



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Master Thesis

Μοντελοποίηση της παροχής αιχμής με τη χρήση UAV- Η περίπτωση του Μαριορέματος στην πλημμύρα του 2016

Modelling the inflow peak using UAV- Study case: Mariorema's flood, 2016

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΤΣΑΠΡΟΥΝΗ / KONSTANTINA TSAPROUNI

A.M. / R.N. : 16242

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

No. 2018195

Αθήνα, Μάρτιος 2019

Athens, March 2019



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Master Thesis

Μοντελοποίηση της παροχής αιχμής με τη χρήση UAV- Η περίπτωση του Μαριορέματος στην πλημμύρα του 2016

Modelling the inflow peak using UAV- Study case: Mariorema's flood, 2016

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ ΤΣΑΠΡΟΥΝΗ / KONSTANTINA TSAPROUNI

A.M. / R.N. : 16242

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ. Ε. Λέκκας,
Καθηγ. ΕΚΠΑ

Δρ. Β. Αντωνίου,
Δρ. Γεωλόγος, Ε.Δ.Ι.Π. ΕΚΠΑ

Δρ. Ε. Βασιλάκης,
Επικ. 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
Κεφάλαιο 1. Πλημμύρες και νέες τεχνολογίες.....	9
1.1. Εισαγωγή.....	9
1.2. Το πρόβλημα των πλημμυρών.....	10
1.3. Πλημμυρικός κίνδυνος στη Λακωνία.....	16
1.4. Πλημμυρικό επεισόδιο του 2016.....	19
1.5. Νέες τεχνολογίες στη μεταπλημμυρική έρευνα (drone).....	21
1.6. Στόχος και περιγραφή της παρούσας εργασίας.....	23
Κεφάλαιο 2. Μεθοδολογία	25
2.1. Περιοχή μελέτης.....	25
2.2. Μεθοδολογία και εργαλεία.....	26
2.2.1. Επιλογή θέσης και προγραμματισμός εργασιών υπαίθρου	27
2.2.2. Εκτέλεση προγράμματος και προβλήματα.....	31
2.3. Πρωτογενή δεδομένα και επεξεργασία	32
2.3.1. Αρχική επεξεργασία εικόνων	33
2.3.2. Παραγωγή νέφους σημείων.....	34
2.3.3. Παραγωγή πλέγματος- δυνατότητα ανάλυσης.....	36
2.4. Εκτίμηση μέγιστης παροχής.....	41
2.4.1. Επιλογή κατάλληλης τομής	41
2.4.2. Δεδομένα κλίσης	42
2.4.3. Ίχνη πλημμύρας.....	43
2.4.4. Τραχύτητα κοίτης	45
2.4.5. Υπολογισμοί.....	47
2.5. Επαλήθευση αποτελεσμάτων.....	54
2.6. Επίδραση στη γεωμορφολογία.....	57
Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα	66
3.1. Συγκρίσεις με τη βιβλιογραφία για αντίστοιχα συμβάντα.....	66
3.2. Συμπεράσματα.....	67
Βιβλιογραφία	68
Χρήσιμοι σύνδεσμοι	73

Περίληψη

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η μοντελοποίηση της παροχής αιχμής με τη χρήση UAV στο χείμαρρο Μαριόρεμα με αφορμή (και με μελέτη περίπτωσης) το πλημμυρικό φαινόμενο του Σεπτεμβρίου 2016. Αρχικά, έγινε ανάλυση των φαινομένων κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου συμβάντος και αναφορά στην έκταση και τις επιπτώσεις του στην ευρύτερη πληγείσα περιοχή. Για τις ανάγκες της μοντελοποίησης μελετήθηκε η γεωμετρία του αναγλύφου, η τραχύτητα από σημείο σε σημείο της περιοχής μελέτης και η σύγκριση αυτών πριν και μετά την έξαρση του φαινομένου. Τα συγκεκριμένα δεδομένα χαρτογραφήθηκαν με μεγάλη λεπτομέρεια με τη βοήθεια δεδομένων που προέκυψαν από αεροφωτογράφιση με ΣμηΕΑ (drone, UAS). Με τη χρήση του λογισμικού Pix4Dmapper έγινε η επεξεργασία των δεδομένων πτήσης που σχεδιάστηκε για αποτύπωση αναγλύφου σε τρεις διαστάσεις (3Dmodel). Από την επεξεργασία αυτή προέκυψαν ορθοφωτοχάρτες υψηλής ανάλυσης, που μας βοήθησαν σε συνδυασμό με τα δεδομένα των παρατηρήσεων υπαίθρου να χαρτογραφηθούν με μεγάλη ακρίβεια η φύση της κοίτης (μητρικό πέτρωμα, αποθέσεις, βλάστηση κ.λπ.) ώστε να υπολογιστεί η τραχύτητα της κοίτης κατά Manning. Χρησιμοποιήσαμε ακόμα το ψηφιακό μοντέλο επιφανείας από τα δεδομένα του UAS για την κατασκευή τομών της κοίτης. Τα δεδομένα της κλίσης της κοίτης και της τομογραφικής τομής χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της υγρής περιμέτρου, της επιφάνειας διαβροχής και της υδραυλικής ακτίνας, με τα οποία έγινε η εκτίμηση της παροχής αιχμής.

Abstract

The aim of this diploma thesis was to model the inflow peak using UAV in the Mariorema's flood of September 2016. Initially, an analysis was made of the duration of this event and reference to its extent and its impact on the wider study area. For the modeling needs, the geometry of the embossment, the roughness of the study area before and after. This data mapping was performed by a drone with precision through aerial photography data (UAS). Using Pix4D mapper program lead to the processing of flight data designed for three-dimensional embosses printing (3D model). This handling resulted in high resolution orthophotomaps, which helped to accurately map the stream (rock, deposits, vegetation, etc) to calculate the roughness of the Manning. We also used the digital surface model from the UAS data for the construction of the bed sections. The data of the slope gradient and the tomographic incision were used to calculate the wetter perimeter, wetter surface and the hydraulic radius which assessed the inflow peak.

Πρόλογος και Ευχαριστίες

Η μάθηση είναι ένα συνεχές ταξίδι, επενδύουμε στον εαυτό μας ακόμα και όταν δεν είμαστε βέβαιοι για το αποτέλεσμα. Με αυτό το κείμενο τελείωσα τηνεργασία μου, ένα προσωπικό όραμα ετών. Ευελπιστώ πως θα βρω τους τρόπους να αξιοποιήσω τη νέα γνώση και ίσως να την εξελίξω ακόμη περισσότερο.

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το ακαδημαϊκό προσωπικό που στάθηκε δίπλα μου κατά τη διάρκεια των σπουδών και δόθηκε η ευκαιρία συνεργασίας και ανάμιξη ιδεών και γνώσεων. Να εκφράσω την εκτίμηση και το σεβασμό μου στους καθηγητές της τριμελούς επιτροπής της διπλωματικής μου διατριβής όπως και τον κ.Εμ. Ανδρεαδάκη και Μιχ. Διακάκη για την στήριξη και συνεχή επίβλεψη και καθοδήγησήτους κατά τη διεκπεραίωση της συγκεκριμένης έρευνας.

Ξεκινώ από τα μικρά πράγματα....

και ονειρεύομαι τα μεγάλα

Κατάλογος Πινάκων-Χαρτών - Σχήματα

Πίνακας 1:	Αναλυτικός πίνακας θέσεων των σημείων κλίσης.....	42
Πίνακας 2:	Αναλυτικός πίνακας θέσεων των σημείων πλημμύρας.....	43
Πίνακας 3:	Αναλυτικός πίνακας με το εύρος τιμών n ανά κατηγορία.....	46
Πίνακας 4:	Αναλυτικός πίνακας τιμών n.....	46
Σχήμα 1:	Προβολή για κάθε τομή της κοίτης και όλες μαζί σε κοινό γράφημα (σε σταθερό μήκος).....	48
Σχήμα 2:	Εύρεση και προβολή στο γράφημα της κάθε τομής, του χαμηλότερου σημείου της κοίτης (μισγάγγεια).....	49
Σχήμα 3:	Μέτρηση του πλάτους του δαπέδου της κοίτης και του ύψους της αναβαθμίδας από την κοίτη για κάθε όχθη.....	50
Σχήμα 4:	Υπολογισμός του λόγου ύψους/πλάτος και της ποσοστιαίας μεταβολής του πλάτους από τομή σε τομή.....	50
Σχήμα 5:	Προβολή όλων των σημείων μισγάγγειας μαζί κατά μήκος του άξονα ροής.....	50
Σχήμα 6:	Επιμήκης τομή στην κοίτη	51
Σχήμα 7:	Κάτοψη της τομής.....	52
Σχήμα 8:	Εγκάρσια προφίλ τομής.....	52
Χάρτης 1:	Γεωμορφολογικές διεργασίες κατά τη διάρκεια του πλημμυρικού φαινομένου,	59
Χάρτης 2:	Κάλυψη γης και όριο πλημμύρας.....	60
Χάρτης3:	Ορθοφωτοχάρτης και τελική τομή προς μελέτης παροχής αιχμής	61
Χάρτης 4:	DTM μοντέλο με τα σημεία πλημμύρας και κλίσεων.....	62
Χάρτης 5:	DSM μοντέλο και οι παράγοντες υπολογισμού παροχής αιχμής.....	63
Χάρτης 6:	Χάρτης κλίσεων, γεωμορφολογικών διεργασιών και παραγόντων υπολογισμού παροχής αιχμής.....	64

Κατάλογος Εικόνων

- Εικόνα 1.1 Πλημμυρικό πεδίο στην περιοχή μελέτης αμέσως μετά την πλημμύρα (Σεπτέμβριος 2016). Ο χείμαρρος Μαριόρεμα και ο οικισμός Βλαχιώτης στο βάθος, άποψη προς Ν.....12
- Εικόνα 1.2.1: Υπερχείλιση του ποταμού Αχέροντα το Δεκέμβρη 2017.(Πηγή:www.24wro.com.gr/)<http://24wro.com.gr/1389394/prebeza-apisteutes-eikones-apo-thn-upercheilish-tou-potamou-acheronta-binteo-apo-drone/>.....13
- Εικόνα 1.2.2: Επιπτώσεις στον αστικό ιστό της Μάνδρας Αττικής, από υπερχείλιση των ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη, στη Δυτική Αττική το Νοέμβριο 2017 (Πηγή: <https://goo.gl/images/eqMXEZ>).....14
- Εικόνα 1.2.3: Κατάρρευση φράγματος από πλημμυρικά ύδατα στην Νότια Κορέα (Λίμνη Άνω Ρόκφορντ) στις 5 Οκτωβρίου 2015(πηγή:www.waterarchives.org).....14
- Εικόνα 1.2.4: Αστοχία αντιπλημμυρικού αναχώματος ανατολικά του Ευρώτα κατά τις πλημμύρες του Σεπτεμβρίου 2016 (περιοχή Ταξιάρχες).....15
- Εικόνα 1.2.5: Εισχώρηση κυμάτων σε παράκτια περιοχή στο N. Jersey των ΗΠΑ, λόγω των ισχυρών ανέμων του τυφώνα Sandy, στις 29 Οκτωβρίου 2012 (Πηγή: <http://www.climatecentral.org>). Ο τυφώνας προκάλεσε τεράστιες υλικές καταστροφές και πολλές απώλειες σε ανθρώπινες ζωές στην Καραϊβική και στις ανατολικές ακτές της Β. Αμερικής (Διακάκης, 2017a).....15
- Εικόνα 1.2.6: Φαινόμενο αστικής πλημμύρας στην Μάνδρα Αττικής κατά τη διάρκεια αυτής, το Νοέμβρη 2017. (Πηγή: <http://www.pappaspost.com/flash-flooding-western-athens-leaves-catastrophic-damage-almost-dozen-dead/gr>).....16
- Εικόνα 1.2.7: Φαινόμενο πλημμύρας από κορεσμό εδάφους σε γεωργικές εκτάσεις στο κάμπο της Κωπαΐδας, Νομός Βοιωτίας κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων τον Δεκέμβρη 2018. (Πηγή: <https://orchomenos-press.blogspot.com>).....17
- Εικόνα 1.3.1: Πλημμυρικός κίνδυνος και πλημμυρική επικινδυνότητα στο Ν. Λακωνίας (MichalisDiakakisetal., 2012; Fountoulisetal., 2008).....19
- Εικόνα 1.4.1: Σύνολο βροχοπτώσεων στη Νότια Πελοπόννησο (6 και 7 Σεπτεμβρίου). Δεξιά η ημερήσια κατανομή για το Γεράκι Λακωνίας (Andreidakis et al., 2017).....21
- Εικόνα 1.4.2: Η κοίτη του Μαριορέματος από τη δορυφορική εικόνα GoogleEarth (αριστερά) πριν από τη πλημμύρα και εικόνα λήψης UAV (δεξιά) μετά την πλημμύρα (Andreidakis et al., 2017).....22
- Εικόνα1.6.1: Εικονική απεικόνιση των λογισμικών προγραμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν.....24

Εικόνα 2.1.1	Χάρτης ερευνούσας περιοχής και διαδρομές ροών σε όλη την πλημμυρισμένη περιοχή.....	12
Εικόνα 2.2.1.1:	Προετοιμασία και πτήση μη επανδρωμένου οχήματος.....	28
Εικόνα 2.2.1.2:	Επιτόπια έρευνα και λήψη φωτογραφικού υλικού . Πάνω η κοίτη του Μαριορέματος καλυμμένη με αδρομερή υλικά από την πλημμύρα, και η δεξιά αναβαθμίδα με λεπτομερείς αποθέσεις στην είσοδο του μαιάνδρου. Κάτω: αντιδιαβρωτικός τοίχος προστασίας της καλλιέργειας στην αριστερή πλευρά της κοίτης ανάντι του μαιάνδρου.....	29
Εικόνα 2.2.1.3:	Επιτόπια έρευνα και λήψη φωτογραφικού υλικού . Πάνω η δεξιά αναβαθμίδα του Μαριορέματος στο σημείο της ιρλανδικής διαβασης του δρόμου από Μυρτιά (κατάντη του μαιάνδρου) με εναλλαγές αδρομερών και λεπτομερών υλικών από παλιότερα πλημμυρικά επεισόδια. Κάτω: η δεξιά όχθη του μαιάνδρου που υπέστη σημαντική υποχώρηση (διάβρωση) κατά το πλημμυρικό επεισόδιο του 2016.....	30
Εικόνα 2.3.1.	Εικόνα 2.3.1: Αρχικό ορθομωσαϊκό και αραιό μοντέλο ψηφιακής επιφάνειας (DSM) πριν την πύκνωση του νέφους σημείων.....	33
Εικόνα 2.3.2.	Ακολουθία βημάτων στην αρχική επεξεργασία εικόνων	34
Εικόνα 2.3.3:	Σχέδια πτήσης και θέσεις λήψης φωτογραφιών στην περιοχή μελέτης (αρχική επεξεργασία).....	34
Εικόνα 2.3.4:	Πάνω: αρχικές και διορθωμένες θέσεις λήψης εικόνας στο αρχικό νέφος σημείων. Κάτω: νέφος σημείων.....	35
Εικόνα 2.3.5:	Μωσαϊκό χωρίς σκίαση με πλέγμα τριγωνικών επιφανειών.....	36
Εικόνα 2.3.6	Δυνατότητα υψηλής ανάλυσης. Πάνω: μεγέθυνση του ορθομωσαϊκού σε επίπεδο παρατήρησης μορφολογικών μεταβολών (κόκκινο πλαίσιο: όριο υποχώρησης όχθης από διάβρωση, κίτρινο πλαίσιο: απόθεση ογκολίθου σε χώρο με αδρομερή υλικά). Κάτω: μεέθυνση του ορθομωσαϊκού σε απίπεδο παρατήρησης κοκκομετρίας: κόκκινο πλαίσιο).....	37
Εικόνα 2.3.7	DSMmodel ανάγλυφο (απεικόνιση με βάση το υψόμετρο).....	38
Εικόνα 2.3.8:	DTMmodel (εξομαλυμένο DSMmodel), το μοντέλο μας παρέχει επιπλέον πληροφορίες για αύλακες των αξόνων ροής και την διεύθυνση ροή τους.....	39
Εικόνα 2.3.9:	Απεικόνιση δυνατοτήτων του εργαλείου Volume.....	40
Εικόνα 2.4.1:	Χάραξη τομών κατά μήκος του ποταμού Μαριόρεμα Ν.Λακωνίας.....	42

Εικόνα 2.4.2. Επιλογή σημείων κλίσης.....	43
Εικόνα 2.4.3: Βοηθητικές απόψεις από video της επόμενης μέρας της πλημμύρας, για την διασταύρωση της ορθότητας επιλογής των σημείων με ίχνη πλημμύρας κατά μήκος του ποταμού.....	44
Εικόνα 2.4.4: Ίχνη πλημμύρας.....	45
Εικόνα 2.4.5: Απεικόνιση τελικής τομής στη περιοχή μελέτης και η διαδικασία export→excel.....	52
Εικόνα 2.4.6: Υπολογισμός παροχής αιχμής και τελικές τιμές.....	53
Εικόνα 2.7.1: Χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας για περίοδο επαναφοράς T ίση με 50 (πάνω) και 100 (κάτω) έτη (χωρική κατανομή μέγιστης ταχύτητας). Αριστερά: ολόκληρη η περιοχή, δεξιά: η περιοχή που μελετήθηκε στο παρόν (ΑΔΤ-ΩΜΕΓΑ ΑΤΕ et al., 2017). Το σκούρο κόκκινο χρώμα αντιστοιχεί σε μέγιστη ταχύτητα >5m/s.....	54

Κεφάλαιο 1. Πλημμύρες και νέες τεχνολογίες

1.1. Εισαγωγή

Πλημμύρα ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία, για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, περιοχές συνήθως στεγνές, καλύπτονται από νερό. Είναι φυσικό φαινόμενο και συμβαίνει όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο νερού που παράγεται. Τα πλημμυρικά φαινόμενα αποτελούν μέρος της φυσικής υδρολογικής διεργασίας, και συμβαίνουν όταν, κατά διαστήματα, μέρος του υδρογραφικού δικτύου δεν δύναται να αποστραγγίσει τον όγκο των υδάτων που απορρέουν με αποτέλεσμα να υπερχειλίζει και τα ύδατα αυτά να καταλαμβάνουν εφήμερα, τμήματα της χέρσου. Η εγκατάσταση ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε περιοχές που υπόκεινται σε πλημμύρες οδηγεί κατά περιόδους σε θανάτους και επιπτώσεις σημαντικής έκτασης. Τα πλημμυρικά φαινόμενα υπόκεινται στην επίδραση φυσικών γεωπεριβαλλοντικών μεταβολών όπως η ερημοποίηση, η σταδιακή μεταβολή της βλάστησης, οι δασικές πυρκαγιές και η μεταβολή κλιματικών παραμέτρων. Επιπρόσθετα, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι ανθρώπινες παρεμβάσεις, όπως η ανάπτυξη τεχνικών έργων, η επέκταση του αστικού ιστού και οι μεταβολές στις χρήσεις γης. Το πλημμυρικό πεδίο (floodplain) ενός ποταμού αποτελεί ένα φυσικό χαρακτηριστικό της κοιλάδας του, το οποίο μπορεί να προσδιοριστεί με μεγάλη ακρίβεια. Πρόκειται για την σχεδόν επίπεδη περιοχή που περιβάλλει το ποτάμι (Εικόνα 1.1). Ένα πλημμυρικό πεδίο αποτελείται από μία σειρά στρωμάτων που αποτέθηκαν από το ποτάμι όταν αυτό περιοδικά πλημμύριζε τις συνήθεις όχθες του. Στις ορεινές περιοχές όπου οι κοιλάδες είναι απότομες και στενές δεν παρατηρούνται πλημμυρικά πεδία, αλλά ένα μεγάλο σύνθετο σύστημα ρευμάτων που συγκλίνουν σε μία χαμηλή περιοχή, η οποία μπορεί να έχει πλημμυρικό πεδίο πλάτους εκατοντάδων χιλιομέτρων. Στα ποτάμια υπάρχει η φυσική τάση να αποθέτουν ιζήματα μέσα στην κοίτη τους κατά τις περιόδους χαμηλής ροής, έτσι ώστε να εγκατασταθεί μία ισορροπία εκεί όπου το ποτάμι γεμίζει άνετα την κύρια κοίτη του κάτω από συνήθεις συνθήκες. Επομένως, το ποτάμι αυτομάτως θα απλωθεί στο πλημμυρικό πεδίο κατά τις περιόδους όπου παρουσιάζει υψηλή ροή. Με άλλα λόγια, τα πλημμυρικά πεδία έχουν δημιουργηθεί από αλληπάλληλα πλημμυρικά επεισόδια (Διακάκης, 2017a).



Εικόνα 1.1 Πλημμυρικό πεδίο στην περιοχή μελέτης αμέσως μετά την πλημμύρα (Σεπτέμβριος 2016). Ο χείμαρρος Μαριόρεμα και ο οικισμός Βλαχιώτης στο βάθος, άποψη προς Ν.

