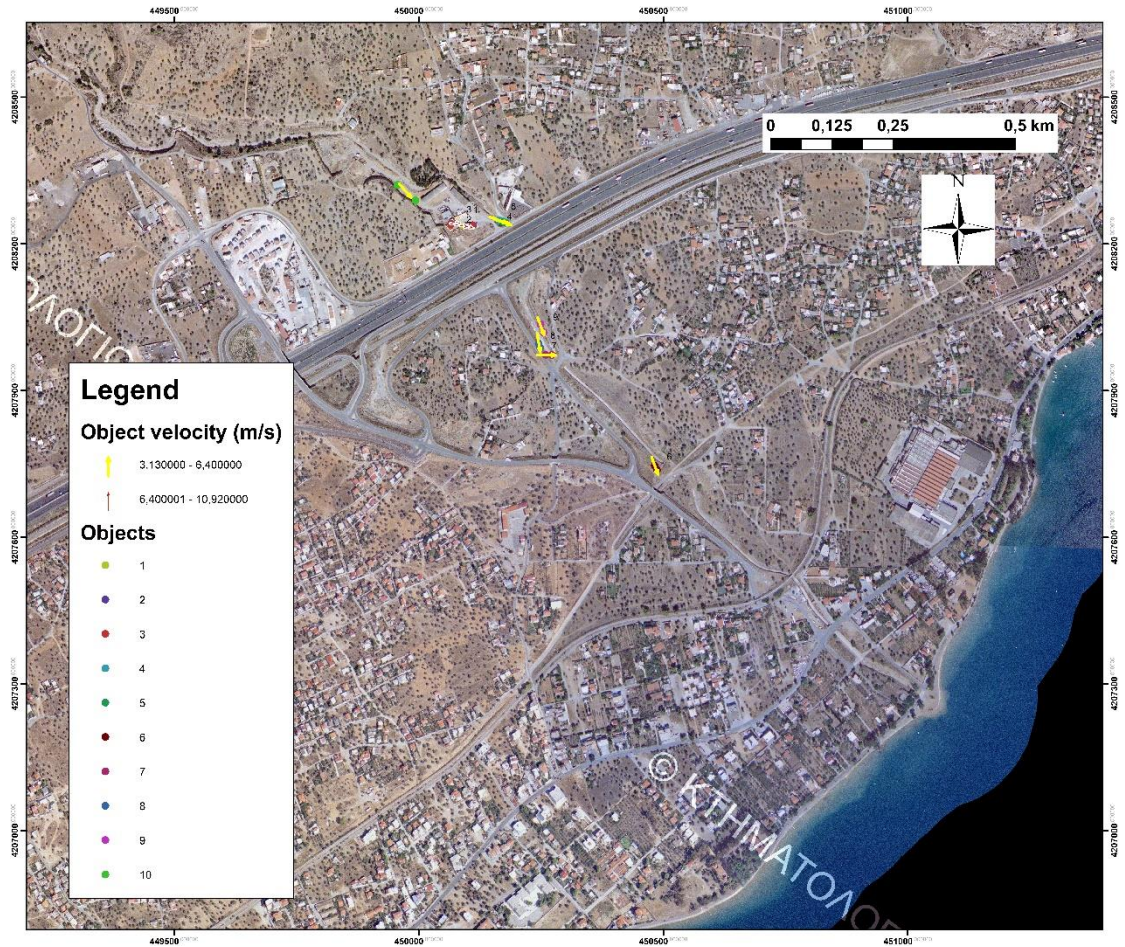
Εικόνα 2.3.13.44 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων 7,8 και 9, καθώς και του ανύσματος ταχύτητάς τους στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).



Εικόνα 2.3.13.45 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 10, καθώς και του ανύσματος ταχύτητάς του στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

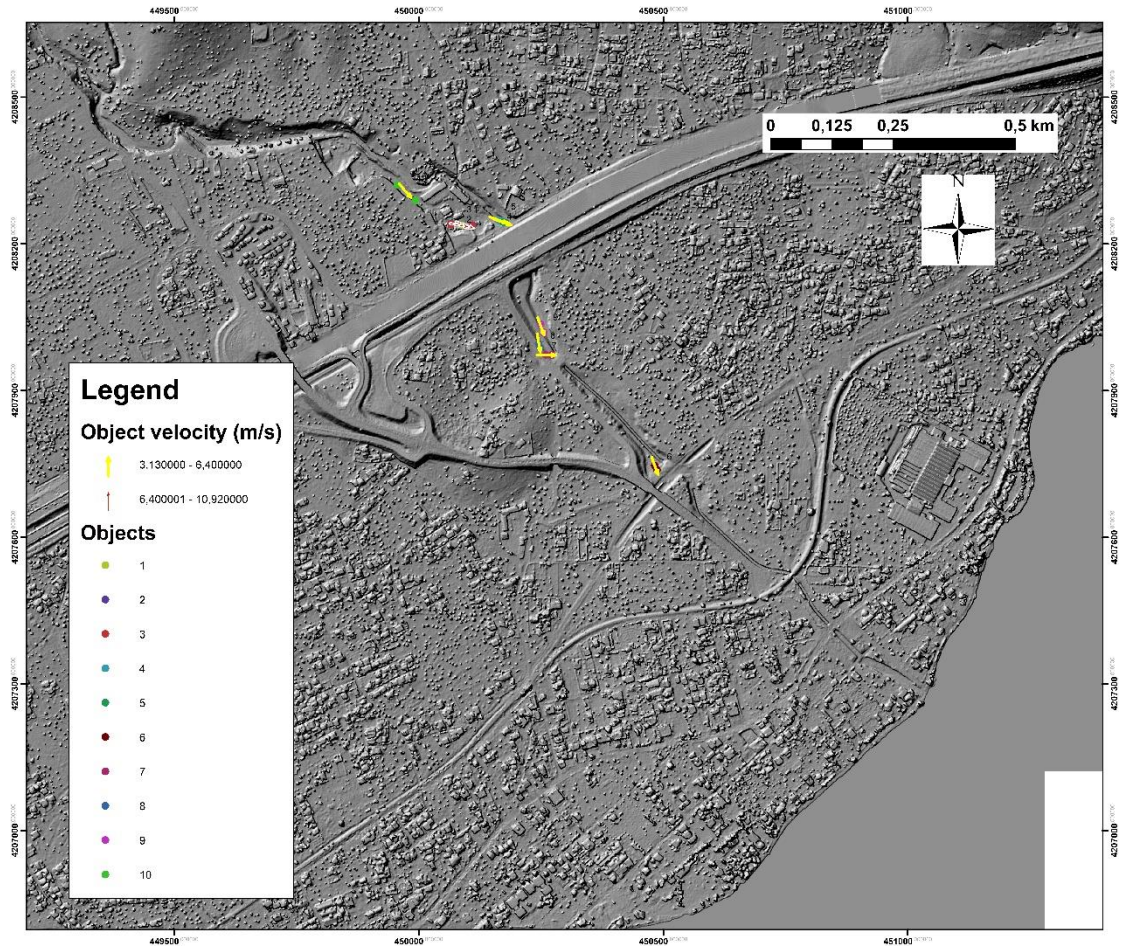


Εικόνα 2.3.13.46 : Απεικόνιση της αρχικής και τελικής θέσης του αντικειμένου 10, καθώς και του ανύσματος ταχύτητας του στο πρόγραμμα ArcMap με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).

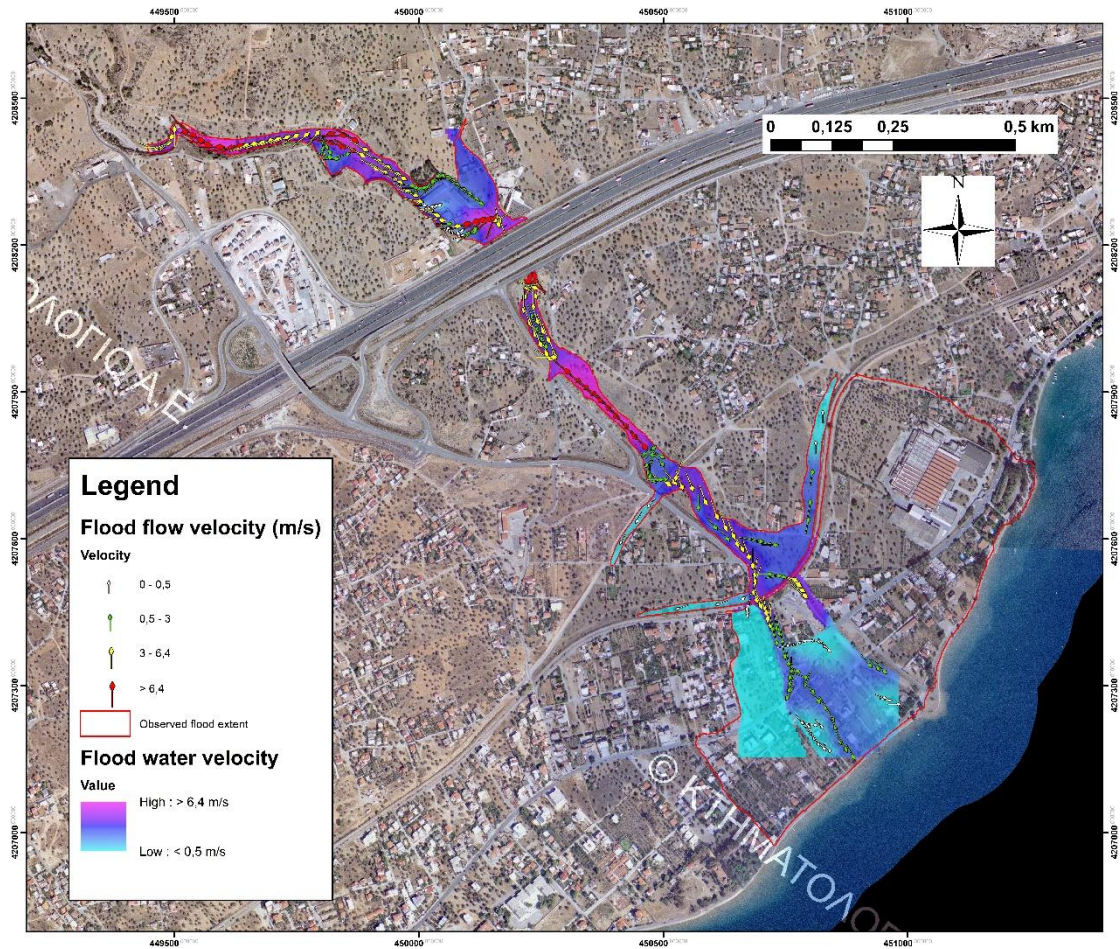


Χάρτης 16 : Χάρτης αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων καθώς και του ανύσματος ταχύτητάς τους με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.