1.2. Το πρόβλημα των πλημμυρών

Οι πλημμύρες αποτελούν μια από τις πιο σημαντικές κατηγορίες φυσικών καταστροφών. Η έκθεση της ανθρώπινης ζωής και περιουσίας σε κίνδυνο, η καταστροφή έργων υποδομής, χώρων κατοικίας, βιομηχανικής και γεωργικής δραστηριότητας, η μόλυνση υδατικών μαζών και γενικά η διατάραξη της ομαλής κοινωνικής ζωής είναι μερικές από τις πιο σημαντικές επιπτώσεις τους (Διακάκης, 2017b). Ετησίως, περίπου 520 εκ. άνθρωποι παγκοσμίως επηρεάζονται από κάποιο πλημμυρικό γεγονός, ενώ οι απώλειες σε ανθρώπινες ζωές λόγω πλημμυρών ανέρχονται κάθε χρόνο σε 25.000. Επιπροσθέτως, η παγκόσμια οικονομία υφίσταται κάθε χρόνο ζημιά που ανέρχεται σε 50 - 60 δισεκατομμύρια δολάρια. Το 2012 οι οικονομικές απώλειες από πλημμύρες ήταν πάνω από 19 δισεκατομμύρια \$ και αυξάνονται ετησίως, ενώ οι προβλέψεις εκτιμούν πληθυσμό 169 εκατομμυρίων ατόμων εκτεθειμένο σε πλημμύρες και ΑΕΠ εκτεθειμένο σε πλημμύρες της τάξεως των 1,38 τρισεκατομμυρίων δολαρίων παγκοσμίως (Ward et al., 2013).

Μόνο για την περιοχή της Ευρώπης, οι προβλέψεις με βάση τη μοντελοποίηση του κινδύνου στη βάση της αναμενόμενης αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 1.5 ως 3 °C, δείχνουν κόστος των ζημιών από ποτάμια πλημμύρες, ανάλογα με το μοντέλο και το σενάριο, από 5 έως 26 δισεκατομμύρια € και έκθεση πληθυσμού στον κίνδυνο από 200.000 έως 991.000 ατόμων ετησίως (Alfieri, Dottori, Betts, Salamon, & Feyen, 2018).

Υπάρχουν όμως και οφέλη που συνδέονται με αυτό το φυσικό φαινόμενο, το οποίο συμβάλλει στη βιοποικιλότητα και τη βιωσιμότητα των οικοσυστημάτων αλλά και σε πολλές ανθρώπινες

δραστηριότητες. Τόσο οι ανεπτυγμένες, όσο και οι υπό ανάπτυξη χώρες έχουν αποκομίσει και συνεχίζουν να αποκομίζουν οικονομικά οφέλη και να στηρίζουν σε μεγάλο βαθμό την οικονομική τους ευημερία σε περιοχές όπου οι πλημμύρες αποτελούν συχνό φαινόμενο(Διακάκης, 2017a). Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά οι πλημμύρες διακρίνονται σε ποτάμιες πλημμύρες (Riverine ή Fluvialfloods), Ξαφνικές πλημμύρες (FlashFloods), Πλημμύρες λόγω αστοχίας φραγμάτων ή αναχωμάτων, Παράκτιες πλημμύρες, Αστικές πλημμύρες, και Πλημμύρες από κορεσμό του εδάφους (groundwaterfloods).

Ποτάμιεςπλημμύρες (Riverine ή fluvial Floods)

Συμβαίνουν όταν ύστερα από εκτεταμένες βροχοπτώσεις και μεταφορά ιζημάτων προκαλείται άνοδος της στάθμης στο ποτάμιο σύστημα και τελικά υπερχείλιση. Το χαρακτηριστικό των ποτάμιων πλημμυρών είναι ότι καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις (Εικόνα 1.1.1). Συνήθως το φαινόμενο εξελίσσεται με αργούς ρυθμούς, με αποτέλεσμα να υπάρχει ικανός χρόνος για λήψη μέτρων(Διακάκης, 2017a).



Εικόνα 1.2.1: Υπερχείλιση του ποταμού Αχέροντα το Δεκέμβρη 2017.(Πηγή:www.24wro.com.gr/)<http://24wro.com.gr/1389394/prebeza-apisteutes-eikones-apo-thn-upercheilish-tou-potamou-acheronta-binteo-apo-drone/>.

Ξαφνικές πλημμύρες (FlashFloods)

Πλημμύρες που εξελίσσονται ραγδαία σε μικρό χρονικό διάστημα, αφήνοντας πολύ μικρά περιθώρια αντίδρασης για την αποφυγή ανθρώπινων απωλειών και υλικών ζημιών. Συχνά συνοδεύονται και από έντονες λασπορροές, οι οποίες αυξάνουν τον κίνδυνο ζημιών και απωλειών. Συνήθως η κυρίαρχη αιτία είναι βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης και ραγδαιότητας. (Flash Floods_ Forecasting and Warning). Αυτός ο τύπος πλημμύρας είναι ο συνηθέστερος στις περιοχές της Μεσογείου και της Ελλάδας (Εικόνα 1.1.2), ενώ σε αυτόν τον τύπο πλημμυρών οφείλονται οι περισσότεροι θάνατοι(Διακάκης, 2017a).



Εικόνα 1.2.2: Επιπτώσεις στον αστικό ιστό της Μάνδρας Αττικής, από υπερχειλίση των ρεμάτων Σούρες και Αγία Αικατερίνη, στη Δυτική Αττική το Νοέμβριο 2017(Πηγή: <https://goo.gl/images/eqMXEZ>)

Πλημμύρες λόγω αστοχίας φραγμάτων ή αναχωμάτων

Συμβαίνουν όταν αστοχούν φράγματα ή αναχώματα που συγκρατούν μεγάλους όγκους νερού. Χαρακτηριστικό τους είναι η πολύ υψηλή ταχύτητα εξέλιξης του φαινομένου, η οποία σταδιακά όμως μειώνεται με την πάροδο της ώρας και με την αύξηση της πλημμυρισμένης έκτασης. Κατά τη διάρκειά τους επικρατούν εξαιρετικά επικίνδυνες συνθήκες για ανθρώπους και ιδιοκτησίες.



Εικόνα 1.2.3: Κατάρρευση φράγματος από πλημμυρικά ύδατα στην Νότια Κορέα (Λίμνη Άνω Ρόκφορντ) στις 5 Οκτωβρίου 2015 (πηγή: www.waterarchives.org).



Εικόνα 1.2.4: Αστοχία αντιπλημμυρικού αναχώματος ανατολικά του Ευρώτα κατά τις πλημμύρες του Σεπτεμβρίου 2016 (περιοχή Ταξιάρχες).

Παράκτιες πλημμύρες

Συμβαίνουν κατά τη διάρκεια ισχυρών καταιγίδων. Οι ισχυροί άνεμοι προκαλούν άνοδο της στάθμης της θάλασσας στις παράκτιες περιοχές, καθώς και κύματα μεγάλου ύψους. Η κατάκλιση των παράκτιων περιοχών ξεκινά με την εισχώρηση των κυμάτων στη χέρσο, ενώ η ταχύτητα επέκτασης της πλημμύρας είναι υψηλή.



Εικόνα1.2.5: Εισχώρηση κυμάτων σε παράκτια περιοχή στο Ν. Jersey των ΗΠΑ, λόγω των ισχυρών ανέμων του τυφώνα Sandy, στις 29 Οκτωβρίου 2012 (Πηγή: <http://www.climatecentral.org>). Ο τυφώνας προκάλεσε τεράστιες υλικές καταστροφές και πολλές απώλειες σε ανθρώπινες ζωές στην Καραϊβική και στις ανατολικές ακτές της Β. Αμερικής (Διακάκης, 2017α).

Μετά το πέρας των καταιγίδων δημιουργούνται περιοχές με στάσιμα νερά πίσω από την ακτογραμμή, ενώ λόγω της εισχώρησης θαλασσινού νερού παρατηρείται συχνά το φαινόμενο της αλάτωσης εδαφών(Διακάκης, 2017α).

Αστικές Πλημμύρες

Η κάλυψη του εδάφους με αδιαπέρατα υλικά στις αστικές περιοχές μειώνει δραματικά το ποσοστό κατείσδυσης, με αποτέλεσμα το νερό να αποστραγγίζεται μόνο μέσω του υπάρχοντος δικτύου αποστράγγισης. Όταν η παροχή ξεπερνά τη χωρητικότητα του δικτύου το νερό ρέει επιφανειακά. Οι αστικές πλημμύρες εξαπλώνονται με γοργούς ρυθμούς, προκαλώντας σημαντικές καταστροφές σε περιουσίες και υποδομές, ενώ επηρεάζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τις καθημερινές δραστηριότητες(Διακάκης, 2017α).



Εικόνα 1.2.6: Φαινόμενο αστικής πλημμύρας στην Μάνδρα Αττικής κατά τη διάρκεια αυτής, το Νοέμβρη 2017.
(Πηγή: <http://www.pappaspost.com/flash-flooding-western-athens-leaves-catastrophic-damage-almost-dozen-dead/gr>)

Πλημμύρες από κορεσμό του εδάφους (groundwaterfloods)

Συμβαίνουν σε επίπεδες περιοχές όπου το νερό της βροχής δεν αποστραγγίζεται σε ικανό βαθμό, με αποτέλεσμα να παραμένει σχηματίζοντας μικρές λίμνες. Ουσιαστικά ο μηχανισμός γένεσης ομοιάζει με τις αστικές πλημμύρες, με τη διαφορά ότι οι εν λόγω πλημμύρες εκδηλώνονται εκτός αστικού περιβάλλοντος. Λόγω της πολύ μικρής ταχύτητας εξάπλωσής τους, δεν αποτελούν απειλή για τις ανθρώπινες ζωές αλλά δημιουργούν προβλήματα στις καθημερινές δραστηριότητες, ενώ μπορούν να προκαλέσουν καταστροφές σε περιουσίες και υποδομές(Διακάκης, 2017α).



Εικόνα 1.2.7: Φαινόμενο πλημμύρας από κορεσμό εδάφους σε γεωργικές εκτάσεις στο κάμπο της Κωπαΐδας, Νομός Βοιωτίας κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων τον Δεκέμβρη 2018. (Πηγή: <https://orchomenos-press.blogspot.com>)

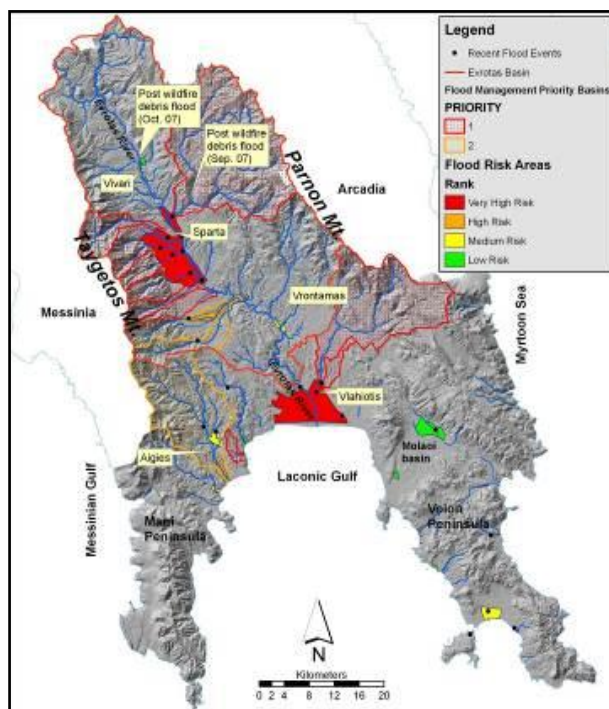
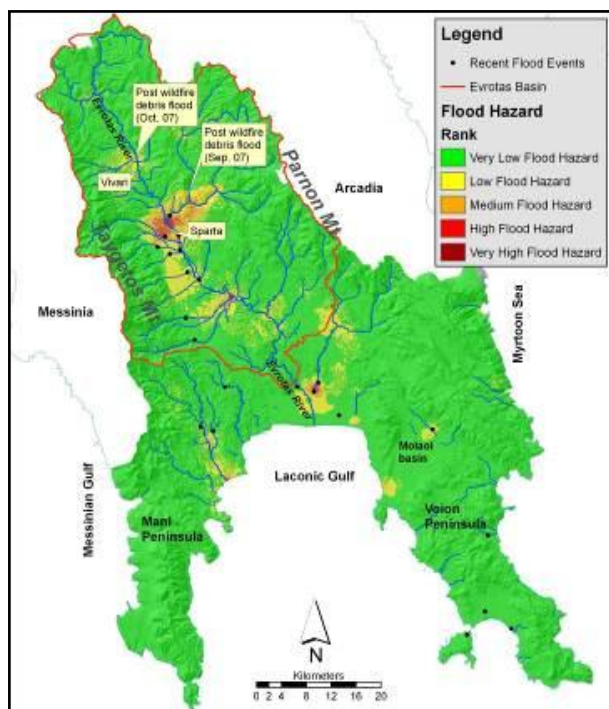
1.3. Πλημμυρικός κίνδυνος στη Λακωνία

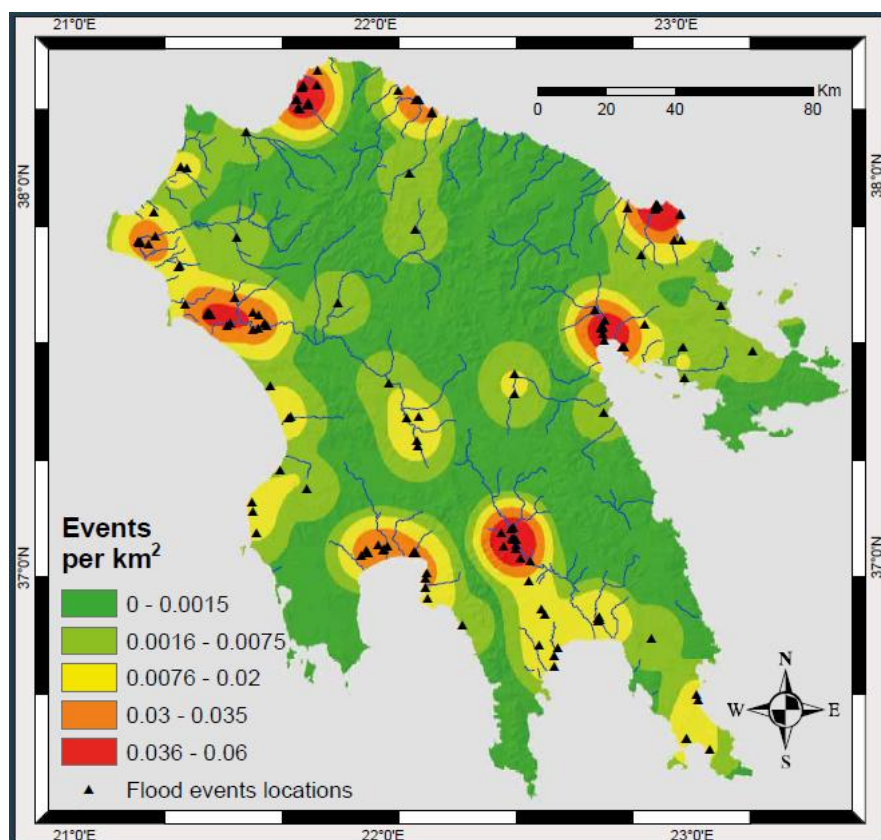
Το πρόβλημα των πλημμυρών γίνεται όλο και πιο σημαντικό ζήτημα στην περιοχή της Μεσογείου καθώς ο πληθυσμός επεκτείνεται στους ποταμούς δέλτα και στις παράκτιες περιοχές που υπόκεινται σε πλημμύρες κυρίως από μικρά ποτάμια και εφήμερες ορεινές χείμαρρες. Στην Ελλάδα, η τακτική καταγραφή των πλημμυρών από τις υπηρεσίες πολιτικής προστασίας άρχισε πρόσφατα, περιορίζοντας τα συστηματικά επίσημα αρχεία στις τελευταίες δύο δεκαετίες. Ωστόσο, λόγω του γεγονότος ότι η αναφορά των πλημμυρών σχετίζεται με τις ζημιές που προκαλούνται, η αύξηση των γεγονότων αποτελεί μέτρο αύξησης των ζημιών και των ιδιοτήτων που διατρέχουν κίνδυνο, γεγονός που υποδηλώνει αύξηση της πλημμύρας επηρεάζει τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι υπάρχει μια επιδείνωση της τάσης του προβλήματος των πλημμυρών στην Ελλάδα και η ανάγκη βελτίωσης του σημερινού σχεδιασμού χρήσης γης (Michalis Diakakis, Mavroulis, & Deligiannakis, 2012). Οι πλημμύρες αποτελούν ένα φυσικό φαινόμενο για την περιοχή έρευνας. Όπως μαρτυρούν τα γεωμορφολογικά και στρωματογραφικά στοιχεία που προέρχονται από τη μελέτη των μεταλπικών γεωμορφών και ιζημάτων, οι πλημμύρες είναι διαχρονικό φαινόμενο στην περιοχή, πριν και κατά τη διάρκεια της παρουσίας του ανθρώπου στη Λακωνία. Τα πλειο-τεταρτογενή ριπίδια στο δυτικό περιθώριο του Πάρωνα (Πανάγος, Πη, & Κοντόπουλος, 1976), τα πλειστοκαινικά – ολοκαινικά ριπίδια των ανατολικών περιθωρίων του Ταυγέτου και οι πλειστοκαινικές και ολοκαινικές αναβαθμίδες του Ευρώτα (Pope & Millington, 2000;

Riedl, 1976) αποδεικνύουν από πόσο παλιά και μέχρι πόσο πρόσφατα οι πλημμύρες έχουν διαμορφώσει το τοπίο. Παρά την αυξανόμενη ανθρώπινη επίδραση (μέσω κυρίως της μεταβολής των χρήσεων γης) τους ιστορικούς χρόνους (Pore, Wilkinson, & Millington, 2003), η κινητήρια δύναμη της εμφάνισης πλημμυρών σε συγκεκριμένες περιοχές παραμένει εκτός της ανθρώπινης κλίμακας. Αυτό αποδεικνύεται από το γεγονός ότι κατά τη μελέτη της πλημμυρικής επικινδυνότητας της περιοχής (Fountoulis et al., 2008; Μαριολάκος, Φουντούλης, Ανδρεαδάκης, Σαμπαζιώτης, Καπουράνη, et al., 2007), η επεξεργασία των καθαρά μορφομετρικών παραγόντων και μόνο υποδεικνύει ως πλέον επικίνδυνες τις περιοχές που ακόμα και τα τελευταία χρόνια έχουν παρατηρηθεί επαναλαμβανόμενα πλημμυρικά φαινόμενα, αλλά και συσσωρεύονται τα περισσότερα ολοκαινικά ιζήματα.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς αυτούς, οι πλέον επικίνδυνες περιοχές για την εκδήλωση πλημμύρας είναι το βόρειο τμήμα της λεκάνης της Σπάρτης, δηλαδή η ευρύτερη περιοχή της συμβολής του Οινούντα (Πάρνωνας) και της Μαγουλίτσας (Ταυγέτος) με τον Ευρώτα, το νότιο άκρο της λεκάνης (περιοχή συμβολής Ρασίνας με τον Ευρώτα) και η περιοχή Βλαχιώτη – Έλους (εκβολή του Μαριορέματος στο Έλος), ενώ αυξημένη επικινδυνότητα παρουσιάζουν οι κλάδοι στα ριπίδια του Ταυγέτου, η περιοχή νότια του Βρονταμά, οι Αιγιές και η εκβολή του Σμήνου, όπως και η λεκάνη των Μολάων.

Η περιοχή της Λακωνίας είναι μια από τις πρώτες χαρτογραφημένες περιοχές της Ελλάδας για τον πλημμυρικό κίνδυνο με τον υψηλότερο κίνδυνο πλημμύρας στο βόρειο λεκανοπέδιο της Σπάρτης και στο δέλτα του Ευρώτα.





Εικόνα 1.3.1: Πλημμυρικός κίνδυνος και πλημμυρική επικινδυνότητα στο Ν. Λακωνίας (MichalisDiakakisetal., 2012; Fountoulisetal., 2008).