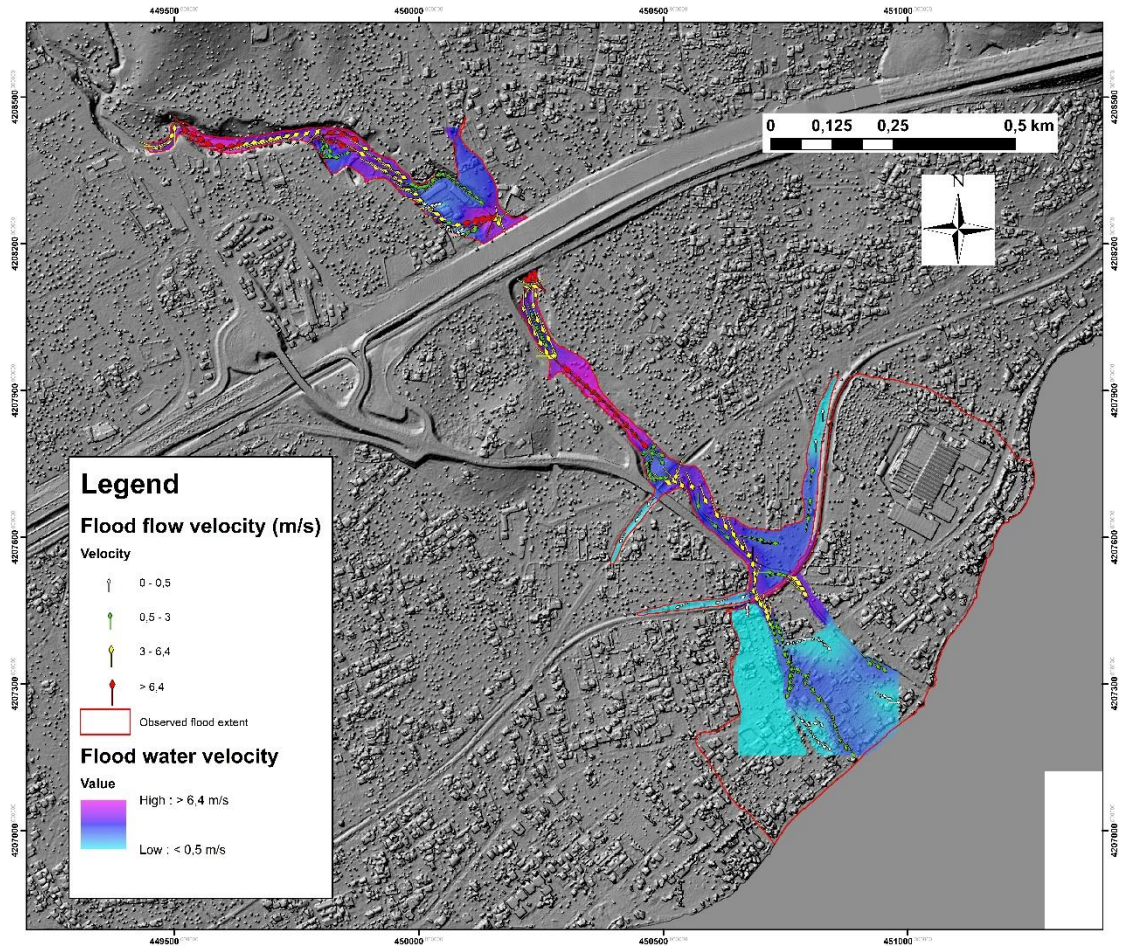


Χάρτης 17 : Χάρτης αρχικής και τελικής θέσης των αντικειμένων καθώς και του ανύσματος ταχύτητας τους με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).



Χάρτης 18 : Σύνθετος χάρτης πληροφοριών κίνησης υδάτων (τιμών ταχυτήτων και κατεύθυνσης τους) με υπόβαθρο τον ορθοφωτοχάρτη του Ελληνικού Κτηματολογίου.

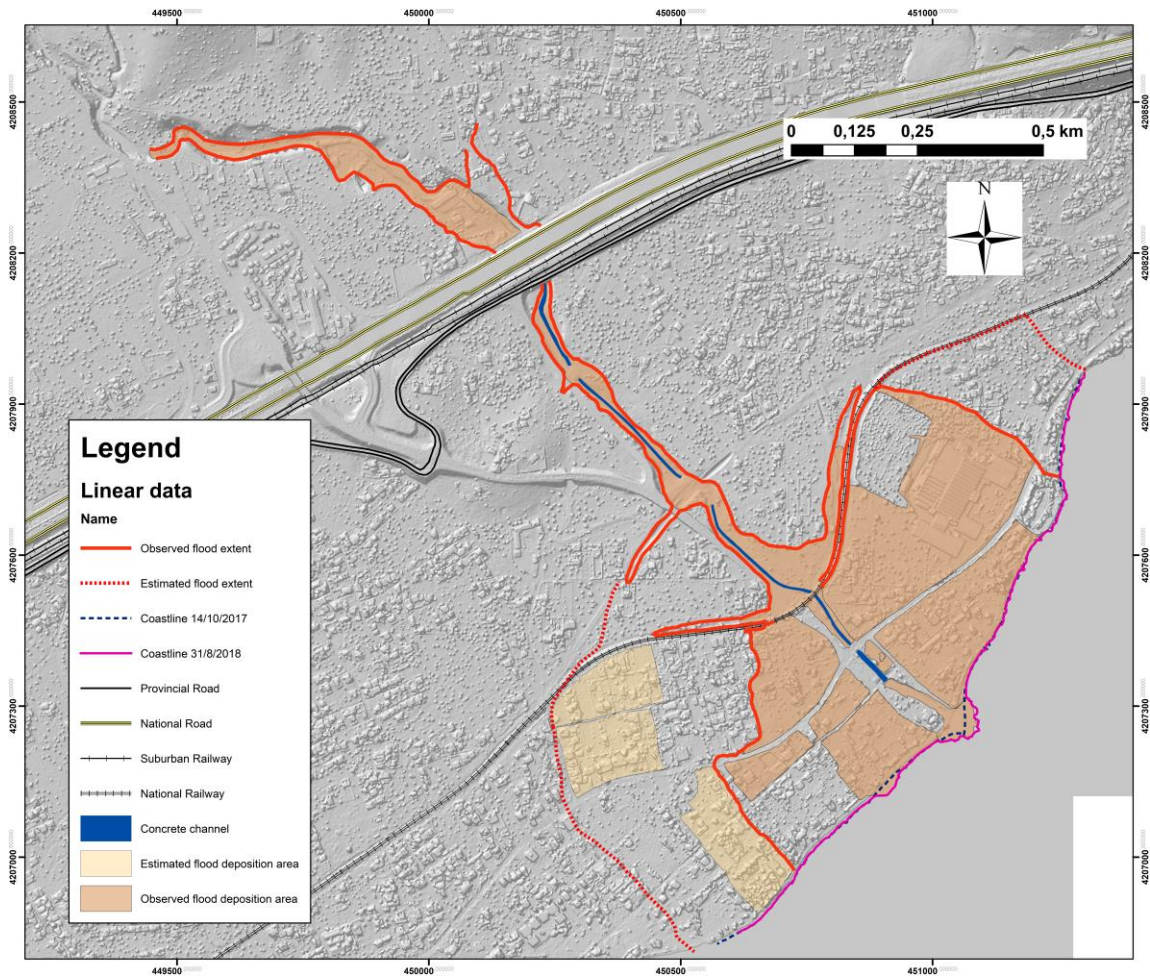




Χάρτης 19 : Σύνθετος χάρτης πληροφοριών κίνησης υδάτων (τιμών ταχυτήτων και κατεύθυνσης τους) με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).