Η λιθοστρωματογραφική και η τεκτονική παραμόρφωση της περιοχής οριοθετούν τους πιθανούς υδροφορείς ενώ οι συνθήκες τροφοδοσίας και επιφανειακής και υπόγειας αποστράγγισης, καθορίζουν την ανάπτυξή τους (Ανδρεαδάκης, 2007). Στη γεωλογική δομή της περιοχής εμφανίζονται μεταλπικοί σχηματισμοί (χαλαρές ολοκαινικές αποθέσεις, πλειοτεταρτογενείς αποθέσεις χερσαίας, ποταμολιμναίας-λιμναίας φάσης) όπως και αλπικοί σχηματισμοί (κλαστικοί, ανθρακικοί και ηφαιστειακοί) (Ανδρεαδάκης, 2007). Η γεωδυναμική εξέλιξη της περιοχής της λεκάνης του Ευρώτα ποταμού και κατ' επέκταση και του Λακωνικού κόλπου, μαζί με τις πρόσφατες τεκτονικές κινήσεις και τη σημερινή κινηματική του χώρου, ρυθμίζουν εν πολλοίς τις υδρογεωλογικές συνθήκες σε ένα χώρο που, όπως είναι γνωστό, υποφέρει από έλλειψη νερού (ή/και από κακή διαχείριση των υδατικών πόρων). Το πάχος και η κοκκομετρία των σχηματισμών ή η γεωμετρία των ασυνεχειών, η επιφανειακή και υπόγεια τροφοδοσία, οι άξονες αποστράγγισης των υδροφόρων, κ.λπ. έχουν διαμορφωθεί και διαμορφώνονται από το συνδυασμό των υδρομετεωρολογικών – κλιματικών συνθηκών με τη γεωδυναμική εξέλιξη του χώρου, η οποία ρυθμίζει άμεσα παράγοντες όπως η σχετική ταχύτητα και η κινηματική των τεκτονικών τεμαχίων του αλπικού υποβάθρου, η φύση, η γεωμετρία και τα άλματα των ρηγμάτων, οι ρυθμοί ανύψωσης και διάβρωσης, το υδρογραφικό δίκτυο, οι μορφολογικές κλίσεις και οι υδρολογικές και υδρογεωλογικές λεκάνες, η επικοινωνία ή απομόνωση των καρστικών σχηματισμών (Ανδρεαδάκης, 2007).

1.4. Πλημμυρικό επεισόδιο του 2016

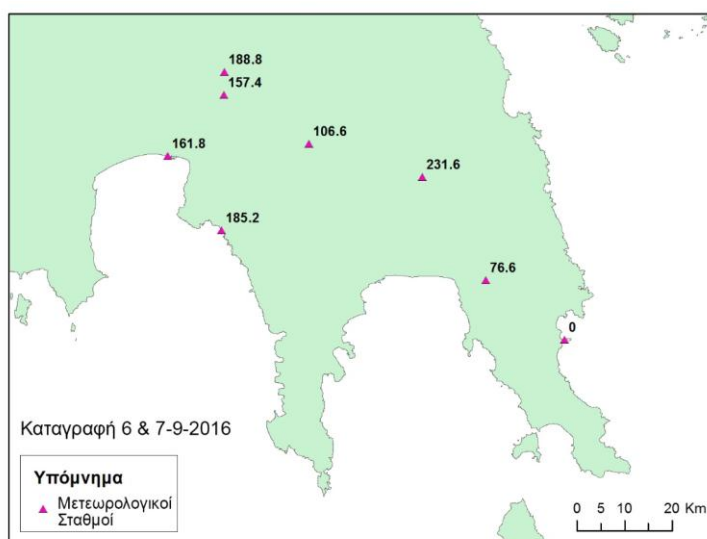
Στις 6 Σεπτεμβρίου 2016, έντονα κατακρημνίσματα έπληξαν την Δυτική Ελλάδα με έντονες επιπτώσεις και πλημμύρες στη Μεσσηνία και στις 7 Σεπτέμβρη οι καταιγίδες έπληξαν τη Λακωνία.

Σύμφωνα με καθιερωμένους ορισμούς(Stephenson, 2008)ακραία θεωρούνται τα φαινόμενα που παρουσιάζουν ακραίες τιμές σε κάποιες σημαντικές μετεωρολογικές μεταβλητές. Οι ζημιές προκαλούνται συχνά από ακραίες τιμές μεταβλητών όπως μεγάλες τιμές κατακρημνισμάτων (π.χ. πλημμύρες), υψηλές ταχύτητες ανέμων (π.χ. κυκλώνες) ή υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. καύσωνες).

Το ακραίο γενικά ορίζεται είτε ως μέγιστη τιμή είτε ως υπερβαίνουσα προηγούμενα κατώφλια. Τα ακραία φαινόμενα έχουν γενικά χαρακτηριστικά που περιλαμβάνουν:

- συχνότητα (πιθανότητα στη μονάδα του χρόνου) εμφάνισης
- μέγεθος (ένταση)
- χρονική διάρκεια και χρονισμό
- χωρική κλίμακα (αποτύπωμα)
- πολυπαραμετρικές εξαρτήσεις

Ηπλημμύρα του 2016 στην περιοχή Σκάλας, Έλους, Βλαχιώτη της Λακωνίας προκλήθηκε από δυο επεισόδια βροχόπτωσης μέσα σε 8 ώρες. Το πρώτο επεισόδιο διάρκειας μιας ώρας παρουσίασε βροχόπτωση 60 mm(δηλαδή ραγδαιότητα60mm/h) ενώ το δεύτερο, και πάλι διάρκειας μιας ώρας, ύψος βροχής 140mm(δηλαδή ένταση 140mm/h), όπως μετρήθηκε στο σταθμό στο Γεράκι (Andreadakis, Karourani, Diakakis, Paraspygopoulos, & Filis, 2017). Καταρχάς αυτά τα ύψη βροχής είναι μεγαλύτερα από το μέσο μηνιαίο ύψος βροχής για όλους τους μήνες, ενώ το αθροιστικό ύψος βροχής 24 ώρου είναι επίσης πολύ υψηλό (200mm)ξεπερνά το 30% των ετήσιων βροχοπτώσεων. Επιπλέον, αυτή η ένταση και διάρκεια είναι χαρακτηριστικές στην πρόκληση ξαφικών πλημμυρών και ρών κορημάτων, (για διάρκεια 1 ώρας ένταση πάνω από 100 mmδίνει σχεδόν σίγουρα ξαφνική πλημμύρα ή/και ρή κορημάτων στη λεκάνη (Crosta & Frattini, 2001)).



Εικόνα 1.4.1: Σύνολο βροχοπτώσεων στη Νότια Πελοπόννησο (6 και 7 Σεπτεμβρίου). Δεξιά η ημερήσια κατανομή για το Γεράκι Λακωνίας(Andreidakis et al., 2017).

Με βάση τα παραπάνω μπορεί να θεωρηθεί ότι το συγκεκριμένο επεισόδιο κατατάσσεται στα ακραία φαινόμενα, τουλάχιστον από την άποψη των μεγεθών και της συχνότητας (είναι και σπάνιο), αλλά όπως φαίνεται και από τους χάρτες της πλημμύρας, και από την άποψη του αποτυπώματος.

Οι ξαφνικές πλημμύρες δημιουργούν μεγάλους κινδύνους και ενίοτε περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα ποτάμια συστήματα, ειδικά όταν εμφανίζονται σε μικρές λεκάνες απορροής και η απορροή συγκεντρώνεται γρήγορα και κατά μήκος στενών οδών ροής, με αποτέλεσμα να γίνεται η αποστράγγιση σε ελάχιστο χρόνο. Με χαρακτηριστικό τη μεγάλη μέση κλίση λεκάνης και τους μικρούς χρόνους συγκέντρωσης, κλάδοι με υψηλή χειμαρρικήτητα είναι, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες, δυνητικά επικίνδυνοι για τέτοιου είδους φαινόμενα. Στις 7 Σεπτέμβρη 2016, έντονη βροχόπτωση στο Δήμο Ευρώτα της Περιφέρειας Πελοποννήσου είχε σαν αποτέλεσμα να πλημμυρίσουν τα χωριά Μυρτιά, Βλαχιώτη και Σκάλα του δήμου, και να εκδηλωθούν μεγάλες καταστροφές στο οικιστικό περιβάλλον, ενώ

στον οικισμό Βλαχιώτη ένας άνθρωπος έχασε τη ζωή του. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μεγάλη εκδήλωση βροχοπτώσεων στις 6 και 7 Σεπτεμβρίου 2017 έπληξε όλη την νοτιοανατολική Πελοπόννησο. Στα νότια του ποταμού Ευρώτα το φαινόμενο ήταν πιο έντονο και μάλιστα στην σύνθετη πλημμύρα ανάμεσα στις περιοχές Σκάλα και Βλαχιώτη του Νομού Λακωνίας. Ακραίες τιμές βροχοπτώσεων σημειώθηκαν κυρίως στο νοτιοανατολικό τμήμα του Πάρνωνα, προκαλώντας την πλημμύρα των παραποτάμων και της κύριας κοίτης του Ευρώτα. Στο Μαριόρεμα, όπου είναι και η περιοχή μελέτης, η πλημμύρα προκάλεσε επιπλέον πίεση στο ανατολικό τμήμα της κοίτης μεταξύ των χωριών Σκάλα και Βλαχιώτη, όπου διάβρωσε την ποτάμια αναβαθμίδα, έσπασε αναχώματα και οδικό δίκτυο κατά μήκος του ποταμού, σημεία τα οποία αναλύουμε στην συνέχεια του κειμένου (Andreadakis et al., 2017).



Εικόνα 1.4.2: Η κοίτη του Μαριόρεματος από τη δορυφορική εικόνα GoogleEarth (αριστερά) πριν από τη πλημμύρα και εικόνα λήψης UAV (δεξιά) μετά την πλημμύρα (Andreadakis et al., 2017).

1.5. Νέες τεχνολογίες στη μεταπλημμυρική έρευνα (drone)

Οι ανάγκες λεπτομερούς χαρτογράφησης και η παρακολούθηση της εξέλιξης καταστροφικών φαινομένων και περιβαλλοντικών κρίσεων έχουν καταστήσει ιδιαίτερα χρήσιμες τις σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές, όπως η χρήση μη επανδρωμένων οχημάτων τεχνολογίας UAV, τα οποία έχουν τη δυνατότητα γρήγορης συλλογής φωτογραφιών μεγάλης ανάλυσης, και υποστηρίζονται από πολύ ανεπτυγμένα λογισμικά επεξεργασίας των δεδομένων, με εφαρμογές στη φωτογραμμετρία, τη χαρτογράφηση και την τρισδιάστατη μοντελοποίηση.

Η χρήση των συγκεκριμένων τεχνολογιών έχει ήδη εφαρμοστεί στην δασοκομία και στη γεωργία αλλά και για τη παρακολούθηση της τοπογραφίας και της βλάστησης των ποταμών (Ouedraogo, Degré, Debouche, & Lisein, 2014; Sylvester, 2018; Watanabe & Kawahara, 2016).

Τα μη επανδρωμένα οχήματα UAV έχουν την δυνατότητα να λαμβάνουν πληροφορία σχετικά με την επιφάνεια της γης σε επικίνδυνες και ίσως δύσβατες περιοχές και στη συνέχεια να μετατρέπουν την εικονική λήψη σε ποσοτική και ποιοτική ανάλυση δεδομένων (Perks, 2016).

Η γεωμορφολογική χαρτογράφηση απαιτεί τη συλλογή πρωτογενούς δεδομένων της γήινης επιφάνειας και εξαρτάται από την κλίμακα και τις μεταβολές στα χαρακτηριστικά του αντικειμένου που μελετήθηκε. Η ταυτοποίηση της μορφής της γης βασίζεται κανονικά στο πλαίσιο ταξινόμησης αντικειμένων χρησιμοποιώντας την εργασία πεδίου και τα τηλεπισκοπικά δεδομένα με υψηλή χρονική και χωρική προσβασιμότητα, ευελιξία και ακρίβεια. Αυτή η μεθοδολογία παρέχει ένα πολύ ισχυρό εργαλείο για τη χαρτογράφηση του εδάφους.

Η μορφολογία του ποταμού είναι μία από τις πιο δυναμικές οντότητες, και ως εκ τούτου είναι απαραίτητο για τη χαρτογράφηση του να δημιουργηθεί το ακριβές σύνολο δεδομένων και η τοπογραφία που απαιτείται για τη σύνδεση διεργασιών, μοτίβων και χωροχρονικών ογκομετρικών αλλαγών. Έτσι, οι τεχνικές τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με την επιτόπια έρευνα παρέχουν τη βασική πηγή πληροφοριών στη σύγχρονη γεωμορφολογία των ποταμών (Rusnák, Sládek, Kidoná, & Lehotský, 2018). Χρησιμοποιούνται πλέον στη χάραξη του ορίου πλημμύρας και τη χαρτογράφηση της κατακλυσθείσας επιφάνειας (Spyrou et al., 2018; Woodget, Carbonneau, Visser, & Maddock, 2015), των φυσικών μεγεθών της πλημμύρας (Smith, Carrivick, Hooke, & Kirkby, 2014) και την αποτίμηση ζημιών και επιπτώσεων (Lessard-Fontaine, Alschner, & Soesilo, 2016), καθώς και στη διαχείριση της ανθρωπιστικής βοήθειας (Alschner, DuPlessis, & Soesilo, 2013).

Την τελευταία δεκαετία σημειώθηκε ταχεία ανάπτυξη της χρήσης και ικανότητα των μη επανδρωμένων αερίων οχημάτων (UAV) για την απόκτηση χωρικών πληροφοριών εδάφους και διάφορες πλατφόρμες UAV χρησιμοποιούνται στην έρευνα πεδίου.

Το φέλιμο φορτίο της ψηφιακής κάμερας χρησιμοποιείται συνήθως στην τεχνολογία UAV και η ανάπτυξη εμπορική ανοιχτού λογισμικού με εύκολη εφαρμογή και οι δαπανηρές πλατφόρμες επιτρέπουν τη υψηλή χρονική και χωρική ανάλυση της τοπογραφίας της αναπαράστασης και την παρακολούθηση (Rusnák et al., 2018). Οι πλημμύρες είναι ο συνηθέστερος τύπος φυσικής καταστροφής και προκαλεί χιλιάδες απώλειες στο κόσμο κάθε χρόνο. Ειδικότερα, τα γεγονότα από ξαφνικές πλημμύρες είναι ιδιαίτερα θανατηφόρα διότι συνήθως έχουν μεγάλο όγκο απορροής με μικρή διάρκεια. Οι κλασικές λύσεις ανίχνευσης, ή οι δορυφορικές εικόνες είναι δαπανηρές και ενίοτε ανακριβείς ή μη διαθέσιμες για τη μελέτη ενός τέτοιου φαινομένου. Τα μη επανδρωμένα αερία οχήματα (UAV) συμπληρώνουν τα κενά μεταξύ παρατηρήσεων που έχουν σε σχέση με το έδαφος και βελτιώνουν τη χωρική ανάλυση και κάλυψη της απόκτησης δεδομένων. Με τα UAV έχουμε την δυνατότητα παρατηρήσεων και πρόσβασης στην επιφάνεια εδάφους κατά τη διάρκεια εξέλιξης του φαινομένου επιτρέποντας την εξ αποστάσεως πρόσβαση στη κρίση (Abdelkader et al., 2014). Τα UAV στην φωτογραμμετρία έχει αποδείξει ότι το DSM αναπαράγει και αποτυπώνει πολύ καλά το έδαφος με μέγιστο σφάλμα μερικών εκατοστομέτρων πάνω από μία πλημμύρα όπου το ύψος και η πυκνότητα της βλάστησης είναι χαμηλά, όπως επίσης συμβάλει ευλόγως στην πυκνή βλάστηση πάνω από αμμοχάλικες (Watanabe & Kawahara, 2016).

Επίσης είναι πολύ ταχέως αναπτυσσόμενη η χαρτογράφηση γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών και μεταβολών με τη χρήση UAV, σε περιπτώσεις πλημμυρών, κατολισθήσεων, ροών κορημάτων κ.λπ. (Claryt, Vanacker, & Van Oost, 2016; Cook, 2017; de Haas, Ventra, Carbonneau, & Kleinhaus,

2014) και η εφαρμογή στον ευρύτερο χώρο των γεωεπιστημών (Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey, & Reynolds, 2012) και της διαχείρισης φυσικών κινδύνων (Giordan, Hayakawa, Nex, Remondino, & Tarolli, 2017).

Η παρούσα εργασία στοχεύει στην αξιολόγηση και μοντελοποίηση παροχής αιχμής στο πλημμυρικό φαινόμενο στο Μαριόρεμα, Ν. Λακωνίας, τον Σεπτέμβριο 2016 με τη χρήση μη επανδρωμένου οχήματος (Andreadakis et al., 2017).

1.6. Στόχος και περιγραφή της παρούσας εργασίας

Στόχος της παρούσας έρευνα ήταν η μοντελοποίηση της παροχής αιχμής με τη χρήση UAV στο χείμαρρο Μαριόρεμα με αφορμή (και με μελέτη περίπτωσης) το πλημμυρικό φαινόμενο του Σεπτεμβρίου 2016. Σε πρώτο στάδιο, έγινε η αρχική συλλογή δεδομένων για το φαινόμενο και το χώρο, και οριοθετήθηκε η περιοχή μελέτης, στην οποία θα γινόταν η μοντελοποίηση. Δεδομένου ότι ήταν ήδη χαρτογραφημένη η περιοχή πλημμύρας που προερχόταν από το Μαριόρεμα, επιλέχθηκε μια θέση στην οποία τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κοίτης του ρέματος και οι συνθήκες που αναπτύχθηκαν κατά την πλημμύρα να είναι σχετικά ευνοϊκές από πλευράς πλήθους στοιχείων και συμβατότητας με τις απαιτήσεις των υπολογισμών. Ο στόχος ήταν α) να γίνει χαρτογράφηση της μορφολογίας της κοίτης και των ιχνών της πλημμύρας σε τέτοια έκταση ώστε να είναι δυνατή η εκτέλεση υπολογισμών σε πολλαπλές θέσεις και β) να είναι χαρακτηριστικές για το φαινόμενο οι γεωμορφολογικές επιπτώσεις στο ίδιο το ρέμα, πριν το πλημμυρικό πεδίο.

Επιλέχθηκε η περιοχή του τελευταίου μαιάνδρου του ρέματος ανατολικά του οικισμού μυρτιά, μέχρι την ευθυγράμμισή του προς το πλημμυρικό πεδίο, όπου είναι σαφής η γεωμετρία της κοίτης και ξεκάθαρα τα γεωμορφολογικά φαινόμενα αλλά και τα ίχνη της πλημμύρας. Δευτερευόντως επιλέχθηκε και μια περιοχή κατάντη (δυτικά του Βλαχιώτη), η οποία όμως κατά την πλημμύρα είχε υπερχειλίσει πολύ νωρίτερα και συνεπώς δεν θα μπορούσε να γίνει μοντελοποίηση. Και στις δύο περιοχές έγινε πτήση φωτογραμμετρίας με τη χρήση μη επανδρωμένου οχήματος τεχνολογίας UAV με τη λήψη μεγάλου αριθμού εικόνων, ενώ παράλληλα έγινε επιτόπια έρευνα και συλλογή επιπλέον στοιχείων.

Στη συνέχεια μέσω του λογισμικού προγράμματος Pix4D δημιουργήθηκαν τρία παράγωγα υψηλής ανάλυσης (ορθομοσαϊκό-Mosaic, Ψηφιακό Μοντέλο Επιφανείας-DSM, Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου-DTM) τα οποία στη συνέχεια εισήχθησαν στο ArcMap περιβάλλον εργασίας όπου για τη χαρτογράφηση της τοπολογίας, τη γεωμορφολογία και των μεταβολών που υπέστησαν κατά την εξέλιξη του φαινομένου στην περιοχή μελέτης. Επιπλέον έγινε συλλογή φωτογραφικού υλικού από την επιτόπια έρευνα. Με εργαλεία του λογισμικού ArcMap ψηφιοποιήθηκαν η μισγάγγεια του ρέματος και αυλακώσεις αξόνων ροής. Χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο τα λεπτομερή τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους κατασκευάστηκαν τοπογραφικές τομές σε όλο το μήκος του μοντέλου. Με βάση κριτήρια που θα αναπτυχθούν στα επόμενα κεφάλαια, επιλέχθηκε η τελική διατομή από την οποία εξήχθησαν και τα στοιχεία που απαιτούνται (συντεταγμένες x,y,z των σημείων της διατομής, συντεταγμένες των ιχνών της πλημμύρας, συντεταγμένες των σημείων της κοίτης) υπολογίστηκε ο συντελεστής τραχύτητας της κοίτης κατά Manning, και στη συνέχεια εκτελέστηκε η μοντελοποίηση της ροής και υπολογίστηκαν η υδραυλική ακτίνα, οι ελάχιστες, πιθανότερες και μέγιστες τιμές για την ταχύτητα ροής, οι ελάχιστες, πιθανότερες και μέγιστες τιμές για την παροχή αιχμής με τη βοήθεια αλγορίθμου που παραχωρήθηκε από τον ο

LaurentBonnfait(Zanonetal., 2010)και η ομάδα του χρησιμοποιώντας τα υπολογιστικά φύλλα τουMicrosoftExcel. Στην συνέχεια ακολουθούν αναλυτικά τα βήματα και η μεθοδολογία της παρούσας έρευνας.

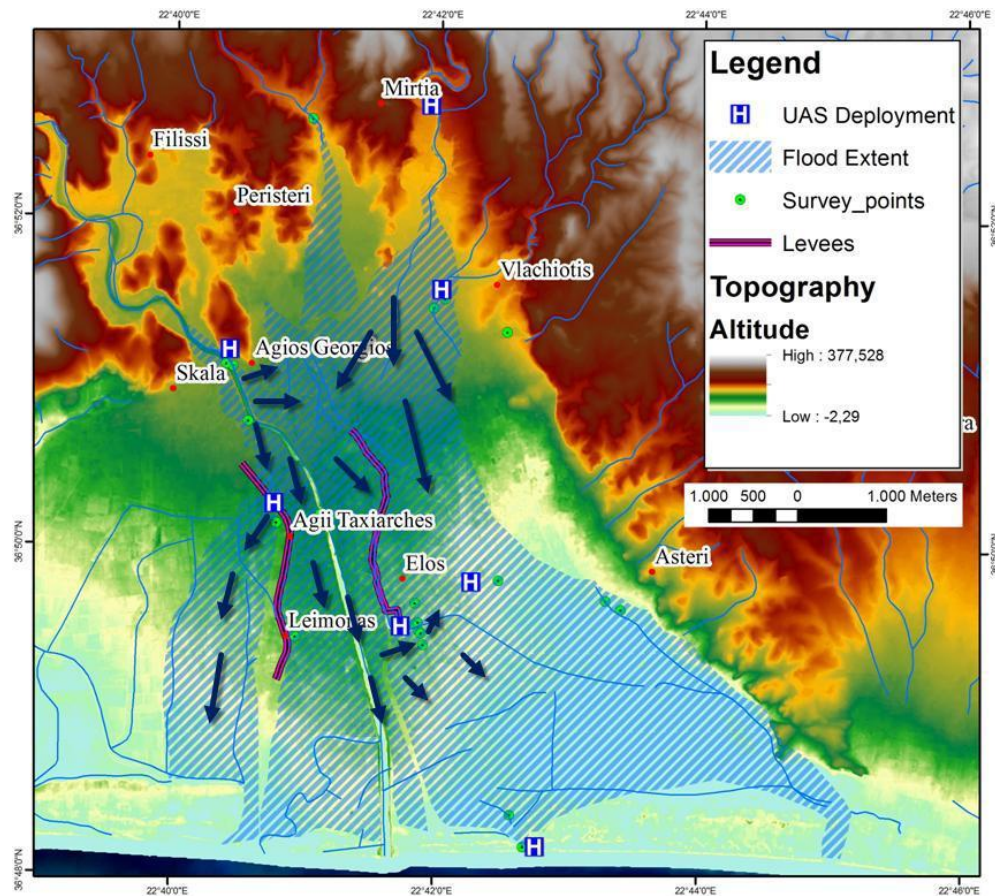


Εικόνα1.6.1: Εικονική απεικόνιση των λογισμικών προγραμμάτωνπου χρησιμοποιήθηκαν

Κεφάλαιο 2. Μεθοδολογία

2.1. Περιοχή μελέτης

Το Μαριόρεμα είναι ποταμός μη συνεχόμενης ροής, με κλειστό σύστημα και χωρίς εκβολή. Διασχίζει τη περιοχή ανάμεσα από τα χωριά Μυρτιά και Βλαχιώτη και σβήνει στην πεδινή περιοχή της Σκάλας. Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του ποταμού είναι ότι είναι χαμηλού μαιανδρισμού, αποτελείται κυρίως από λατύπες και κροκάλες στην πλειοψηφία κατά μήκος της κοίτης, υπάρχουν επίσης σημεία, όπου εμφανίζεται αργιλική άμμος, κυρίως σε σημεία απόθεσης της κοίτης. Τέλος, κατά μήκος του ρέματος περιβάλλεται από χαμηλή ή θαμνώδη βλάστηση και καλλιέργειες στις όχθες του ποταμού.



Εικόνα 2.1.1: Χάρτης περιοχής ενδιαφέροντος και διαδρομές ροών σε όλη την πλημμυρισμένη περιοχή του Σεπτεμβρίου του 2016 (Andreadakis et al., 2017).

2.2. Μεθοδολογία και εργαλεία

Βασικός στόχος της έρευνας ήταν ο υπολογισμός της παροχής αιχμής. Διάφοροι τρόποι προσεγγίζουν τη παροχή όπως: η μέτρηση με παρεμβολή μετρητών παροχής όπου παρεμβάλλονται στη ροή σε ειδικά τμήματα όπως υπερχειλιστές και στενώσεις και εκτιμάται με υδραυλικές σχέσεις. Επιπλέον, με μετρήσεις πεδίου ταχυτήτων και το εμβαδόν της υγρής διατομής. Με τη μέθοδο διαλυμάτων, όπου διαχέεται ένας δείκτης εύκολα ανιχνεύσιμος και αναλύεται δείγμα σε μια κατάντη διατομή. Με πλωτήρες, μια χονδροειδής μέθοδος που στηρίζεται στη μέτρηση της ταχύτητας ενός πλωτού αντικειμένου. Τέλος εκτίμηση με υδραυλικές σχέσεις, σχέση του Manning και σχέση του Chezy (Λουκάς, n.d.). Στη περιοχή μελέτης η προσέγγιση της παροχής αιχμής έγινε χρησιμοποιώντας τη υδραυλική σχέση ροής του Manning και τον συντελεστή τραχύτητας. Λόγω της απλότητας της μορφής και των ικανοποιητικών αποτελεσμάτων που προσφέρονται σε πρακτικές εφαρμογές, η εξίσωση του Manning έχει γίνει η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη από όλες τις εξισώσεις ομοιόμορφης ροής για υπολογισμό ροής ανοικτού διαύλου (Phillips & Tadayan, 2006). Η εξίσωση του Manning με την ακόλουθη μορφή χρησιμοποιείται συνήθως για τον υπολογισμό της εκφόρτισης στα φυσικά κανάλια:

$$Q = (1/n)AR^{2/3}S_e^{1/2}$$

όπου

Q = εκφόρτιση, σε κυβικά πόδια ανά δευτερόλεπτο,

A = επιφάνεια εγκάρσιας διατομής του καναλιού, σε τετραγωνικά πόδια (μονάδα μήκους),

R = υδραυλική ακτίνα (A/P, όπου P είναι η βρεγμένη περίμετρος)

Se = κλίση τριβών που για μόνιμη ροή είναι ίση με τη κλίση ενέργειας, και

n = συντελεστής τραχύτητας του Manning

Η εξίσωση αναπτύχθηκε για συνθήκες ομοιόμορφης ροής στις οποίες η περιοχή, το βάθος και η ταχύτητα είναι σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια της προσέγγισης. Η εξίσωση ισχύει επίσης για μη ομοιόμορφα κανάλια εάν η κλίση της ενέργειας τροποποιείται ώστε να αντικατοπτρίζει μόνο τις απώλειες που οφείλονται στην οριακή τριβή. Κατά την εφαρμογή της εξίσωσης του Manning, η μεγαλύτερη δυσκολία έγκειται στον προσδιορισμό του συντελεστή τραχύτητας, n (Phillips & Tadayan, 2006). Η γενική διαδικασία για τον προσδιορισμό των τιμών n είναι η επιλογή μιας τιμής βάσης n για το υλικό βάσης και στη συνέχεια επιλογή προσαρμογών για ανωμαλίες καναλιού, ευθυγράμμιση, εμπόδια, βλάστηση και άλλους παράγοντες. Χρησιμοποιώντας αυτή τη διαδικασία, η τιμή του n μετατρέπεται ως εξής:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + \dots + n_n) / m$$

όπου: n και m παράγοντες που επηρεάζουν την τραχύτητα της κοίτης.

Ορίζοντας τις τιμές των παραγόντων του συντελεστή Manning και της τραχύτητας, την καταγραφή των γεωμετρικών και φυσικών χαρακτηριστικών από επιτόπιες παρατηρήσεις και μετρήσεις και την αποτύπωση της μορφολογίας από τα δεδομένα υψηλής ανάλυσης του μη επανδρωμένου οχήματος (UAV) ορίστηκαν οι τιμές των παραμέτρων που είναι αναγκαίες για την υδραυλική προσομοίωση. Οι τιμές των παραμέτρων εισήχθησαν σε φύλλο του excel και συγκεκριμένα στο υπολογιστικό φύλλο(Zanon et al., 2010)με ενσωματωμένη την εξίσωση του Manning καταλήγοντας στα αποτελέσματα.

Τα στάδια της έρευνας που ακολουθήσαμε είναι: αναγνώριση του προβλήματος και η οριοθέτηση αυτού, των γεωμορφολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή μελέτης, αποτύπωση στοιχείων (φωτογραφικό υλικό από επιτόπια έρευνα, υδρογραφικό δίκτυο, γεωλογία) και γεωμορφολογική χαρτογράφηση των γεωμορφών που εμφανίζονται στη περιοχή και ανάλυση όλων αυτών. Το πρώτο στάδιο της μεθοδολογίας ήταν η επιλογή και λήψη της περιοχής έρευνας με τη χρήση μη επανδρωμένου οχήματος UAV, ο έλεγχος και η μεταφορά του αρχείου σε περιβάλλον εργασίας Pix4D με απώτερο σκοπό της δημιουργία δύο τρισδιάστατων μοντέλων εδάφους και επιφάνειας (DTM και DSM). Το Mosaic, είναι ορθοφωτοχάρτης που αποτυπώνει τη περιοχή μελέτης στη συγκεκριμένη στιγμή λήψης χρησιμοποιώντας εικόνες μεγάλης ανάλυσης και ακρίβειας με όλα τις πληροφορίες που λαμβάνει κατά τη διάρκεια της πτήσης. Το περιβάλλον του MosaicEditor θεωρεί τον ορθοφωτοχάρτη ως ένα παζλ από ψηφίδες όπου σας επιτρέπει να τοποθετήσετε σε κάθε μέρος του παζλ την ψηφίδα που θεωρείτε περισσότερο εμφανίσιμη από αυτή που εξ' ορισμού διάλεξε το λογισμικό. Στην συνέχεια περάσαμε τα DTM, DSM και Mosaic σε περιβάλλον ArcMap για την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων. Αρχικά δημιουργήσαμε ένα τρισδιάστατο μοντέλο σκίασης (εργαλείο Hillshade), προστέθηκαν και οι ισοΐψεις και αρχίσαμε την χαρτογράφηση της Μισγάγγεια (κάθε σημείο της βαθιάς γραμμής του υδατορέματος). Επιπλέον συνδυάζοντας τις πληροφορίες του Mosaic, της επιτόπιας έρευνας και των φωτογραφιών που έχουμε δημιουργήσαμε τον γεωμορφολογικό χάρτη χρησιμοποιώντας το Hillshade ως υπόβαθρο και τον χάρτη απόθεσης και διάβρωσης όπως και την ένταση της πλημμύρας χρησιμοποιώντας ως υπόβαθρο το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας (DSM) με την βοήθεια των εργαλείων που μας παρέχει το πρόγραμμα του ArcMap. Επίσης, έχοντας ως υπόβαθρο το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας (DSM) και τις εικόνες από την επιτόπια έρευνά μας χαρτογραφήσαμε την ένταση της πλημμύρας(Flood extent). Στην συνέχεια κάναμε τομές κατά μήκος του ποταμού σε DSM υπόβαθρο και χρησιμοποιώντας τα γραφήματα και τις πληροφορίες που μας παρείχαν αυτές, καταλήξαμε στην F1-F2 FINAL όπου είναι και η τομή στην οποία υπολογίσαμε το Συντελεστή Τραχύτητας (Manning). Δηλαδή κάναμε εξαγωγή των στοιχείων και των πληροφοριών σε υπολογιστικό φύλλο του excel και με τη βοήθεια του υπολογιστικού αλγορίθμου της ομάδας του Laurent Bonnifait(Zanon et al., 2010) καταλήξαμε στα τελικά αποτελέσματα. Στην συνέχεια του κειμένου αναφέρονται αναλυτικά τα βήματα και η επιλογή των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του συντελεστή.

2.2.1. Επιλογή θέσης και προγραμματισμός εργασιών υπαίθρου

Η επιλογή θέματος έγινε με αφορμή το πλημμυρικό φαινόμενο στις 7 Σεπτέμβρη 2016 στο νομό Λακωνίας που έπληξε τη περιοχή με σοβαρές φυσικές καταστροφές και σε απώλεια ανθρώπινων ζωών. Η επικινδυνότητα είναι μεγάλη και ο στόχος μας ήταν εάν ένα μη επανδρωμένο όχημα είναι ικανό να βοηθήσει αυξάνοντας την ταχύτητα των εργασιών και το πλήθος και την ακρίβεια των δεδομένων για τον υπολογισμό της παροχής αιχμής σε αντίστοιχα φαινόμενα. Εφόσον ορίστηκε το θέμα ακολούθησε

επιτόπια έρευνα στη περιοχή και ορισμός πτήσης με αποτέλεσμα μεγάλης ποικιλίας φωτογραφικού υλικού και λήψη αρχείου με πολλές πληροφορίες που στην συνέχεια μας ήταν χρήσιμες στην εργασία γραφείου που ακολούθησε. Αρχικά αποφασίστηκε να γίνει αυτόνομη πτήση βασισμένη στο ενσωματωμένο GPS του οχήματος, διότι είχαμε σκοπό την παραγωγή ορθοφωτοχαρτών. Για την κάλυψη όλης της περιοχής χρειάστηκε να σχεδιαστούν δύο αυτόνομες πτήσεις, από τις οποίες επιλέξαμε και κοινά σημεία λήψης της πτήσης για να υπάρχει επικάλυψη μεταξύ τους και να μην δημιουργούν κενά στη συνολική αποτύπωση της περιοχής.



Εικόνα 2.2.1.1: Προετοιμασία και πτήση μη επανδρωμένου οχήματος



Εικόνα 2.2.1.2:Επιτόπια έρευνα και λήψη φωτογραφικού υλικού . Πάνω η κοίτη του Μαριορέματοςκαλυμμένη με αδρομερή υλικά από την πλημμύρα, και η δεξιά αναβαθμίδα με λεπτομερείς αποθέσεις στην είσοδο του μαιάνδρου. Κάτω: αντιδιαβρωτικός τοίχος προστασίας της καλλιέργειας στην αριστερή πλευρά της κοίτης ανάντι του μαιάνδρου.



Εικόνα 2.2.1.3:Επιτόπια έρευνα και λήψη φωτογραφικού υλικού . Πάνω η δεξιά αναβαθμίδα του Μαριορέματος στο σημείο της ιρλανδικής διαβασής του δρόμου από Μυρτιά (κατάντη του μαιάνδρου) με εναλλαγές αδρομερών και λεπτομερών υλικών από παλιότερα πλημμυρικά επεισόδια. Κάτω: η δεξιά όχθη του μαιάνδρου που υπέστη σημαντική υποχώρηση (διάβρωση) κατά το πλημμυρικό επεισόδιο του 2016.

2.2.2. Εκτέλεση προγράμματος και προβλήματα

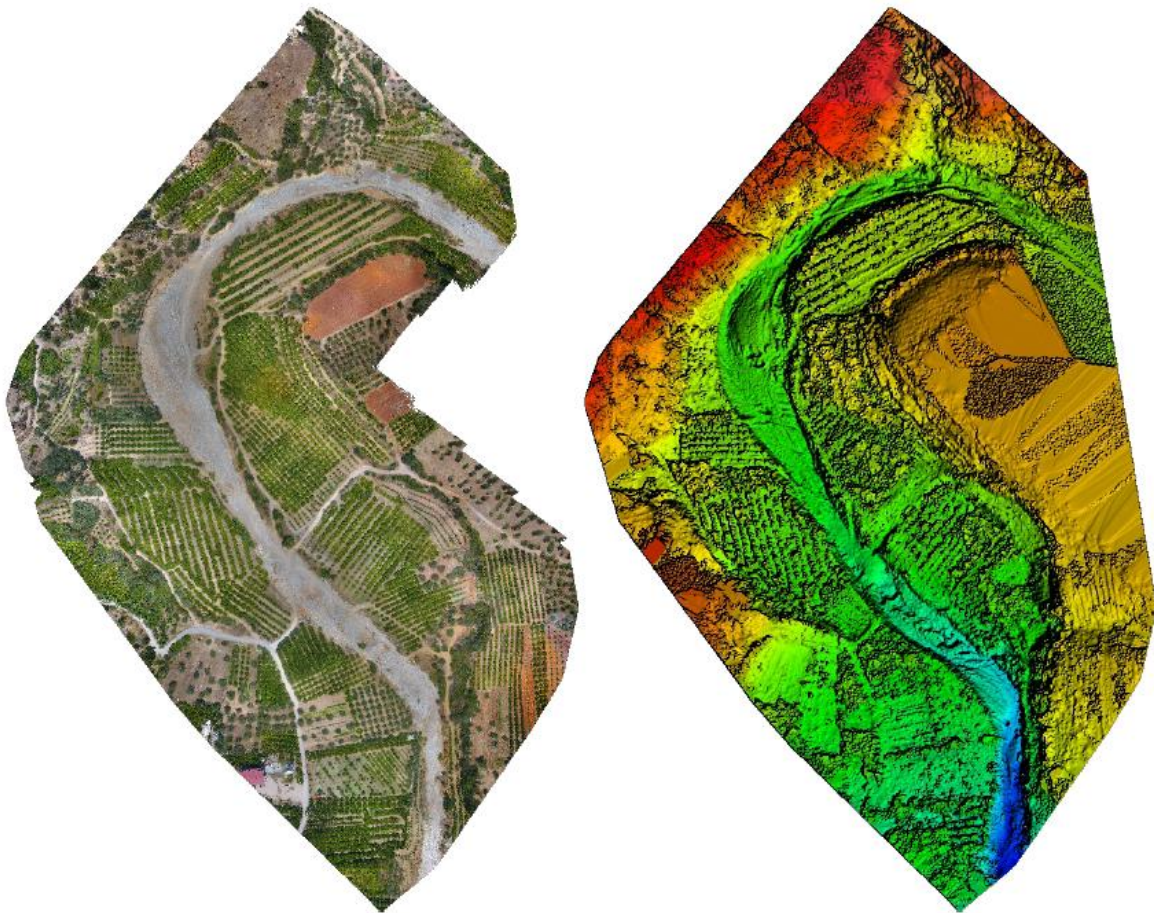
Η μέθοδος αποτύπωσης με UAV, θεωρείται συμπληρωματική μέθοδος, καθώς σε συνδυασμό με επίγειες μετρήσεις δίνει ακριβή αποτελέσματα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να αποκαταστήσει πλήρως τις μεθόδους αποτύπωσης και επιτόπιων μετρήσεων. Επιπλέον πλεονέκτημα της χρήσης UAV είναι η ταχύτητα λήψης των πληροφοριών και μετρήσεων, η συλλογή πολλών χωρικών δεδομένων με αυτοματοποιημένο τρόπο ανάκτησης τους, καθώς και η χαρτογράφηση επικίνδυνων περιοχών αφού οι μετρήσεις γίνονται από απόσταση, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους χαρτογράφησης.

Τα μη επανδρωμένα οχήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καταστάσεις υψηλού κινδύνου χωρίς να βάλουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή, δίνοντας τη δυνατότητα καταγραφής αντικειμένων περιοχών σε μικρή απόσταση, όπως περιπτώσεις περιοχών που έχουν υποστεί φυσικές καταστροφές (σεισμούς, πλημμύρες, πυρκαγιές). Η εφαρμογή των GPS/INS συστημάτων όπως και τα συστήματα σταθεροποίησης προσφέρουν ακριβείς πτήσεις, εξασφαλίζοντας την επαρκή κάλυψη της περιοχής και επιτρέπει στο χρήστη να εκτιμήσει την ακρίβεια του αναμενόμενου αποτελέσματος πριν την πτήση. Τα καιρικά φαινόμενα καθώς και ο φωτισμός μπορούν να θεωρηθούν τα μειονεκτήματα της χρήσης UAV, διότι είναι ικανά να μην επιτρέψουν την πραγματοποίηση της πτήσης ή να συμβάλουν στην παραγωγή μη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων. Βασική προϋπόθεση, ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές, είναι η ανθεκτικότητα και διάρκεια ζωής της μπαταρίας συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων για τη φόρτιση και την απόδοση σε ακραίες θερμοκρασίες. Απαραίτητο ο χειριστής να βρίσκεται σε ετοιμότητα να παρέμβει οποιαδήποτε στιγμή στην αυτόνομη πτήση UAV, διότι δεν μπορούν να αντιδράσουν σε απρόσμενες καταστάσεις. Οι παρεμβολές σημάτων στο σύστημα επικοινωνίας του χρήστη με το σύστημα, μπορούν επίσης, να προκαλέσουν προβλήματα κατά τη διάρκεια μιας πτήσης. Τα κύρια μέρη ενός συστήματος είναι το εναέριο μη επανδρωμένο όχημα (UAV), το ωφέλιμο φορτίο του (payload) και το επίγειο σύστημα ελέγχου (groundcontrolstation), που αποτελείται συνήθως από φορητές συσκευές – υπολογιστής (hardware/software) για την παρακολούθηση και την προώθηση εντολών στο όχημα, καθώς και την σύνδεση επικοινωνίας δεδομένων μεταξύ τους η οποία είναι πολύ σημαντική για τον χειρισμό και τον έλεγχο του οχήματος.