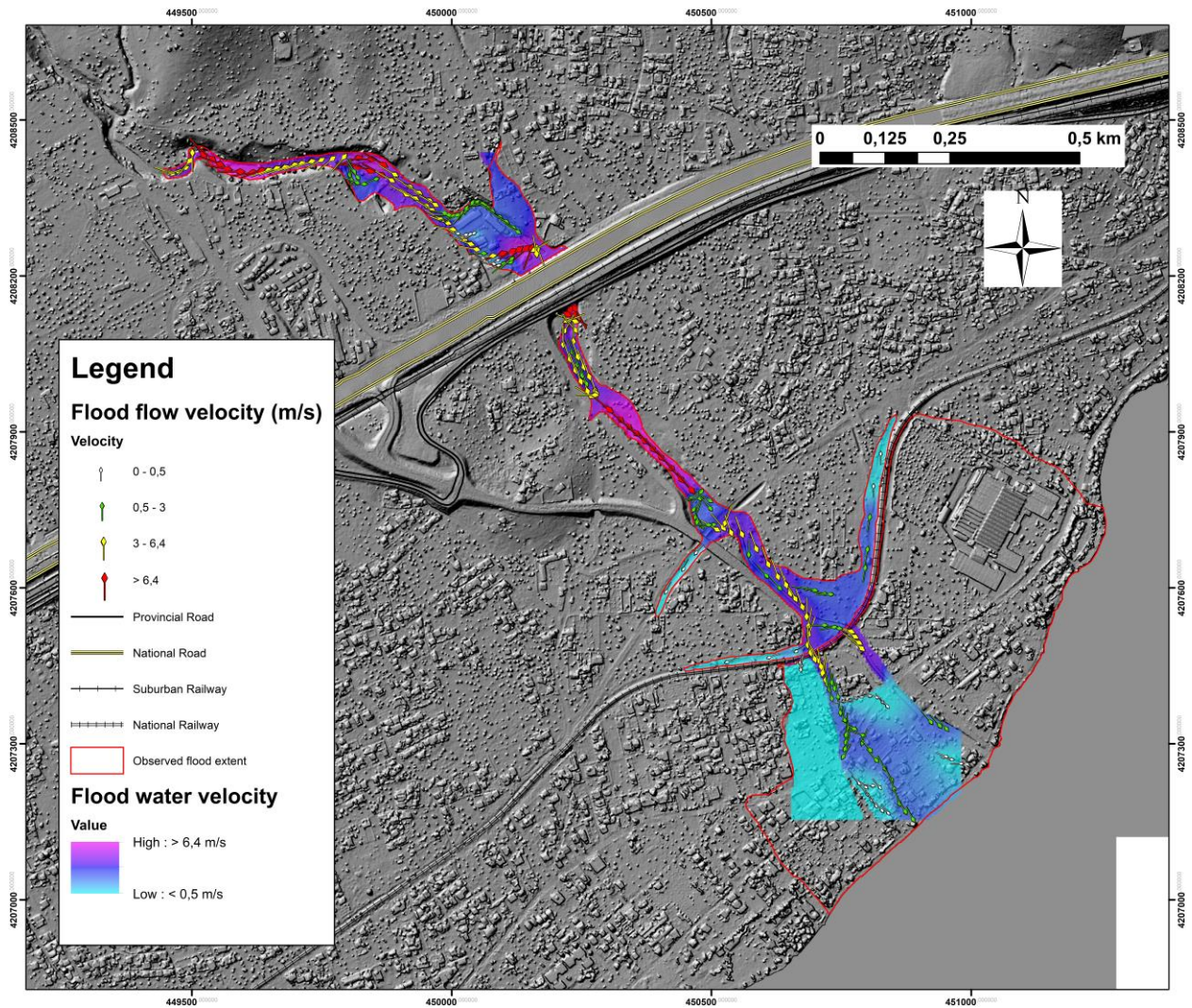
## Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα



Χάρτης 20 : Σύνθετος χάρτης απεικόνισης ορίου πλημμύρας (βέβαιου και πιθανού), περιοχών απόθεσης (βέβαιων και πιθανών), μεταβολής της ακτογραμμής και τεχνικών έργων της περιοχής με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).

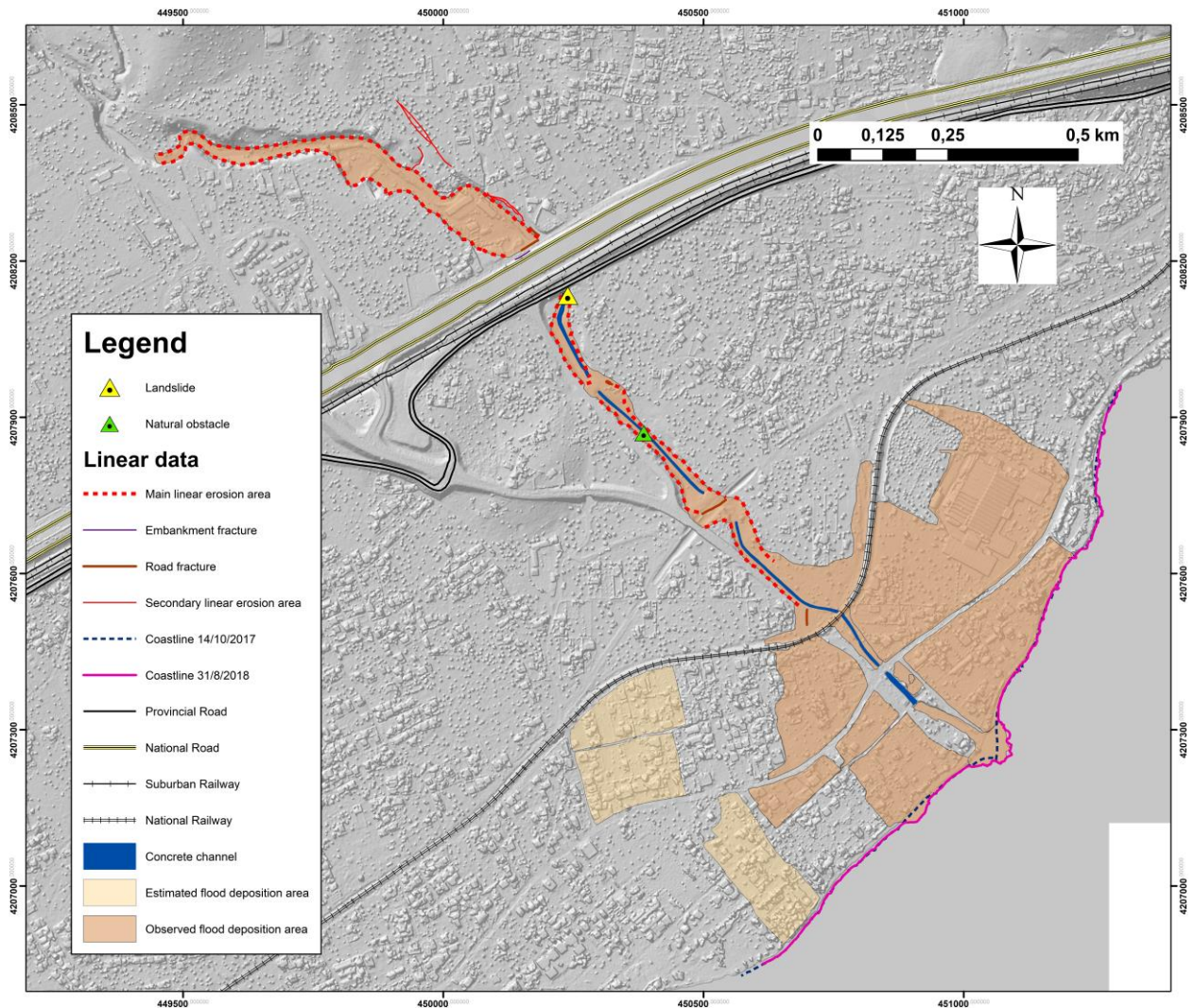
Σύμφωνα με το χάρτη 20 και ξεκινώντας από τη περιοχή ανάντη της Εθνικής Οδού, γίνεται εμφανές ότι το ρέμα δεν ακολούθησε τη φυσική του κοίτη αλλά αντιθέτως κατέλαβε όλο τον χώρο τόσο του εργοστασίου όσο και του υπαίθριου χώρου στάθμεσης πλησίον αυτού. Το αποτέλεσμα ήταν να μη μπορεί να παροχετευθεί όλος αυτός ο όγκος νερού στην είσοδο του αγωγού απομάκρυνσης όμβριων υδάτων που βρίσκεται ακριβώς ανάντη της Εθνικής Οδού και να δημιουργηθούν φαινόμενα στροβιλισμού των υδάτων, όπως φαίνεται στο χάρτη 21. Στο σημείο αυτό παρατηρήθηκε και η μεγαλύτερη ταχύτητα υδάτων, η οποία υπολογίστηκε στα 10,92 m/s. Γίνεται λοιπόν κατανοητό το γεγονός ότι μια επίπτωση στο πλημμυρικό γεγονός ήταν αυτή της κακής λειτουργίας του αγωγού, ο οποίος κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του φαινομένου αδυνατούσε να παροχετεύσει τα ύδατα, αναγκάζοντας τα να υποχωρήσουν με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν αυτοί οι στροβιλισμοί. Προχωρώντας παρακάτω και συγκεκριμένα ακριβώς κατάντη της Επαρχιακής Οδού Μεγάρων – Περαχώρας παρατηρήθηκαν και άλλα τέτοια φαινόμενα στροβιλισμού των υδάτων ακριβώς στην έξοδο του αγωγού, ενώ η ροή των υδάτων χωρίστηκε σε 3 διαφορετικές ροές βγαίνοντας εκτός του ορίου του αγωγού. Έτσι, και εδώ φαίνεται η αδυναμία σωστής λειτουργίας του αγωγού και οι επιπτώσεις αυτού στη ροή των υδάτων. Στο επόμενο τμήμα του αγωγού τα ύδατα βρίσκονταν εντός των ορίων αυτού με εξαιρετικά μεγάλη ταχύτητα, μέχρι το σημείο όπου τερματιζόταν ο αγωγός όπου παρατηρήθηκαν και εδώ φαινόμενα στροβιλισμού και διαχωρισμού της ροής με μικρές ταχύτητες. Στη συνέχεια και μέχρι το ανάχωμα της Σιδηροδρομικής Γραμμής οι ταχύτητες ήταν μεσαίες, ενώ στη περιοχή του ριπιδίου στον οικισμό της Νέας Περάμου οι ταχύτητες ήταν εξαιρετικά μικρές.