Στην περιοχή μελέτης μας κληθήκαμε να αντιμετωπίσουμε την δυσλειτουργία του επίγειου σταθμού ελέγχου (εν προκειμένω του ipad) σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος (πάνω από 40°C), ο οποίος δεν μπορούσε να λειτουργήσει και είχε σαν αποτέλεσμα διακοπή του ελέγχου της πτήσης και απώλεια δεδομένων, όπως και σε καθυστέρηση λόγω επανάληψης της διαδικασίας. Το πρόβλημα αυτό οδήγησε σε μερική αναθεώρηση του τρόπου εργασίας, έκθεσης του εξοπλισμού στις εξωτερικές συνθήκες, διάρκειας του εκάστοτε πακέτου εργασίας στα πλαίσια μιας αποστολής και της μεθόδου εξασφάλισης των δεδομένων σε σχέση με τις λειτουργίες του προγράμματος πτήσης, του λογισμικού εκτέλεσης και τους περιορισμούς του εξοπλισμού.

2.3. Πρωτογενή δεδομένα και επεξεργασία

Τα πρωτογενή δεδομένα στη περιοχή μελέτης είναι ότι η μέση απόσταση δειγματοληψίας εδάφους(GSD) είναι στα 258cm/1.01 in, με περιοχή κάλυψης να ανέρχεται στα 0,2507km² /61,9716στρέμματα και ο χρόνος για την αρχική επεξεργασία δεδομένων σε 1h:40m:30sec. Το πλήθος των συνολικών εικόνων ήταν 42672 και μετά την βαθμονόμηση σε 793 εικόνες και όλες ενεργοποιημένες προς επεξεργασία. Τα πρωτογενή δεδομένα μας παρέχουν το αρχικό στάδιο του ορθομωσαϊκού και το αραιού ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας δίχως το παράγοντα της πυκνότητας. Στην συνέχεια περιγράφουμε τον τρόπο επεξεργασίας του συνόλου δεδομένων από τη πτήση του μη επανδρωμένου οχήματος, προκειμένου να δημιουργηθεί ο DSM, DTMκαι Mosaicτης περιοχής μελέτης.



Εικόνα 2.3.1:Αρχικό ορθομωσαϊκό και αραιό μοντέλο ψηφιακής επιφάνειας (DSM) πριν τηνπύκνωση του νέφους σημείων.

2.3.1. Αρχική επεξεργασία εικόνων

Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας εικόνων αποτελεί η απόδοση υψής στο τριγωνικό πλέγμα μοντέλου που έχει δημιουργηθεί, δίνοντας τη δυνατότητα εξαγωγής ορθοφωτογραφιών ακριβείας. Σε περίπτωση που έχουν τοποθετηθεί σημεία ελέγχου στο έδαφος (GCPs), είναι δυνατή η εξαγωγή γεωαναφερμένης ορθοφωτογραφίας, στο επιθυμητό σύστημα συντεταγμένων (εξωτερικός προσανατολισμός).

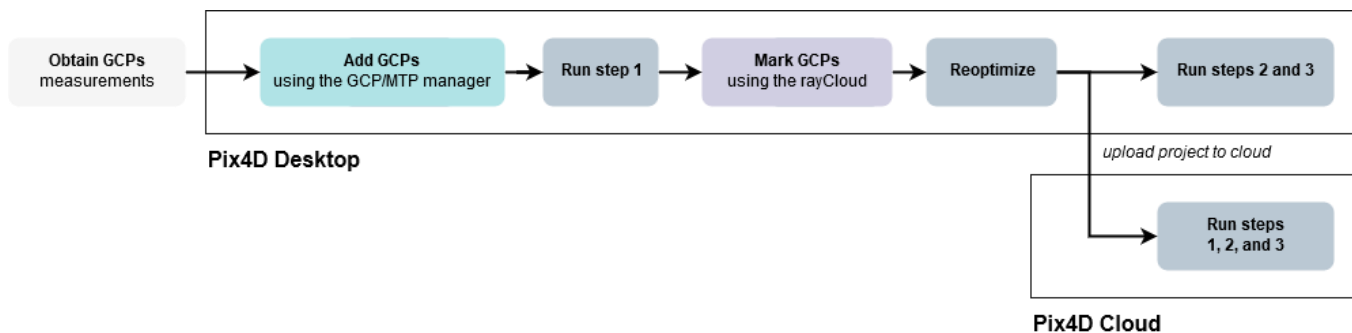
Για την ακριβή διαδικασία γεωαναφοράς, είναι απαραίτητο τα σημεία να τοποθετούνται ομοιόμορφα σε όλη την περιοχή ενδιαφέροντος και να είναι ευδιάκριτα. Η μέτρησή τους γίνεται με όργανα ακριβείας και τη χρήση επίγειων τοπογραφικών μεθόδων (Δουκαρή, 2015). Συγκεκριμένα, μέσω του λογισμικού προγράμματος Pix4D μπορούμε να επεξεργαστούμε έργα με ή χωρίς σημεία ελέγχου εδάφους (GCP), αλλά χρησιμοποιώντας τα αυξάνουμε την ακρίβεια του έργου. Τα GCP μπορούν να είναι σημεία στο πεδίο με τοπογραφικές μεθόδους, μπορούν να είναι υπάρχοντα γεωχωρικά δεδομένα ή μπορούν να εξαχθούν από υπηρεσία διαδικτυακών χαρτών (WMS).

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για να προσθέσουμε και να επισημάνουμε GCPs ανάλογα με τη γεωγραφική θέση των εικόνων, το σύστημα συντεταγμένων των εικόνων και το σύστημα συντεταγμένων των GCP. Η πιο συχνή μέθοδος για την προσθήκη και την επισημάνση των GCP όταν έχουν ένα γνωστό σύστημα συντεταγμένων που μπορεί να επιλεγεί από τη βάση δεδομένων του Pix4D. Τα δύο συστήματα δεν χρειάζεται να είναι τα ίδια, διότι το Pix4D είναι σε θέση να κάνει τη μετατροπή από το ένα στο άλλο. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει στο χρήστη να επισημάνει τα GCP στις εικόνες με μικρή χειροκίνητη παρέμβαση. Η επεξεργασία, ανάλογα με το πλήθος των δεδομένων και την υπολογιστική δύναμη του εξοπλισμού μπορεί να διαρκέσει αρκετές ώρες. Τα διαφορετικά βήματα επεξεργασίας ξεκινούν αυτόματα και δεν απαιτούν εποπτεία από τον χρήστη.

Συγκεκριμένα ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

- 1) Ορισμός σημείων ελέγχου στο πεδίο
- 2) Εισαγωγή εικόνων λήψης
- 3) Εισαγωγή των σημείων στο διαχειριστή GCP
- 4) Έναρξη επεξεργασίας
- 5) Επιλογή των βημάτων επεξεργασίας (Initial Processing, Point Cloud and Mesh και DSM, Orthomosaic και Index).
- 6) Έναρξη των βημάτων
- 7) Αφού ολοκληρώθηκε η αρχική επεξεργασία, επισημάνουμε το GCP με το rayCloud
- 8) Click στο Process → Reoptimize

9) Ξαναδημιουργήσαμε αναφορά ποιότητας Process → Generate Quality Report



Εικόνα 2.3.2 : Ακολουθία βημάτων στην αρχική επεξεργασία εικόνων.

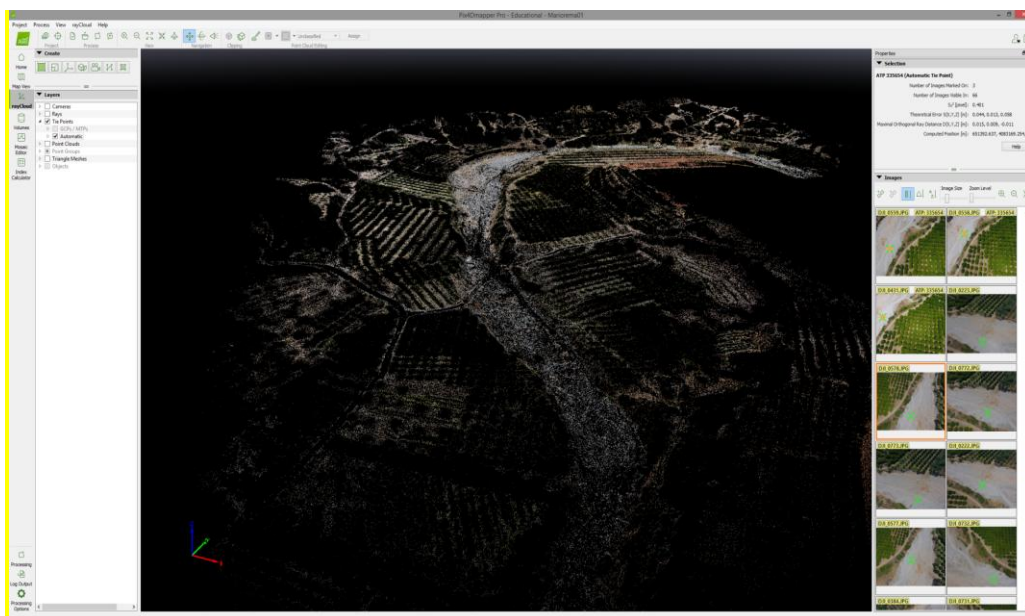
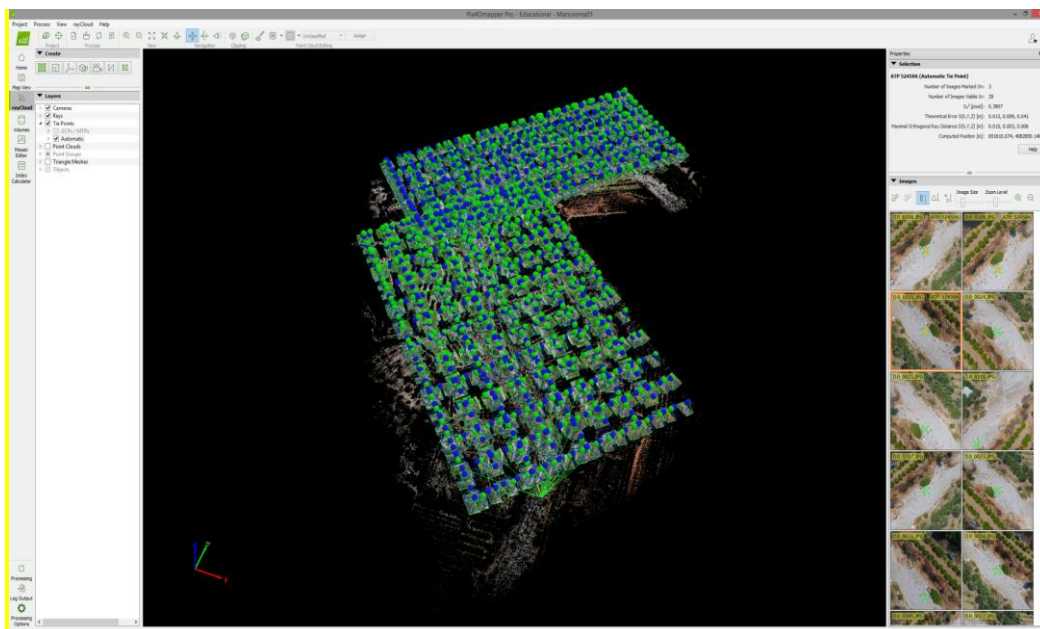


Εικόνα 2.3.3: Σχέδια πτήσης και θέσεις λήψης φωτογραφιών στην περιοχή μελέτης (αρχική επεξεργασία).

2.3.2. Παραγωγή νέφους σημείων

Τα σημεία ελέγχου εδάφους (GCP) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία σύννεφου. Το νέφος σημείων σε σχέση με τη θέση της κάμερας την ώρα της λήψης. Τα αποτελέσματα ταξινόμησης cloudpoint χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή DTM, DSM και Mosaic. Η ταξινόμηση του cloudpoint απαιτεί τη γεωαναφορά. Αυτή η διαδικασία υπολογίζει την ταξινόμηση cloudpoint χρησιμοποιώντας το νέφος πυκνών σημείων που δημιουργείται κατά το βήμα 2, Pointcloud and Mesh. Κάθε σημείο ταξινομείται αυτόματα σε μία από τις ακόλουθες προκαθορισμένες ομάδες: έδαφος, επιφάνεια οδικού

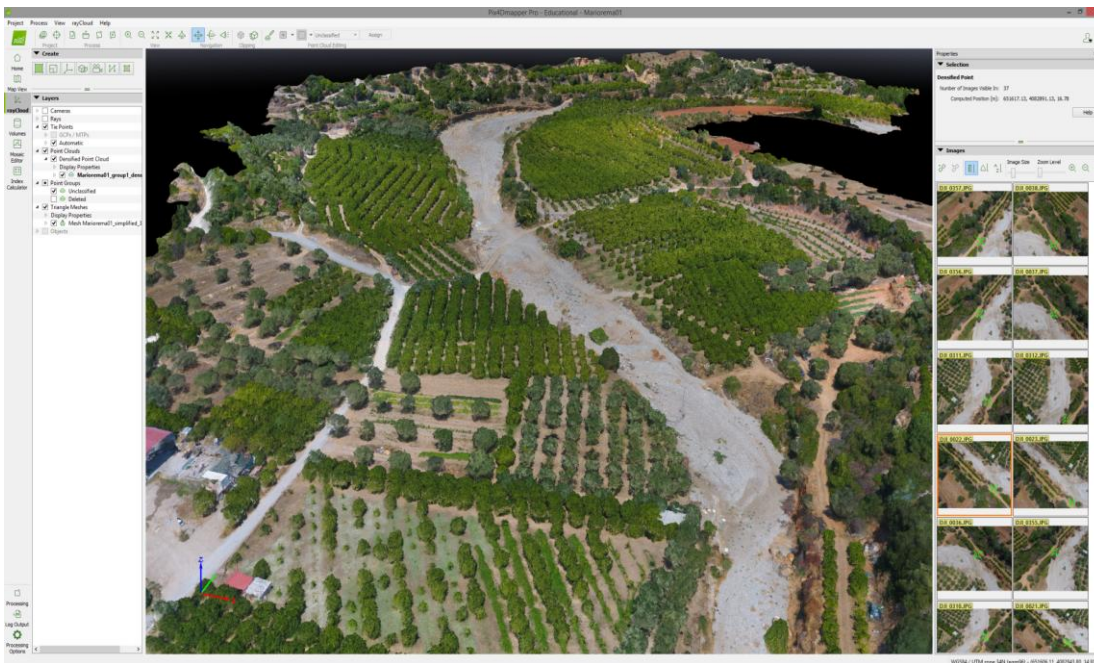
δικτύου, βλάστηση, κτίριο, ανθρώπινη παρέμβαση. Η ταξινόμηση γίνεται κατά τη διάρκεια του βήματος 2. Ο χαρακτηρισμός του νέφους με βάση τις τεχνικές εκμάθησης μηχανών απαιτεί κατάρτιση σε δεδομένα που φέρουν ετικέτα. Τόσο η γεωμετρία όσο και οι πληροφορίες χρώματος χρησιμοποιούνται για την εκχώρηση των σημείων σε μία από τις προκαθορισμένες ομάδες, η διαδικασία εκτελείται καλά για περιβάλλοντα παρόμοια με εκείνα των συνόλων δεδομένων, όπως αγροτικές περιοχές, περιοχές κατασκευής και βλάστησης.



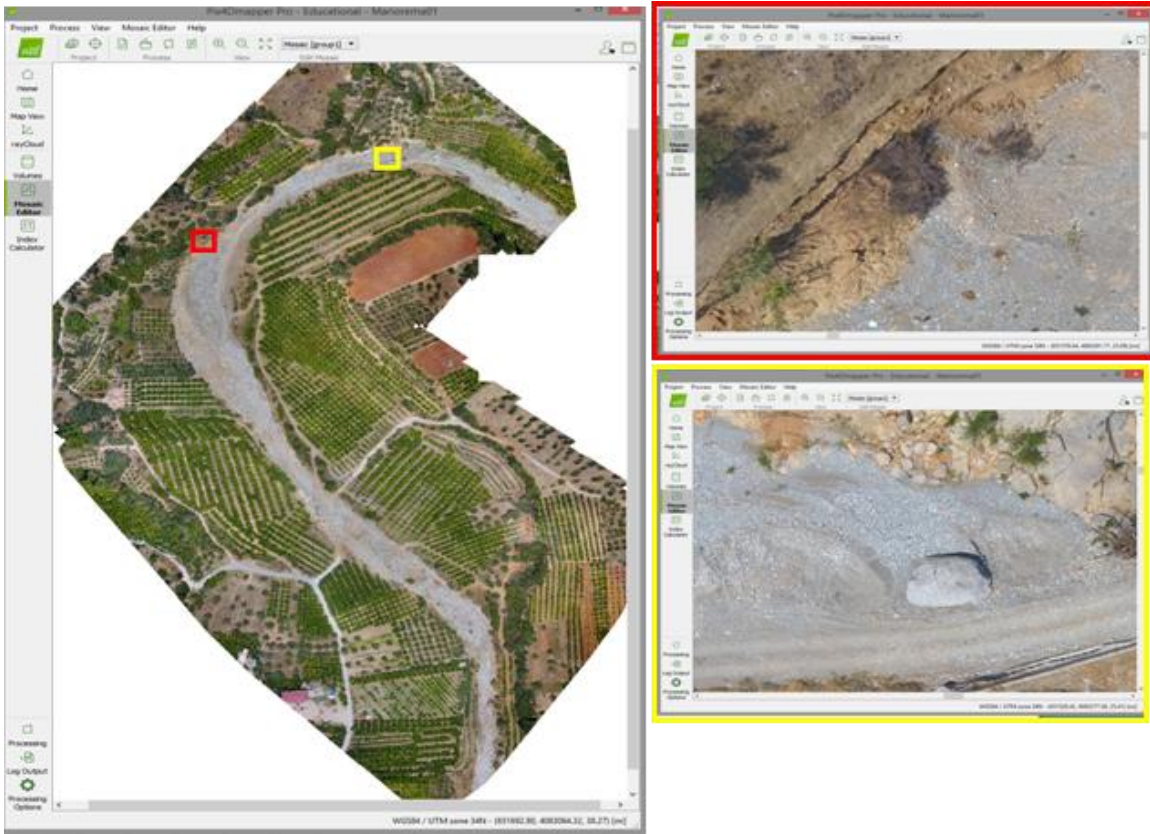
Εικόνα 2.3.4: Πάνω: αρχικές και διορθωμένες θέσεις λήψεις εικόνες στο αρχικό νέφος σημείων. Κάτω: νέφος σημείων

2.3.3. Παραγωγή πλέγματος- δυνατότητα ανάλυσης

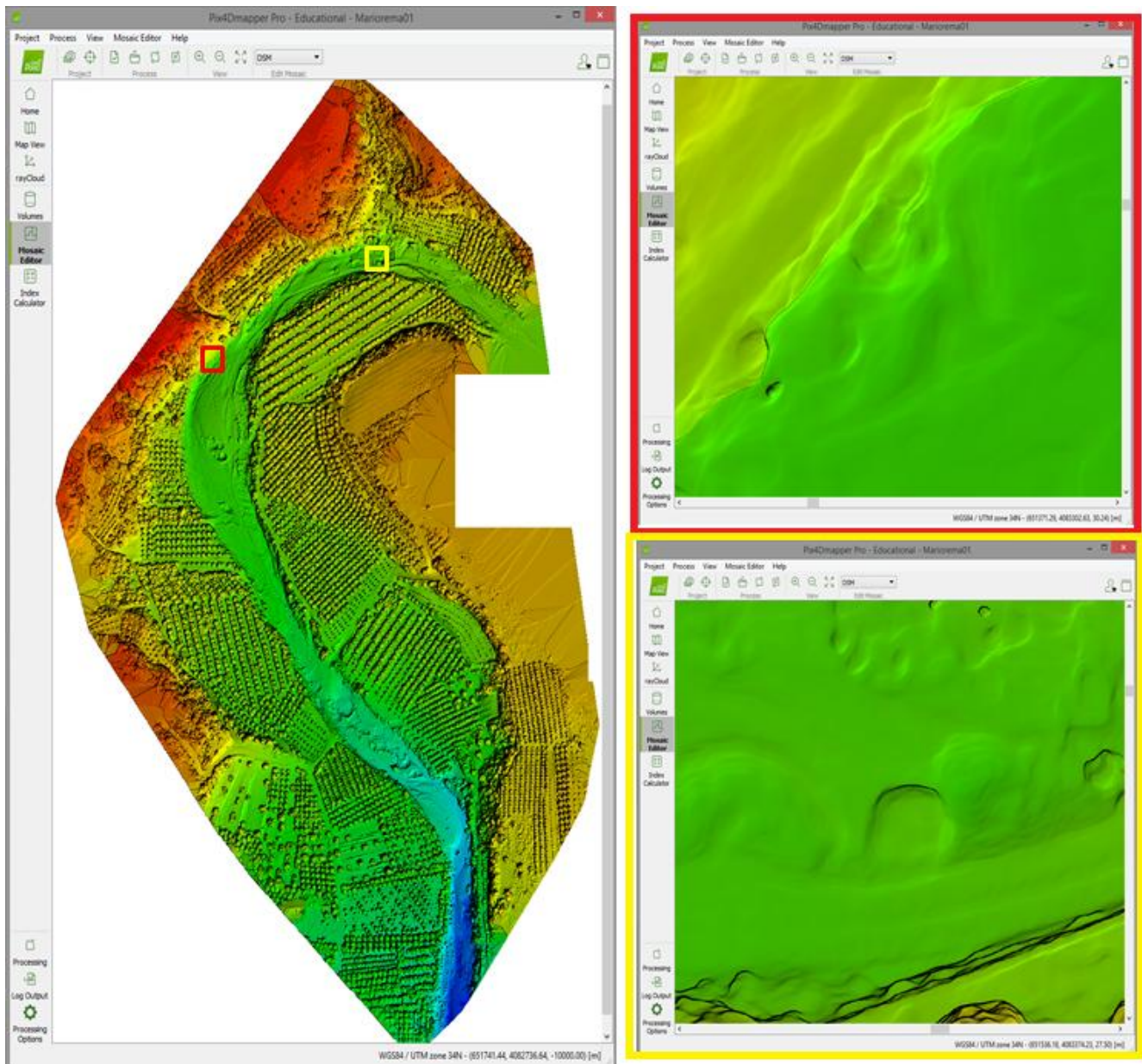
Επιπλέον μέσω του προγράμματος PIX4Dδημιουργήθηκε ο ορθοφωτοχάρτης - μωσαϊκό. Το Mosaicmodel είναι η οπτικοποίηση του DSM, με υψηλή ακρίβεια και ανάλυση, η οποία μας παρέχει τη δυνατότητα για συμπληρωματικές παρατηρήσεις στο πεδίο, όπως και την δημιουργία εικόνων σε κρίση.



Εικόνα2.3.5: Μωσαϊκό χωρίς σκίαση με πλέγμα τριγωνικών επιφανειών

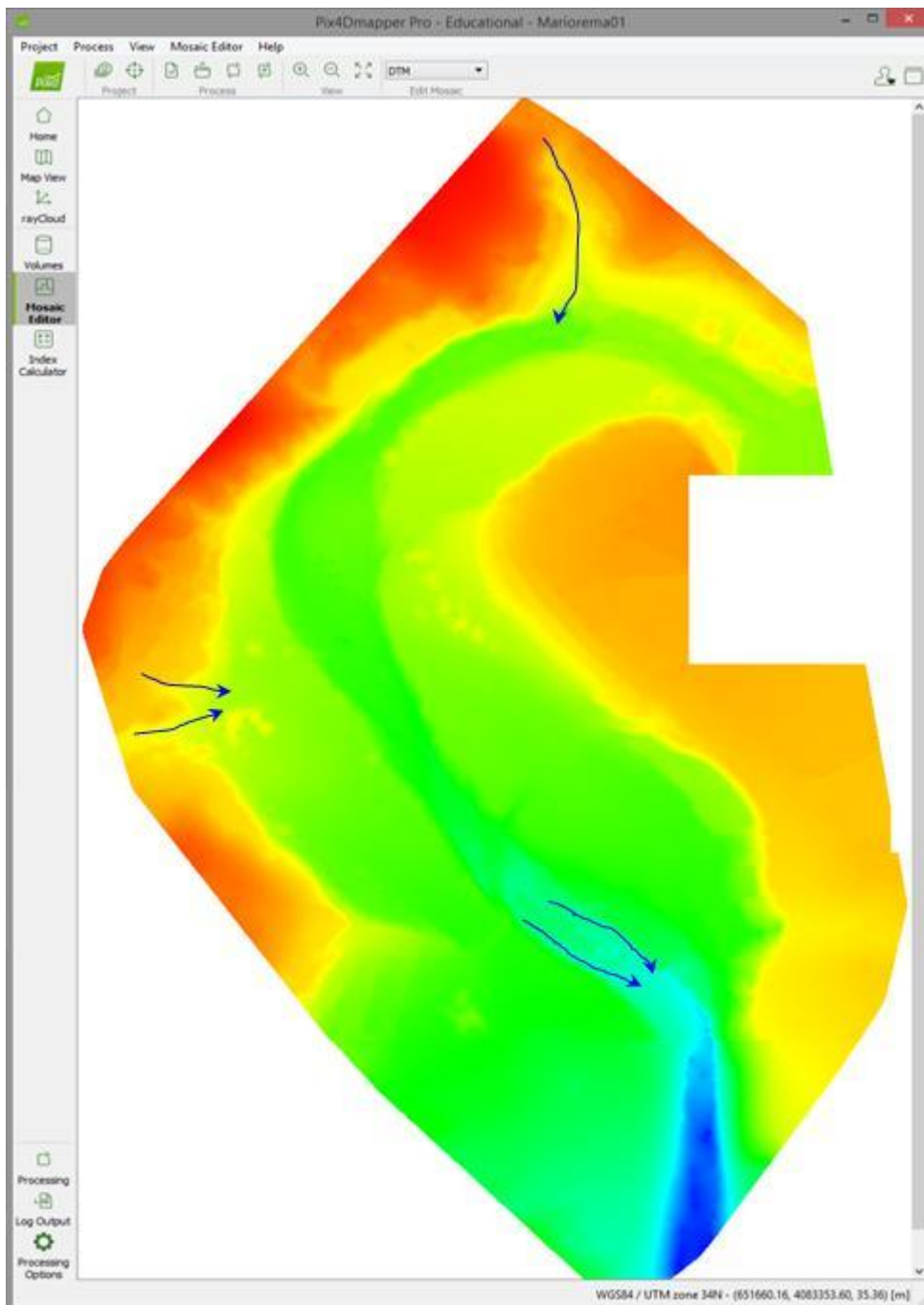


Εικόνα 2.3.6 Δυνατότητα υψηλής ανάλυσης. Πάνω: μεγέθυνση του ορθομωσαϊκού σε επίπεδο παρατήρησης μορφολογικών μεταβολών (κόκκινο πλαίσιο: όριο υποχώρησης όχθης από διάβρωση, κίτρινο πλαίσιο: απόθεση ογκολίθου σε χώρο με αδρομερή υλικά). Κάτω: μέγιστη ανάλυση του ορθομωσαϊκού σε επίπεδο παρατήρησης κοκκομετρίας: κόκκινο πλαίσιο).



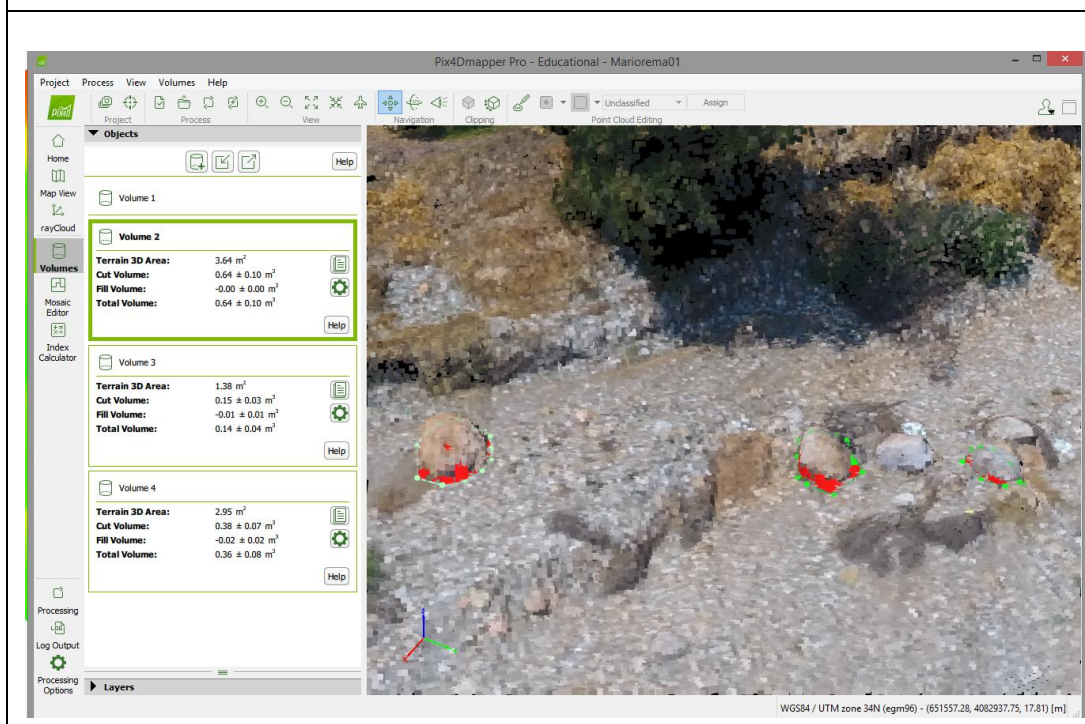
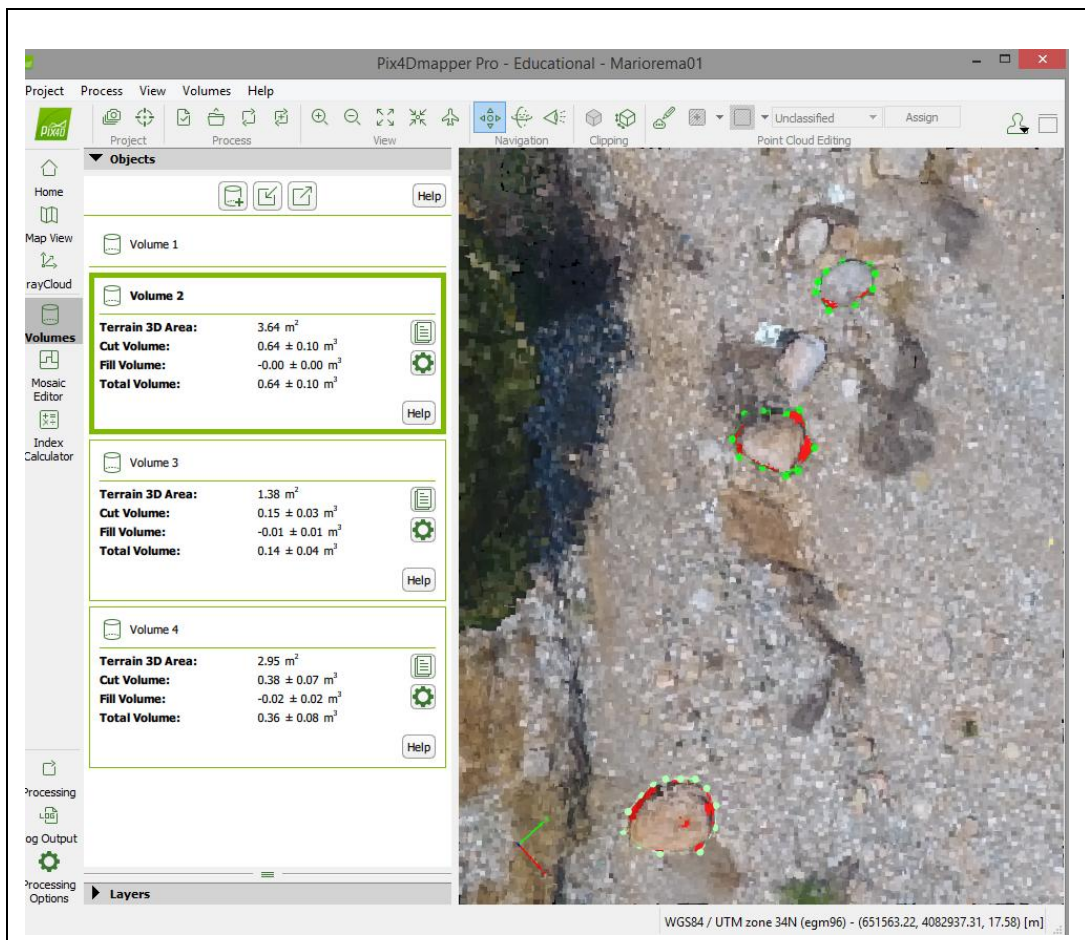
Εικόνα 2.3.7 DSMmodel ανάγλυφο (απεικόνιση με βάση το υψόμετρο)

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DSM) μπορεί να δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια του βήματος επεξεργασίας 3. Εάν είναι έτοιμη η ταξινόμηση του Cloudpoint, υπολογίζεται μια μάσκα εδάφους με βάση τις ομάδες διαβαθμισμένων σημείων. Στο εξομαλυσμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DTM) διατηρούνται μόνο οι ομάδες Ground και RoadSurface. Για να βελτιωθεί το DTM όλα τα σημεία εδάφους πρέπει να αντιστοιχούν σε μία από αυτές τις ομάδες σημείων.



Εικόνα2.3.8: DTMmodel (εξομαλυμένο DSMmodel), το μοντέλο μας παρέχει επιπλέον πληροφορίες για αύλακες των αξόνων ροής και την διεύθυνση ροή τους.

Χρήσιμο εργαλείο του Pix4D είναι τοΕργαλείοvolume. Μας παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού όγκου που εξέχει (εύκολος υπολογισμός όγκου με ακρίβεια υλικών που αποτέθηκαν στη περιοχή κατά την έξαρση του φαινομένου)



Εικόνα 2.3.9: Απεικόνιση δυνατοτήτων του εργαλείου Volume.

2.4. Εκτίμηση μέγιστης παροχής

Στις μελέτες των πλημμυρικών φαινομένων, ως παροχή αιχμής Q_p νοείται μια μέγιστη στιγμιαία τιμή της διερχόμενης παροχής μέσω ενός φυσικού ή τεχνικού αγωγού. Για την εκτίμηση μέγιστης παροχής απαραίτητο είναι η υπολογισμοί της υγρής περιοχής (A), της βρεγμένης περιοχής (P), το υδραυλικό μέσο βάθους $Rh = A/P$ και την ταχύτητα η οποία υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση του Strickler $V = K \cdot S^{0,5} Rh^{2/3}$, όπου K ο υπολογισμός τραχύτητας (ελάχιστη, πιθανή και μέγιστη τιμή) από την εξίσωση του Manning. Έχοντας υπολογίσει τις παραπάνω παραμέτρους καταλήγουμε στο υπολογισμό παροχής αιχμής χρησιμοποιώντας το τύπο υπολογισμού $Q = A \cdot V$. Χρησιμοποιώντας το υπολογιστικό φύλλο (excel) το οποίο μας παραχώρησε η ομάδα του Laurent Bonnifait (Zanon et al., 2010) ο υπολογισμός των παραμέτρων γίνεται αυτόματα διότι τα κελιά των φύλλων περιέχουν τους τύπους και εμείς προσθέτουμε τις τιμές K για κάθε περίπτωση. Στην συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία.

2.4.1. Επιλογή κατάλληλης τομής

Σε περιβάλλον Mosaic χαραξαμε τομές κάθετες στη ροή της κοίτης κατά μήκος του ποταμού, έχοντας ως στόχο να επιλέξουμε τη καταλληλότερη για το υπολογισμό παροχής αιχμής. Η τομή επιλέχθηκε ελέγχοντας όλες τις παραμέτρους που συμβάλλουν στον υπολογισμό Q και αντιπροσωπεύουν την ένταση στην έξαρση του φαινομένου, παράγοντες όπως η κλίση της κοίτης, σημεία πλημμύρας και έντονης διάβρωσης και τη τραχύτητα της κοίτης. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στους παράγοντες αλλά και στους υπολογισμούς και συγκρίσεις που ακολουθήσαμε για να καταλήξουμε στην τελική τομή και τον υπολογισμό την παροχής αιχμής.

Η χάραξη των τομών γίνεται πάνω στο ορθομωσαϊκό για να είναι βέβαιη η κάλυψη της περιοχής της κοίτης και της κατάκλυσης, αλλά η πληροφορία ανακτάται από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους για τα σημεία της τομής (x, y, z).



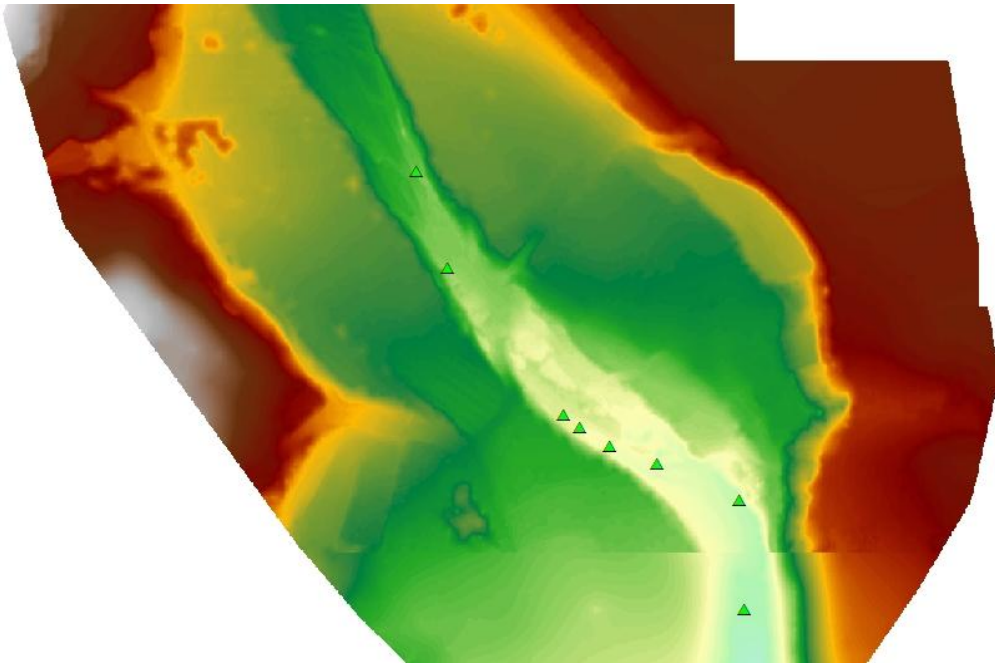
Εικόνα2.4.1: Χάραξη τομών κατά μήκος του ποταμού ΜαριόρεμαΝ.Λακωνίας

2.4.2. Δεδομένα κλίσης

Η κλίση είναι βασικός παράγοντας για τον υπολογισμό παροχής αιχμής. Με τη χρήση των μοντέλων Dtmκαι Dsmaκολούθησε η επιλογή των σημείων κλίσηςτης κοίτης (bedslope) με τοεργαλείο Addsurfer (3DAnalysis) όπου στην συνέχεια τα εξήγαμε στο υπολογιστικό φύλλο. Στο φύλλο του excelεμφανίζονται με την ονομασία slope_dataσε (x,y,z).

Slope	E (m)	N (m)	Z (m)
S1	651606,385	4082862,54	15
S2	651603,8125	4082920,02	15,994729
S3	651559,8936	4082939,371	17,450704
S4	651534,8212	4082948,289	17,987082
S5	651518,7182	4082958,764	18,499998
S6	651510,2517	4082965,166	18,999956
S7	651449,0026	4083042,606	20,487973
S8	651432,3438	4083093,255	21,019208

Πίνακας 1: Αναλυτικός πίνακας θέσεων των σημείων κλίσης



Εικόνα 2.4.2: Επιλογή σημείων κλίσης της κοίτης (bedslope).

2.4.3. Ίχνη πλημμύρας

Η επιλογή των ίχνων της πλημμύρας (floodmarks) έγινε στην επιτόπια έρευνα και οι φωτογραφίες που ακολουθούν αντιπροσωπεύουν τα σημεία αυτά. Χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι η έντονη διάβρωση του εδάφους και τα ξεριζωμένα φυτά και δέντρα όπως και η μεταφορά τους, καθώς και υπολείμματα μεταφερμένης βλάστησης, και σημάδια της στάθμης του νερού σε κορμούς, κολόνες, πρανή κ.λπ. Στο φύλλο του excel εμφανίζονται με την ονομασία Floodmarks σε (x,y,z).