Όσον αφορά το όριο της πλημμύρας, όπως φαίνεται στο χάρτη 20 αυτό είναι σχετικά γραμμικό κατά μήκος του αγωγού, αλλά αποκτά εντελώς διαφορετική μορφή τόσο στο ύψος της ανισόπεδης διασταύρωσης αλλά κυρίως στο ύψος της Σιδηροδρομικής Γραμμής, έργα εγκάρσια στη ροή, όπου επεκτείνεται πλευρικά και αυξάνεται το πλάτος της πλημμυρικής ζώνης. Είναι εμφανής λοιπόν η επίπτωση των έργων αυτών στο πλημμυρικό επεισόδιο. Η εξάπλωση αυτή οφείλεται στην ύπαρξη γέφυρας και αναχώματος, τα οποία λειτούργησαν σαν εμπόδια στη ροή και έτσι επιβεβαιώνεται ο ρόλος των εμποδίων στη δυναμική των πλημμυρών.



Χάρτης 21 : Σύνθετος χάρτης πληροφοριών κίνησης υδάτων (τιμών ταχυτήτων και κατεύθυνσης τους) με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).





Χάρτης 22 : Σύνθετος χάρτης απεικόνισης γραμμικών διαβρώσεων (κύριες και δευτερεύουσες), περιοχών απόθεσης (βέβαιων και πιθανών), τεχνικών έργων, θραύσεων οδοστρώματος και αστοχιών πρνανών και μεταβολής της ακτογραμμής με υπόβαθρο το Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας (DSM).

Όπως φαίνεται στο χάρτη 22 μπορούν να οριοθετηθούν δύο βασικές περιοχές διάβρωσης και απόθεσης. Συγκεκριμένα, ως περιοχή διάβρωσης μπορεί να χαρακτηριστεί η περιοχή από το σημείο ανάντη της Εθνικής Οδού μέχρι το σημείο ανάντη του αναχώματος της Σιδηροδρομικής γραμμής, ενώ ως περιοχή απόθεσης η περιοχή κατάντη του αναχώματος αυτού και μέχρι την ακτογραμμή. Φαίνεται λοιπόν πως γενικά τα ύδατα είχαν μεγάλη διαβρωτική ικανότητα μέχρι το σημείο του αναχώματος, όπου εκεί εκτός από την ύπαρξη εμποδίου, η μορφολογία είναι

εξαιρετικά ήπια. Αυτοί οι δύο παράγοντες δεν επέτρεψαν τα συνεχιστεί η διάβρωση και έτσι, ξεκίνησε η απόθεση μεγάλης ποσότητας φερτών υλικών. Σημαντική είναι και η επίδραση στην ακτογραμμή, αφού συγκρίνοντας τις ακτογραμμές πριν και μετά από το πλημμυρικό γεγονός, παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις αφού η πλημμύρα είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων μικρών ριπιδίων με μορφή βεντάλιας στις ακτές της Νέας Περάμου. Ιδιαίτερα ραγδαία αλλαγή παρατηρείται στο σημείο της ακτογραμμής όπου εκβάλλει το ρέμα μέσω της φυσικής του κοίτης, αλλά και στο σημείο εκβολής εναλλακτικής εισόδου της πλημμύρας στον οικισμό. Η είσοδος αυτή βρισκόταν αρκετά μακριά από τη πρώτη και προέκυψε μετά απο εκτροπή της ροής κατόντη της Σιδηροδρομικής Γραμμής.

Ακόμη, αποτέλεσμα της μεγάλης ορμής και ενέργειας των υδάτων ήταν θραύσεις τόσο του αναχώματος της Εθνικής Οδού όσο και του ίδιου του οδοστρώματος, θραύσεις σε άλλα σημεία των οδών όπως ανάντη του αναχώματος της Σιδηροδρομικής Γραμμής αλλά και στο ύψος της ανισόπεδης διασταύρωσης αλλά και κάποιες μικρές αστοχίες πρανών πλησίον της εξόδου του αγωγού κατόντη της Εθνικής Οδού. Τέλος, παρατηρήθηκε η ύπαρξη φυσικού εμποδίου κατά μήκος του αγωγού, το οποίο πιθανόν να ήταν κάποιος ογκόλιθος ή κάποιος κορμός δέντρου.

## Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα

Η πλημμύρα της 15<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2017 ήταν μια χαρακτηριστική ξαφνική πλημμύρα, η οποία προκλήθηκε από μια εξαιρετικά σφοδρή καταιγίδα με πολλές επιπτώσεις στις περιοχές γύρω από το όρος Πατέρας. Όσον αφορά τη περιοχή της Νέας Περάμου, η ταχύτητα των υδάτων ήταν αρκετά υψηλή αφού σε ορισμένα σημεία έφτασε μέχρι και τα 11 m/s με σοβαρές επιπτώσεις στις υποδομές της περιοχής. Συγκεκριμένα, υπήρξαν σοβαρές καταστροφές σε μικρότερους και μεγαλύτερους οδικούς άξονες όπως και στο ανάχωμα της Εθνικής Οδού. Αυτό όμως που είναι ιδιαίτερα σημαντικό και παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, είναι οι επιπτώσεις των υποδομών αυτών στην δυναμική της πλημμύρας. Συμπερασματικά, μπορούν να αναφερθούν τα παρακάτω αποτελέσματα για κάθε κομβικό στη ροή σημείο.

**Για το ανάχωμα της Εθνικής Οδού και τους δανειοθάλαμους αδρανών υλικών, τα οποία έπαιξαν το ρόλο εμποδίου στη ροή και ρύθμισαν τη παροχή μέσω των διαστάσεων του αγωγού :**

(Ανάτη)

- Μείωση της ταχύτητας των υδάτων.
- Συσσώρευση υδάτων και άνοδος της στάθμης.
- Στροβιλισμός υδάτων στη περιοχή του αναχώματος.
- Ανάδρομη διάβρωση πλευρικά και ανάτη.
- Υπερπλήρωση διαμορφωμένης κοίτης.

(Κατάτη)

- Πλήρωση διατομής αγωγού.
- Έξοδος υδάτων με μεγάλη ταχύτητα και πίεση.
- Μεγάλη διαβρωτική ενέργεια υδάτων.
- Κορεσμός της χωρητικότητας του καναλιού.
- Διάβρωση στις όχθες.



**Για τη διαμορφωμένη με τσιμέντο και ευθυγραμμισμένη κοίτη :**

- Ανάπτυξη μεγάλης ταχύτητας υδάτων (>6,4 m/s).

**Για τη πλακοσκεπή και ανισόπεδη διαστάυρωση :**

(Ανάντη)

- Μείωση της ταχύτητας των υδάτων.
- Συσσώρευση υδάτων και άνοδος της στάθμης.
- Στροβιλισμός υδάτων στην έξοδο του αγωγού.
- Πλευρική διάβρωση.
- Πλευρική επέκταση της πλημμύρας κατά μήκος της οδού εγκάρσια προς τη ροή.

(Κατάντη)

- Αύξηση του πλάτους της πλημμυρικής ζώνης.

**Για το ανάχωμα και τη γέφυρα της Σιδηροδρομικής Γραμμής :**

(Ανάντη)

- Μείωση της ταχύτητας των υδάτων.
- Επέκταση της ζώνης πλημμύρας κατά μήκος του αναχώματος λόγω ήπιας μορφολογίας.

(Κατάντη)

- Διάχυτη ροή σε μεγάλη έκταση.
- Δύο είσοδοι της πλημμύρας προς τα κατάντη (διαμορφωμένη κοίτη και κάτω από τη γέφυρα προς τον οικισμό), το οποίο είχε ως αποτέλεσμα δύο περιοχές μεταβολής της ακτογραμμής λόγω απόθεσης.

Από τα παραπάνω γίνεται εμφανής ο ρόλος των σύνθετων υποδομών σε μια πλημμύρα, οι οποίες λειτουργούν σαν εμπόδια και παρεμποδίζουν τη φυσική ροή των υδάτων, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται μεγαλύτερες εκτάσεις από τις αναμενόμενες για το εκάστοτε επεισόδιο και να κατακλύζονται τόσο από τα ύδατα, όσο και από τα υλικά τα οποία μεταφέρει το υδάτινο σώμα και τα οποία αποθέτει καθώς μειώνεται η μεταφορική του ικανότητα. Έτσι, στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρούνται μεγάλες εκτάσεις αποθέσεων οι οποίες πιθανόν να μην υπήρχαν σε περίπτωση που ο αγωγός απομάκρυνσης υδάτων λειτουργούσε σωστά.

Για την διεξαγωγή της συγκεκριμένης μελέτης χρησιμοποιήθηκαν κυρίως δεδομένα δορυφορικών εικόνων και επιτόπου έρευνας του μη επανδρωμένου οχήματος, το οποίο αποδείχτηκε ιδιαίτερα πολύτιμο και έδωσε σημαντικές πληροφορίες και στοιχεία τα οποία δεν ήταν δυνατόν να βρεθούν μέσω κάποιου άλλου μέσου. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι τα Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών είναι ένα πολύ σημαντικό και αναγκαίο εργαλείο για τον γεωεπιστήμονα, αφού μέσω αυτού η μελέτη αποκτά μεγαλύτερη ακρίβεια και είναι δυνατή η δημιουργία χαρτών που δεν θα μπορούσαν να δημιουργηθούν με τη βοήθεια μόνο των δορυφορικών εικόνων. Ακόμη, ο ρόλος των μη επανδρωμένων οχημάτων στη μεταπλημμυρική έρευνα δεν είναι κρίσιμος μόνο για τον τομέα των επιστημών, αλλά και για τον κρατικό μηχανισμό αφού μέσω του πρώτου είναι δυνατή η εκτίμηση της επικινδυνότητας και άρα η υλοποίηση ανάλογων ενεργειών και σχεδίων από το κράτος και τη Πολιτική Προστασία, προκειμένου να αποφευχθούν παρόμοια γεγονότα στο μέλλον.

## Βιβλιογραφία

Afzal Ahmed, A. and Ghumman, A.R (2019). Experimental Investigation of Flood Energy Dissipation by Single and Hybrid Defense System. *Water* 2019, 11, 1971. doi:10.3390/w11101971

Ahmed, A., & Ghumman, A. R. (2019). Experimental Investigation of Flood Energy Dissipation by Single and Hybrid Defense System. *Water*, 11(10), 1971. <https://doi.org/10.3390/w11101971>

Alfieri, L., Dottori, F., Betts, R., Salamon, P., & Feyen, L. (2018). Multi-Model Projections of River Flood Risk in Europe under Global Warming. *Climate*, 6(1), 6. <https://doi.org/10.3390/cli6010006>

Ali, S. (2013). Flow over Weir-like Obstacles. National University of Computer and Emerging Sciences, Lahore, Pakistan.

Andreadakis, E., Kapourani, E., Diakakis, M., Papaspyropoulos, K. and Filis, Ch. (2017). UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS (UAS) IN POST-FLOOD SURVEYS. THE CASE OF LACONIA FLOODS 2016. 11th International Hydrogeological Congress of Greece, 4-6 October 2017, Agricultural University of Athens.

Andreadakis, E., Diakakis, M., Nikolopoulos, E.I., Vassilakis, E., Spyrou, N.I. (2019). Estimation of flash flood peak discharge using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-derived imagery. The case of the 2017, Mandra flood in Greece. EGU General Assembly 2019, 7-12 April 2019, Vienna, Austria. DOI: 10.13140/RG.2.2.30587.57128

Arnaud-Fassetta, G., Cossart, E., Fort, M. (2004). Hydro-geomorphic hazards and impact of man-made structures during the catastrophic flood of June 2000 in the Upper Guil catchment (Queyras, Southern French Alps). *Geomorphology*, 66, (2005) 41–67. doi:10.1016/j.geomorph.2004.03.014

Barrero J.I. (2007). Major flood disasters in Europe: 1950–2005. *Nat Hazards* 2007, 42, 125–148.

Barrero J.I. (2009). Normalized flood losses in Europe: 1970–2006. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 2009, 9, 97–104.



Bazin, P.H. (2015). Flows during floods in urban areas : influence of the detailed topography and exchanges with the sewer system. *Mechanics [physics]*. Université Claude Bernard - Lyon I, 2013. English NNT : 2013LYO10241. tel-01159518.

Brown, J. D., Spencer, T. and Moeller, I. (2007). Modeling storm surge flooding of an urban area with particular reference to modeling uncertainties: A case study of Canvey Island, United Kingdom. *Water Resources Research* 43 (6).

Chowdhury A., Mushtaque R., Bhuiya A.U., Choudhury A.Y. & Sen R. (1993). The Bangladesh Cyclone of 1991: why so many people died. *Disasters* 1993, 17, (4), 291–304.

Colomina, I., Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>

Crosta, G.B., Frattini, P. (2003). CONTROLS ON MODERN ALLUVIAL FAN PROCESSES IN THE CENTRAL ALPS, NORTHERN ITALY. *Earth Surf. Process. Landforms* 29, 267–293 (2004). DOI: 10.1002/esp.1009

Diakakis, M., Mavroulis, S., Deligiannakis, G. (2012). Floods in Greece, a statistical and spatial approach. *Natural Hazards*, 62 (2), 485-500.

Diakakis, M. (2013). Flood hazard assesment using simulation techniques. PhD Thesis, University of Athens, Greece.

Diakakis, Michalis, Deligiannakis, G., Pallikarakis, A., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.06.010>

Diakakis, M., Palikarakis, A., Katsetsiadou, K. (2014). Using a spatio-temporal GIS database to monitor the spatial evolution of urban flooding phenomena. The case of Athens metropolitan area in Greece. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 3, 96-101.

Diakakis, M., & Deligiannakis, G. (2017). Flood fatalities in Greece: 1970-2010. *Journal of Flood Risk Management*, 10(1), 115–123. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12166>

Diakakis, M., Deligiannakis, G., Katsetsiadou, K., Antoniadis, Z., & 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). <https://doi.org/10.1080/1573062X.2017.1363247>

Diakakis, Michalis, Deligiannakis, G., Pallikarakis, A., & Skordoulis, M. (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*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.02.002>

Djordjevic, S., Prodanovic, D. and Maksimovic, C. (1999). An approach to stimulation of dual drainage. *Water Science and Technology* 39 (9) : 95-103.

Djordjevic, S., Prodanovic, D., Maksimovic, C., Ivetic, M. and Savic, D. (2005). SIPSON - Simulation of interaction between pipe flow and surface overland flow in networks. *Water Science and Technology* 52 (5) : 275-283.

Domingo, N.D.Sto., Refsgaard, A., Mark, O. and Paludan, B. (2010). Flood analysis in mixed-urban areas reflecting interactions with the complete water cycle through coupled hydrologic-hydraulic modelling. *Water Science & Technology*, September 2010. DOI: 10.2166/wst.2010.365

El-Ghorab, Entesar A.S. (2013). Reduction of scour around bridge piers using a modified method for vortex reduction. *Alexandria Engineering Journal* (2013) 52, 467–478. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2013.04.001>

Fenton, J.D. (2008). Obstacles in streams and their roles as hydraulic structures. pp 15-22 of *Hydraulic Structures – Proc. 2nd International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures*, 30.7-1.8.2008, Pisa, Italy.

Fernández, D.S., Lutz, M.A. (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, 111 (2010) 90–98.

Fernandez Galarreta, J., N. Kerle, N. and Gerke, M. (2015). UAV-based urban structural damage assessment using object-based image analysis and semantic reasoning. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 1087–1101, 2015. doi:10.5194/nhess-15-1087-2015

Gaume, E., & Borga, M. (2008). Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods: proposal of a methodology and illustrations. *Journal of Flood Risk Management*, 1(4), 175–189. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2008.00023.x>

Gaume E., Bain V., Bernardara P., Newinger O., Barbus M., Bateman A., Blaskovicova L., Bloschl G., Borga M., Dumitrescu A., Daliakopoulos I., Garcia J., Irimescu A., Kohnova S., Koutroulis A., Marchi L., Matreata S., Medina V., Preciso E., Sempere-Torres D., Stancalie G., Szolgay J., Tsanis I., Velasco D. & Viglione A. (2009). A compilation of data on European flash floods. *J Hydrol* 2009, 367, (1–2), 70–78.

Gaume, Eric, Borga, M., Llassat, M. C., & Maouche, S. (2016). Mediterranean extreme floods and flash floods. In *The Mediterranean Region under Climate Change. A Scientific Update* (Coll. Synt, pp. 133–144). IRD Editions. Retrieved from [http://www.editions.ird.fr/produit/433/9782709922210/The Mediterranean Region under Climate Change](http://www.editions.ird.fr/produit/433/9782709922210/The%20Mediterranean%20Region%20under%20Climate%20Change)

Hammond, M.J., Chen, A.S., Djordjević, S., Butler, D., Mark, O. (2015). Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review. *Urban Water Journal* 12(1):14-29. DOI:10.1080/1573062X.2013.857421.

Hargitai, H. (2014). Obstacle Dunes and Obstacle Marks. *Encyclopedia of Planetary Landforms*. DOI 10.1007/978-1-4614-9213-9\_246-1

Horacio, J., Olleroc, A., Noguerad, I. and Pasquier-Fernandez, V. (2019). Flooding, channel dynamics and transverse infrastructure: a challenge for Middle Ebro river management. *JOURNAL OF MAPS* 2019, VOL. 15, NO. 2, 310–319. <https://doi.org/10.1080/17445647.2019.1592719>

Jones, J.A., Swanson, F.J., Wemple, B.C. and Snyder, K.U. (1999). Effects of Roads on Hydrology, Geomorphology and Disturbance Patches in Stream Networks. *Conservation Biology*, Pages 76-85, Volume 14, No.1, February 2000.