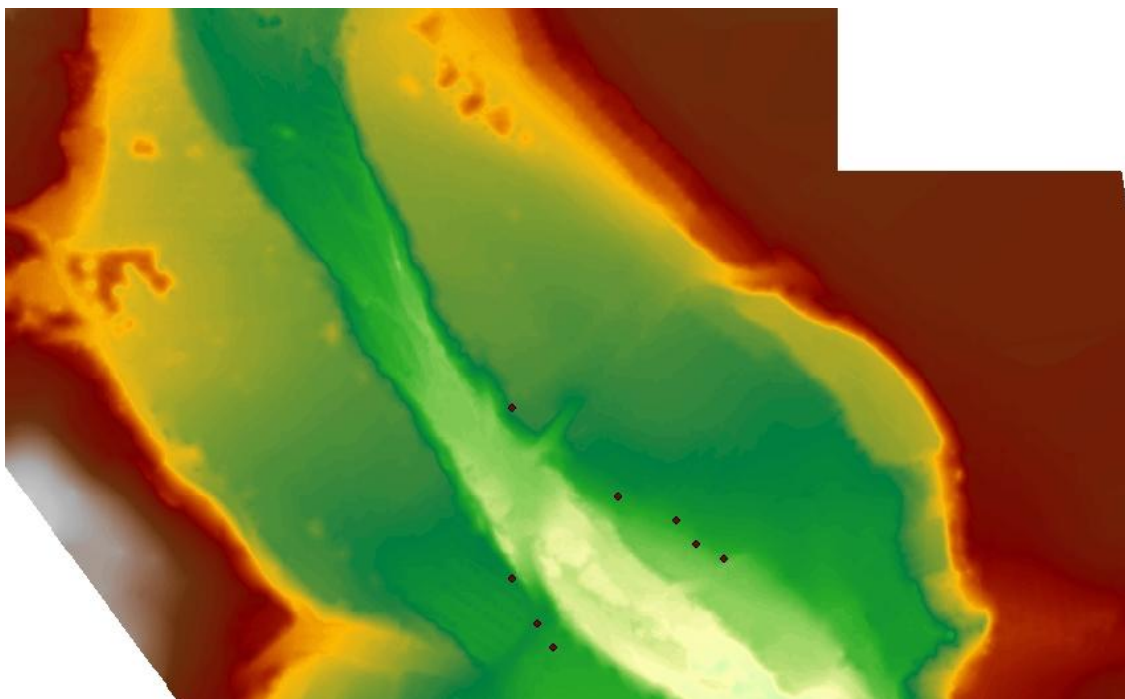
Flood marks	E (m)	N (m)	Z (m)
FM1	651480,759	4082970,636	23,465504
FM2	651470,7577	4082988,733	23,815329
FM3	651487,2677	4082961,111	22,641246
FM4	651544,4179	4083002,703	21,822618
FM5	651512,9853	4083021,595	22,946721
FM6	651536,1628	4083012,07	22,541345
FM7	651470,9165	4083056,948	24,968969
FM8	651622,308	4082872,309	20,559035
FM9	651555,6195	4082996,516	21,735788

Πίνακας 2: Αναλυτικός πίνακας θέσεων των σημείων floodmarks.

Τα ίχνη πλημμύρας προέρχονται τόσο από παρατηρήσεις πεδίου την επόμενη μέρα της πλημμύρας (2016), όσο και από τα βίντεο της ημέρας. Επίσης, υπάρχουν διατηρημένα ίχνη στο ανάγλυφο και στη βλάστηση που είναι διακριτά και στο ορθομοσασικό. Το σύνολο δημιουργεί ένα αρχείο σε μορφή shapfile, του οποίου τα στοιχεία καταλήγουν στην επεξεργασία στα λογιστικά φύλλα του υπολογισμού της παροχής αιχμής.



Εικόνα 2.4.3:Βοηθητικές απόψεις από βίντεο της επόμενης μέρας της πλημμύρας, για την διασταύρωση της ορθότητας επιλογής των σημείων με ίχνη πλημμύρας κατά μήκος του ποταμού.



Εικόνα 2.4.4: Ίχνη πλημμύρας.

Στην συνέχεια με τις συντεταγμένες των σημείων έγινε αναπαράσταση της τομής σε κάτοψη όπως φαίνεται στο παρακάτω γράφημα, όπου μας παρουσιάζει την διεύθυνση ροής του ποταμού σε σχέση με τη καθετότητα της τομής και τις θέσεις των σημείων κλίσης και πλημμύρας στο χώρο, το διαμήκεις προφίλ των σημείων κλίσης και πλημμύρας σε σχέση με τη τομή και το εγκάρσιο προφίλ της τομής, όπου φαίνεται το ύψος του νερού σε σχέση με την τομή (bedslope, energyslope). Δημιουργούνται αντίστοιχα οι ευθείες που αναπαριστούν την κλίση τριβής και την κλίση ενέργειας

2.4.4. Τραχύτητα κοίτης

Ο συντελεστής τραχύτητας όπως έχουμε αναφερθεί και πιο πάνω είναι βασικός παράγοντας στην εξίσωση Manning. Η γενική διαδικασία για τον προσδιορισμό των τιμών n είναι να επιλέξουμε μία τιμή για κάθε n βάση του πίνακα που έχει το εύρος συνιστωσών για διάφορες συνθήκες του καναλιού που χρησιμοποιούνται για το προσδιορισμό των τιμών n του Manning (Phillips & Tadayan, 2006). Στην συνέχεια παρατίθεται ο πίνακας με το εύρος τιμών n ανά κατηγορία και ο τελικός πίνακας της τομής στη περιοχή μελέτης.

Με βάση τον πίνακα 3, την επιτόπια έρευνα και το φωτογραφικό υλικό ολοκληρώσαμε το πίνακα με τις τιμές n για τη τομή της περιοχής μελέτης. Ο Συντελεστής τραχύτητας όπως έχουμε αναφερθεί και πιο πάνω υπολογίζεται με την εξίσωση $n = (n_0 + n_1 + n_2 + \dots + n_n)^m$, όπου (n_0, n_1, n_2, \dots) είναι η τιμή ανά κατηγορία κατά μήκος της τομής και m ο βαθμός μαιανδρισμού της κοίτης.

Συνθήκες καναλιού	Εύρος τιμών n Mapping	Περιγραφή
Βαθμός Ανωμαλίας Ποταμού		
Καθόλου	0.000	Ομαλό κανάλι με ένα είδος υλικού Κανάλι με ελαφρώς διαβρωμένες πλευρές Κανάλι με μερικές διαβρωμένες πλαγιές Κανάλι με έντονη διάβρωση, ακανόνιστες επιφάνειες και βράχια
Μικρό	0.001-0.005	
Μέτριο	0.006-0.10	
Έντονο	0.011-0.020	
Διακύμανση της διατομής του καναλιού		
Βαθμιαίο	0.000	Το μέγεθος και το σχήμα των διατομών του καναλιού αλλάζουν σταδιακά Μεγάλες και μικρές διατομές εναλλάσσονται περιστασιακά Οι μεγάλες και οι μικρές διατομές εναλλάσσονται συχνά
Περιστασιακά εναλλασσόμενο	0.001-0.005	
Συχνά εναλλασσόμενο	0.010-0.015	
Επίδραση εμποδίων		
Αμελητέο	0.000-0.004	Μερικά διάσπαρτα εμποδία, τα οποία περιλαμβάνουν αποθέσεις, απομονωμένους ογκόλιθους, Τα εμποδία καταλαμβάνουν από 5 έως 15 τοις εκατό της περιοχής διατομής Τα εμποδία καταλαμβάνουν το 15 έως 50 τοις εκατό της περιοχής τομής και ο χώρος μεταξύ τους είναι αρκετά μικρός Τα εμποδία καταλαμβάνουν περισσότερο από το 50 τοις εκατό της περιοχής τομής
Χαμηλό	0.005-0.015	
Υπολογίσιμο	0.020-0.030	
Αυστηρό	0.040-0.060	
Ποσότητα βλάστησης		
Αμελητέο	0.000-0.002	Γρασίδι ή θάμνοι, μόνιμα κατά τη διάρκεια της ροής Δέντρα, όπως η ιτιά, όπου το μέσο βάθος ροής είναι τουλάχιστον τριπλάσιο του ύψους της βλάστησης. Μέτρια πυκνή χλόη, ζιζάνια ή φυτά δένδρων που αναπτύσσονται όπου το μέσο βάθος ροής είναι από δύο έως τρεις φορές το ύψος της βλάστησης 8- έως 10-ετών ιτιά Δέντρα ηλικίας 8 έως 10 ετών που απέχουν τυχαία σε όλο το κανάλι όπου το βάθος ροής πλησιάζει το ύψος της βλάστησης. Ψριμμετιές και αλμυρίκια που είναι διασκορπισμένα κατά περισσότερο από 70 τοις εκατό της περιοχής ροής, προκαλώντας στροβιλισμό στο μεγαλύτερο μέρος του τμήματος
Μικρό	0.002-0.010	
Μέτριο	0.010-0.025	
Μεγάλο	0.025-0.050	
Πολύ μεγάλο	0.50-0.100	
Τεράστιο	0.100-0.200	
Φυσικά εμποδία		
Χαμηλό	1.00	Ο λόγος του μήκους του καναλιού προς το μήκος της κοιλάδας είναι 1,0 έως 1,2. Ο λόγος του μήκους του καναλιού προς το μήκος της κοιλάδας είναι 1,2 έως 1,5. Ο λόγος του μήκους του καναλιού προς το μήκος της κοιλάδας είναι μεγαλύτερος από 1,5
Υπολογίσιμο	1.15	
Αυστηρό	1.30	

Πίνακας 3: Αναλυτικός πίνακας με το εύρος τιμών n ανά κατηγορία (Phillips & Tadayan, 2006).

Mariorema			Degree of irregularity	Variation in channel cross section	Effect of obstructions	Amount of vegetation	Meandering		
	n	n0	n1	n2	n3	n4	m	K	
min	0,04	0,028	0,005	0,002	0,005	0	1	25,0	max
prob	0,048	0,03	0,006	0,005	0,007	0	1	20,8	prob
max	0,06	0,035	0,007	0,007	0,01	0,001	1	16,7	min

Πίνακας 4: Αναλυτικός πίνακας τιμών n.

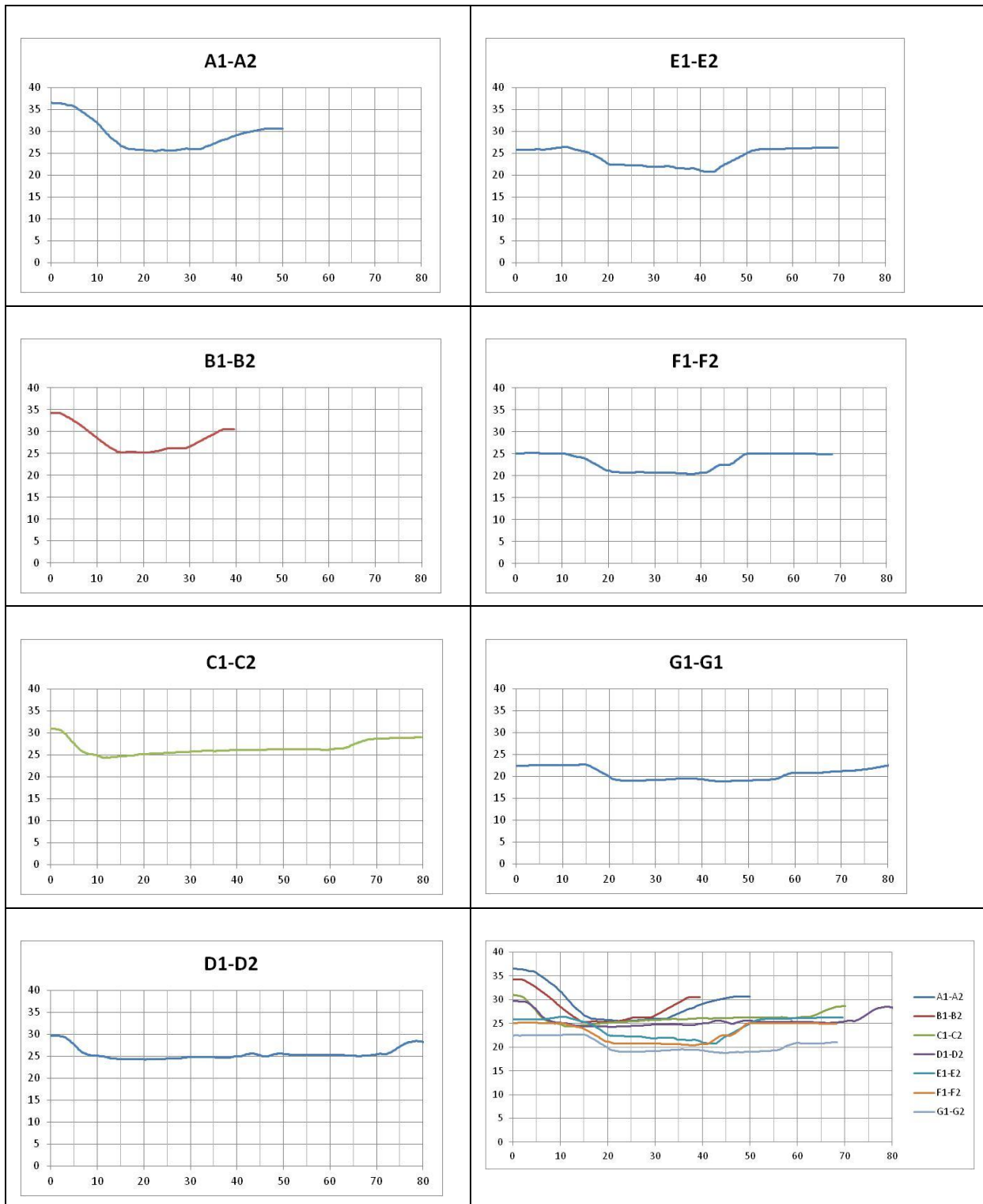
Με οδηγό το εύρος τιμών πανά κατηγορία, την επιτόπια έρευνα και το φωτογραφικό υλικό υψηλής ανάλυσης καταλήξαμε στον παραπάνω πίνακα τιμών η της κοίτης με σκοπό τον υπολογισμό του συντελεστή τραχύτητας. Συγκεκριμένα ο πίνακας μας δηλώνει ότι στη διατομή της κοίτη υπάρχουν ελαφρώς έως μερικώς διαβρωμένες πλαγιές, ότι η διακύμανση της διατομής του καναλιού εναλλάσσεται σε μικρές και μεγάλες περιστασιακά. Επιπλέον, η επίδραση των εμποδίων είναι σε χαμηλό επίπεδο με μερικά διάσπαρτα εμπόδια, τα οποία περιλαμβάνουν αποθέσεις και απομονωμένους ογκόλιθους. Η ποσότητα της βλάστησης στη περιοχή της διατομής είναι αμελητέα και περιλαμβάνεται από θάμνους ή γρασίδι. Τέλος, ο βαθμός μεανδρυσμού είναι χαμηλός χωρίς παρουσία φυσικών εμποδίων

2.4.5. Υπολογισμοί

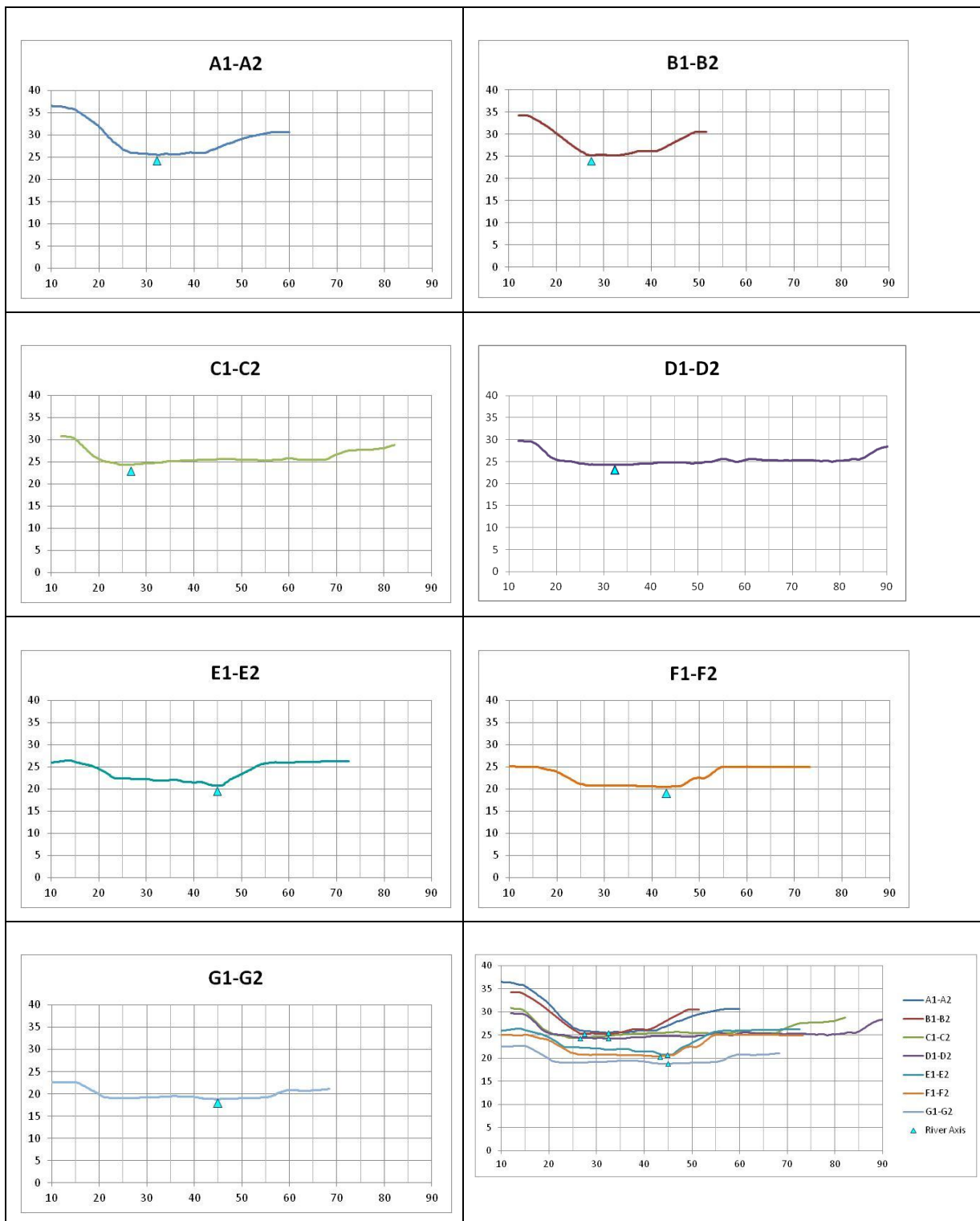
Μετά τη δημιουργία των διαδοχικών τομών στο ArcGIS, έγινε εξαγωγή των δεδομένων τους σε πίνακες με σημεία μορφή (x,y), όπου x η θέση κατά μήκος της τομής και y το απόλυτο υψόμετρο. Η συνέχεια της επεξεργασίας έγινε στο MSExcel. Για κάθε τομή έγινε προβολή σε γράφημα και στη συνέχεια προβλήθηκαν όλες οι τομές σε κοινό γράφημα.

Για να είναι πιο άμεσα και οπτικά συγκρίσιμες οι τομές, τροποποιήθηκε η προβολή ώστε να ευθυγραμμιστούν οι δεξιές κοίτες. Στη συνέχεια ακολούθησε η εξής επεξεργασία:

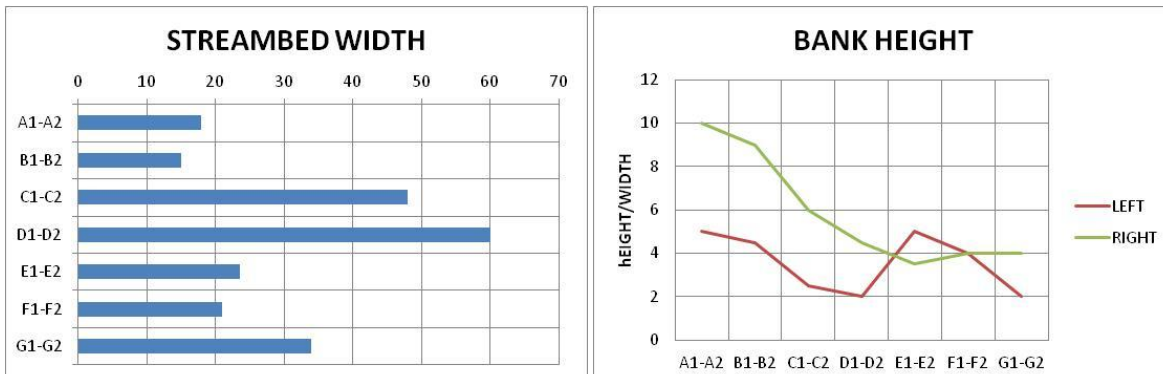
- Προβολή σε γράφημα κάθε τομής ξεχωριστά.
- Εύρεση και προβολή στο γράφημα της κάθε τομής, του χαμηλότερου σημείου της κοίτης (μισγάγγεια).
- Μέτρηση του πλάτους του δαπέδου της κοίτης.
- Μέτρηση του ύψους της αναβαθμίδας από την κοίτη για κάθε όχθη.
- Υπολογισμός του λόγου ύψους/πλάτος.
- Υπολογισμός της ποσοστιαίας μεταβολής του πλάτους από τομή σε τομή.
- Προβολή όλων των τομών μαζί με ευθυγραμμισμένη τη δεξιά κοίτη.
- Προβολή όλων των σημείων μισγάγγειας μαζί.



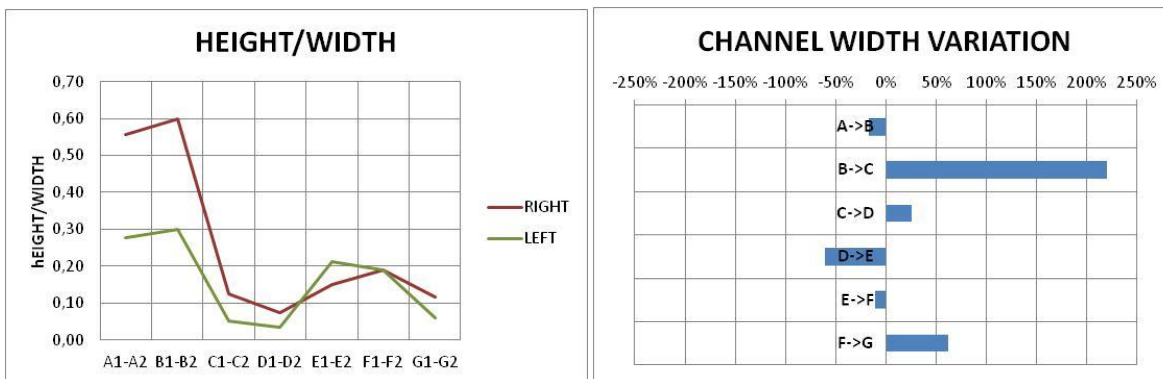
Σχήμα 1: Προβολή για κάθε τομή της κούφης και όλες μαζί σε κοινό γράφημα(σε σταθερό μήκος)



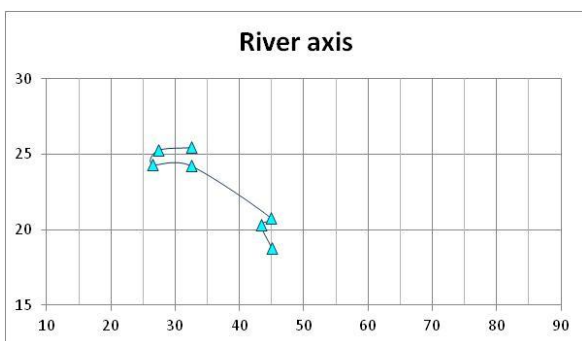
Σχήμα 2: Εύρεση και προβολή στο γράφημα της κάθε τομής, του χαμηλότερου σημείου της κοίτης (μισγάγγεια).



Σχήμα 3: Μέτρηση του πλάτους του δαπέδου της κοίτης και του ύψους της αναβαθμίδας από την κοίτη για κάθε όχθη



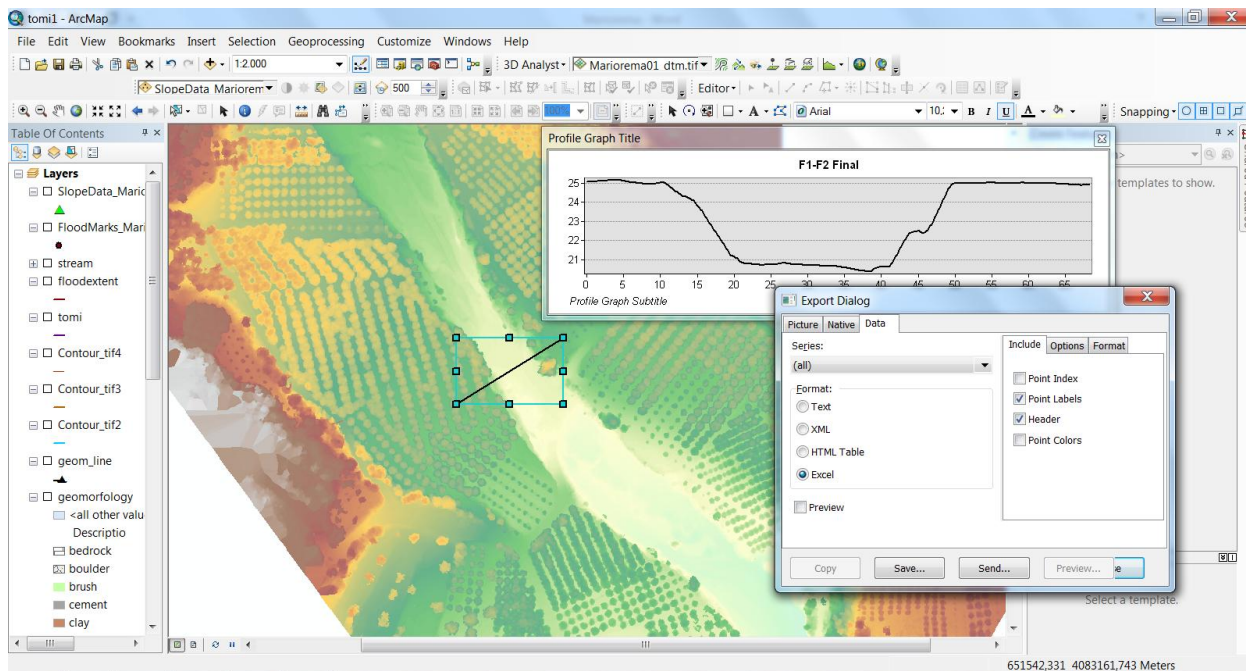
Σχήμα 4: Υπολογισμός του λόγου ύψους/πλάτους και της ποσοστιαίας μεταβολής του πλάτους από τομή σε τομή.



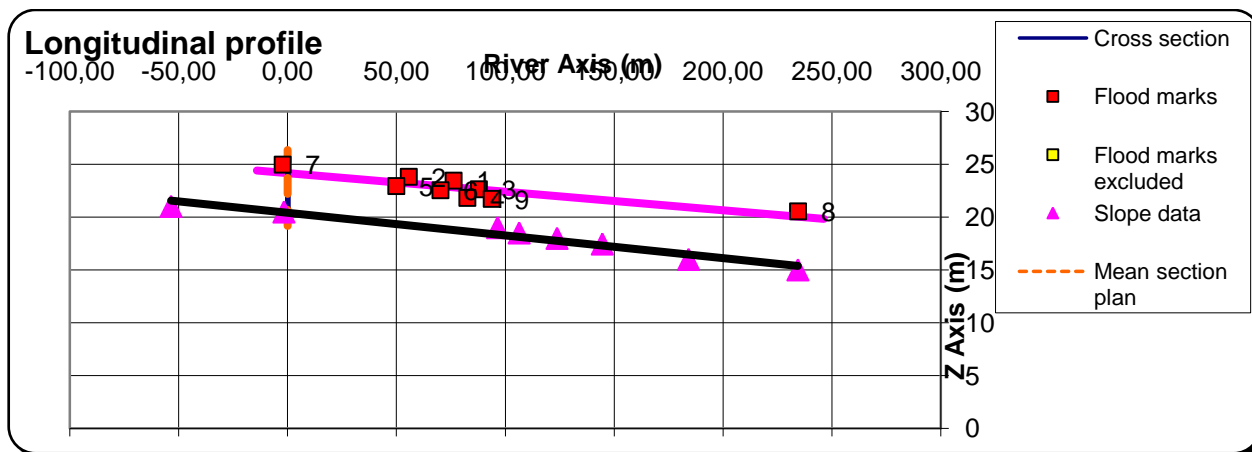
Σχήμα 5: Προβολή όλων των σημείων μισγάγγειας μαζί κατά μήκος του άξονα ροής.

Παρατηρώντας και μελετώντας τα παραπάνω γραφήματα καταλήξαμε στην επιλογή της τομής F1-F2. Συγκεκριμένα, οι τομές G1-G2 και F1-F2 έχουν τη μικρότερη διαφορά πλάτους μεταξύ τους, η επιλεγόμενη τομή έχει το ίδιο ύψος αναβαθμίδας στις δυο όχθες της κοίτης σε σχέση με τις υπόλοιπες τομές. Ο λόγος ύψους /πλάτους είναι το ίδιο για κάθε όχθη της τομής. Τέλος, η F1-F2 έχει τη μικρότερη

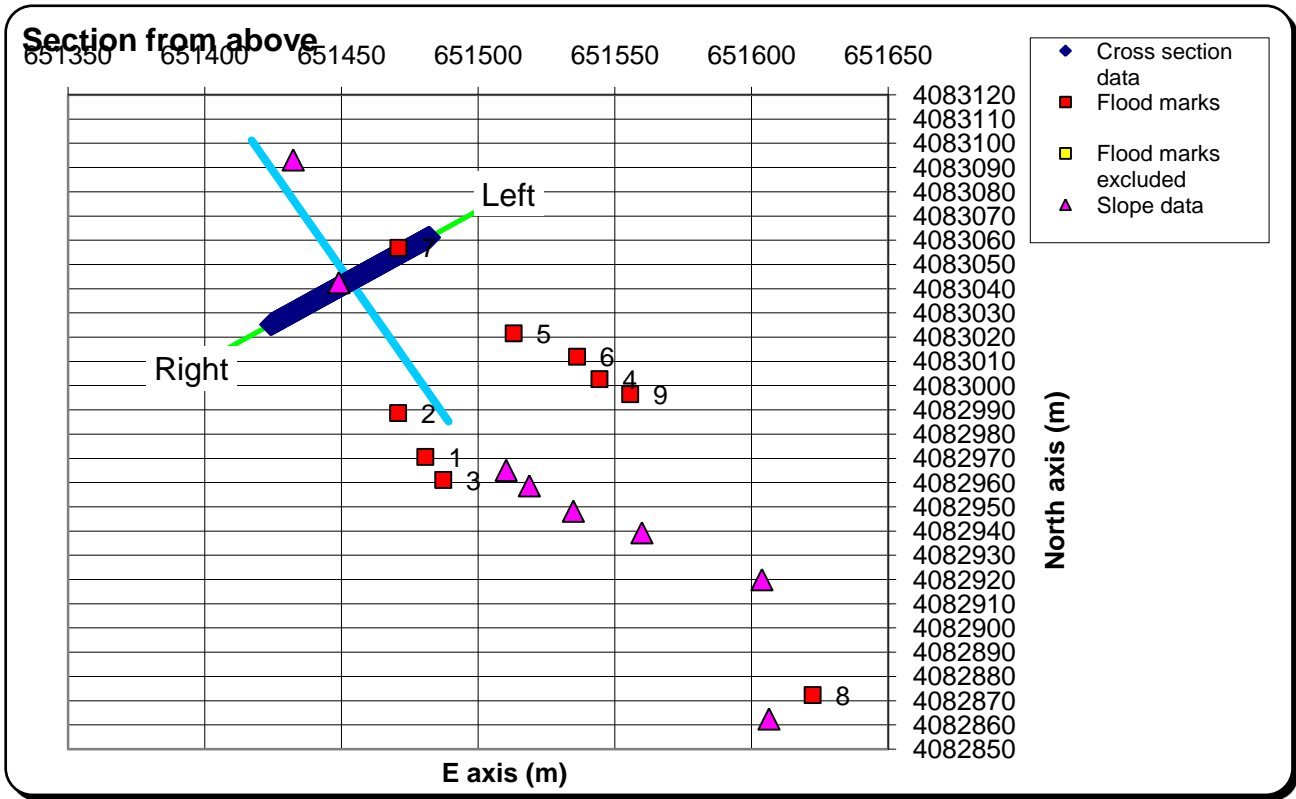
ποσοστιαία μεταβολή στο πλάτος σε σχέση με τις υπόλοιπες και συγκριτικά με τις δύο που την περιβάλλουν (E1-E2, G1-G2). Στην συνέχεια από το περιβάλλον ArcMap κάναμε εξαγωγή των τιμών της τελικής τομής σε υπολογιστικά φύλλα excel και ακολούθησε η επεξεργασία και εισαγωγή τιμών τομής, κλίσης και πλημμύρας στον αριθμητικό αλγόριθμο υπολογισμού παροχής αιχμής που μας παραχώρησε ο Laurent Bouinfaït και η ομάδα του. Παρακάτω ακολουθούν τα γραφήματα με τη κάτοψη της τομής και τις θέσεις που έχουν τα σημεία κλίσεων και πλημμύρας όπως και η τομή κάθετη στη ροή του ποταμού, επιπλέον το εγκάρσιο προφίλ της τομής και στο οποίο παρατηρούμε την βρεγμένη περιοχή, όπως και το διαμήκεις προφίλ και τις θέσεις των παραγόντων που συμβάλουν στον υπολογισμό της παροχής αιχμής.



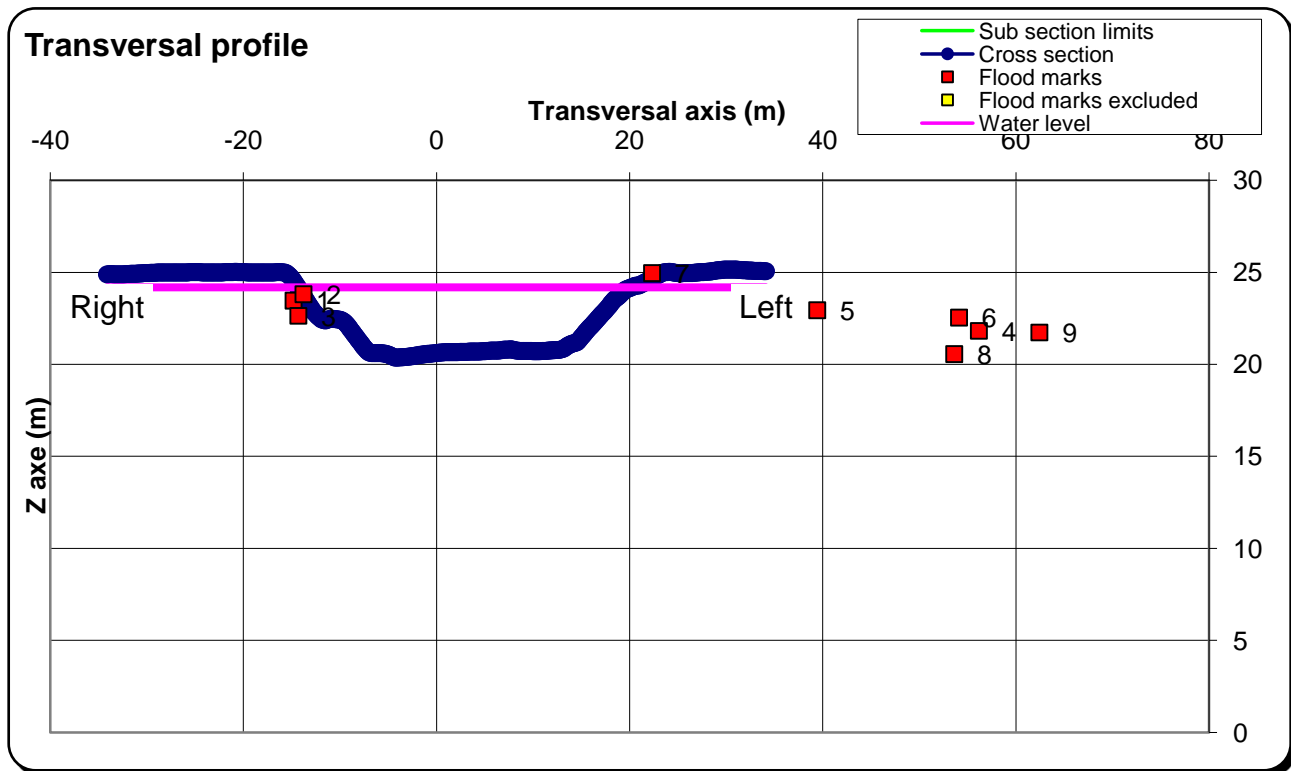
Εικόνα 2.4.5: Απεικόνιση τελικής τομής στη περιοχή μελέτης και η διαδικασία export → excel.



Σχήμα 6: Επιμήκης τομή στην κοίτη

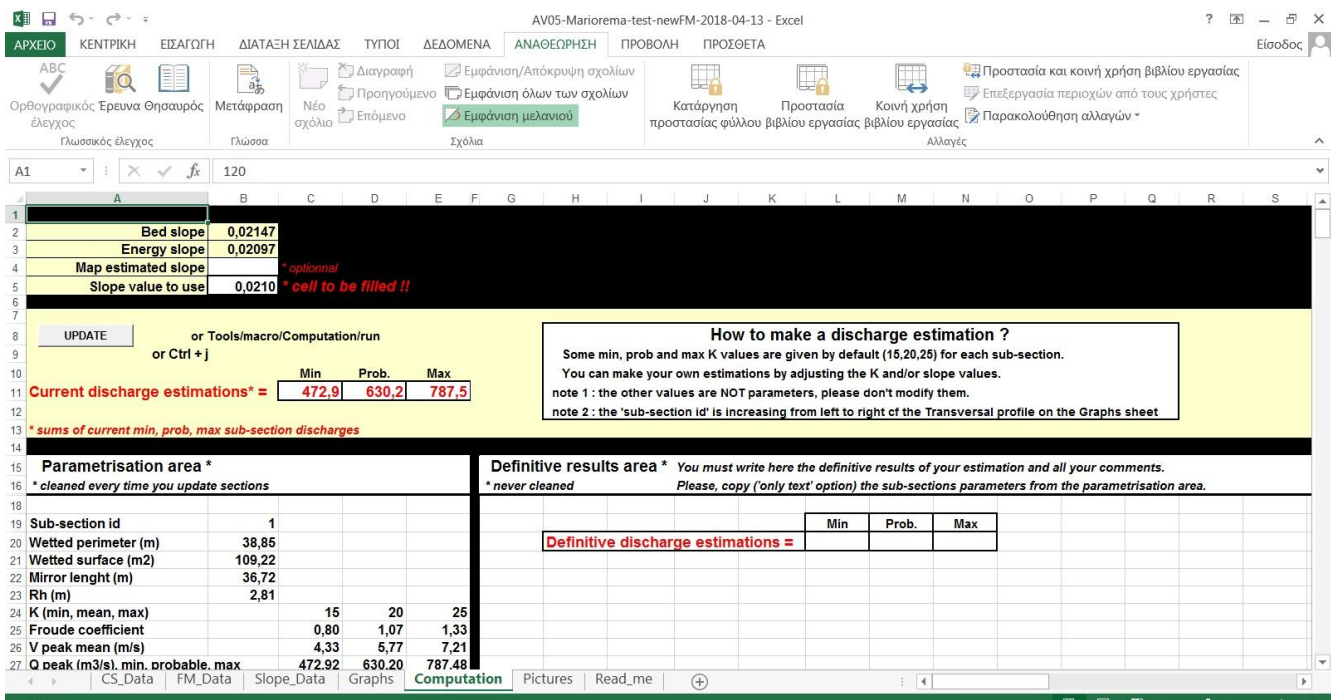


Σχήμα 7: Κάτοψη της τομής



Σχήμα 8: Εγκάρσια τομή της κοίτης

Για την ολοκλήρωση του υπολογισμού παροχής αιχμής στον αλγόριθμο πέρα από την εισαγωγή τιμών τομής, σημείων κλίσεων και πλημμύρας, χρειάστηκε να προσθέσουμε και τις τιμές του συντελεστή τραχύτητας της κοίτης που υπολογίσαμε παραπάνω. Δηλαδή τις τιμές $K_{max}=25.0$, $K_{prob}=20.8$ και $K_{mix}=16.7$ όπως φαίνεται στο παρακάτω υπολογιστικό φύλλο excel. Εισάγοντας τις παραπάνω τιμές και κάνοντας ενημέρωση φύλλου (update) υπολογίστηκε η παροχή αιχμής. Συγκεκριμένα, η υγρή περιοχή $109.22m^2$, η βρεγμένη περίμετρος $38.85m$, η υδραυλική ακτίνα $2.81 m$, προσθέτοντας και τις τιμές τραχύτητας (mix,prob,max), υπολόγισε αντιστίχως και τη παροχή αιχμής min,prob,max. Συμπερασματικά, από όλα τα παραπάνω βήματα καταλήξαμε ότι για την μέγιστη τιμή ταχύτητας ροής $V_{peak}= 7.21m/s$ μέγιστη παροχή αιχμής στην ερευνούσα περιοχή είναι $Q_{peak}=787.48 m^3/s$, ενώ αντιστοίχως οι ελάχιστες και οι πιθανότερες τιμές ταχύτητας και παροχής αιχμής είναι 4.33 και $5.77m/s$ και 472.92 , $630.20 m^3/s$.



Εικόνα 2.4.6: Υπολογισμός παροχής αιχμής και τελικές τιμές.