Jonkman S.N. (2005). Global perspectives on loss of human life caused by floods. *Nat Hazards* 2005, 34, 151–175.

Jonkman S.N. & Kelman I. (2005). An analysis of the causes and circumstances of flood disaster deaths. *Disasters* 2005, 29, (1), 75–97.

Kubal, C., Haase, D., Meyer, V. and Scheuer, S. (2009). Integrated urban flood risk assessment – adapting a multicriteria approach to a city. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 1881–1895, 2009.

Lekkas, E., Diakakis, M., Andreadakis, E., Spyrou, N-I., Gogou, M., Katsetsiadou, K-N., Speis, F., Georgakopoulos, A. (2017). Flash Flood in West Attica (Mandra, NeaPeramos) November 15, 2017. *Newsletter of Environmental, Disaster and Crisis Management Strategies*, 5, ISSN 2653-9454.

Llasat M.C., Llasat-Botija M., Prat M.A., Porcu F., Price C., Mugnai A., Lagouvardos K., Kotroni V., Katsanos D., Michaelides S., Yair Y., Savvidou K. & Nicolaidis K. (2010). High impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database. *Adv Geosci* 2010, 23, 47–55.

Marche, C. (2009). Dam-break flow against obstacles and through river bed singularities (chapter 5). *WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering*, Vol 36, 2009 WIT Press. doi:10.2495/978-1-84564-142-9/05

Nemry, F., Demirel H. (2012). Impacts of Climate Change: A focus on road and rail transport infrastructures. *JRC SCIENTIFIC AND POLICY REPORTS*.

Paarlberg, A.J., Dohmen-Janssen, C.M, Hulscher, S.J.M.H, van den Berg, J., Termes, A.P.P. (2006). Modelling morphodynamic evolution of river dunes.

Papagiannaki, K., Lagouvardos, K., Kotroni, V., & Bezes, A. (2015). Flash flood occurrence and relation to the rainfall hazard in a highly urbanized area. *Natural Hazards and Earth System Science*, 15(8), 1859–1871. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1859-2015>



- Papagiannaki, Katerina, Kotroni, V., Lagouvardos, K., Ruin, I., Bezes, A., Papagiannaki, K., ... Bezes, A. (2017). Urban Area Response to Flash Flood–Triggering Rainfall, Featuring Human Behavioral Factors: The Case of 22 October 2015 in Attica, Greece. *Weather, Climate, and Society*, 9(3), 621–638. <https://doi.org/10.1175/WCAS-D-16-0068.1>
- Pregolato, M., Ford, A., Wilkinson, S.M., Dawson, R.J (2017). The impact of flooding on road transport: A depth-disruption function. *Transportation Research Part D*, 55 (2017), 67–81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.020>
- Salvati P., Bianchi C., Rossi M. & Guzzetti F.(2010). Societal landslide and flood risk in Italy. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 2010, 10, 465–483.
- Schmitt, T. G., Thomas, M. and Ettrich, N. (2004). Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. *Journal of Hydrology* 299 (3-4) : 300-311.
- Shroder, J.F. (2013). TREATISE ON GEOMORPHOLOGY, VOLUME 3 REMOTE SENSING AND GISCIENCE IN GEOMORPHOLOGY.
- Smith, M. W., Carrivick, J. L., Hooke, J., & Kirkby, M. J. (2014). Reconstructing flash flood magnitudes using “Structure-from-Motion”: A rapid assessment tool. *Journal of Hydrology*, 519(PB), 1914–1927. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.078>
- Spyrou, N.I., Stanota, E.S., Diakakis, M., Andreadakis, E., Deligiannakis, G., Lekkas, E. (2019). BOUNDARY AND ESTIMATION OF THE FLOOD DEVELOPMENT VELOCITY USING UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)-DERIVED IMAGERY AND GROUND OBSERVATIONS: THE CASE OF THE 2017 MANDRA FLASH FLOOD IN GREECE. 15<sup>th</sup> International Congress of the Geological Society of Greece, Athens 22-24 May 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.23040.69129.
- Varlas, G., Anagnostou, M. N., Spyrou, C., Papadopoulos, A., Kalogiros, J., Mentzafou, A., ... Katsafados, P. (2018). A Multi-Platform Hydrometeorological Analysis of the Flash Flood Event of 15 November 2017 in Attica, Greece. *Remote Sensing*, 11(1), 45. <https://doi.org/10.3390/rs11010045>
- Walder, J. S., & O'Connor, J. E. (1997). Methods for predicting peak discharge of floods caused by failure of natural and constructed earthen dams. *Water Resources Research*, 33(10), 2337–2348. <https://doi.org/10.1029/97WR01616>
- Wang , W., Zhou, K., Jing, H., Zuo, J., Li, P. and Li, Z. (2019). Effects of Bridge Piers on Flood Hazards: A Case Study on the Jialing River in China. *Water* 2019, 11, 1181. doi:10.3390/w11061181
- Yau Seng Mah, D., Putuhena, F.J. and Rosli, N.A (2014). Environmental Technology: Potential of Merging Road Pavement with Stormwater Detention. *Journal of Applied Science & Process Engineering* Vol. 1, No. 1, 2014.

Yin, J., Yu, D., Yin, Z., Liu, M., He, Q. (2016). Evaluating the impact and risk of pluvial flash flood on intra-urban road network: A case study in the city center of Shanghai, China. *Journal of Hydrology*, 537 (2016), 138–145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.037>

ΓΕΩΤΕΕ Παράρτημα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (2017) : ΕΚΘΕΣΗ για την πλημμύρα της 15<sup>ης</sup> Νοεμβρίου 2017 στη Μάνδρα και Νέα Πέραμο Αττικής.

Διακάκης, Μ. (2018). Πλημμύρες & πλημμυρικός κίνδυνος. Πανεπιστήμιο Αθηνών - Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Στρατηγικές διαχείρισης Περιβάλλοντος - Καταστροφών - Κρίσεων.

Κράνης, Χ., Σκούρτσος, Ε., Σούκης, Κ. (2015). Μάθημα Β02 Συστήματα του Γήινου Περιβάλλοντος και Φυσικοί Πόροι. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος – Καταστροφών – Κρίσεων.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ, ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΥΔΑΤΩΝ (2012) : ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΔΗΓΙΑΣ 2007/60/ΕΚ ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ, ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΥΔΑΤΩΝ (2013) : ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής.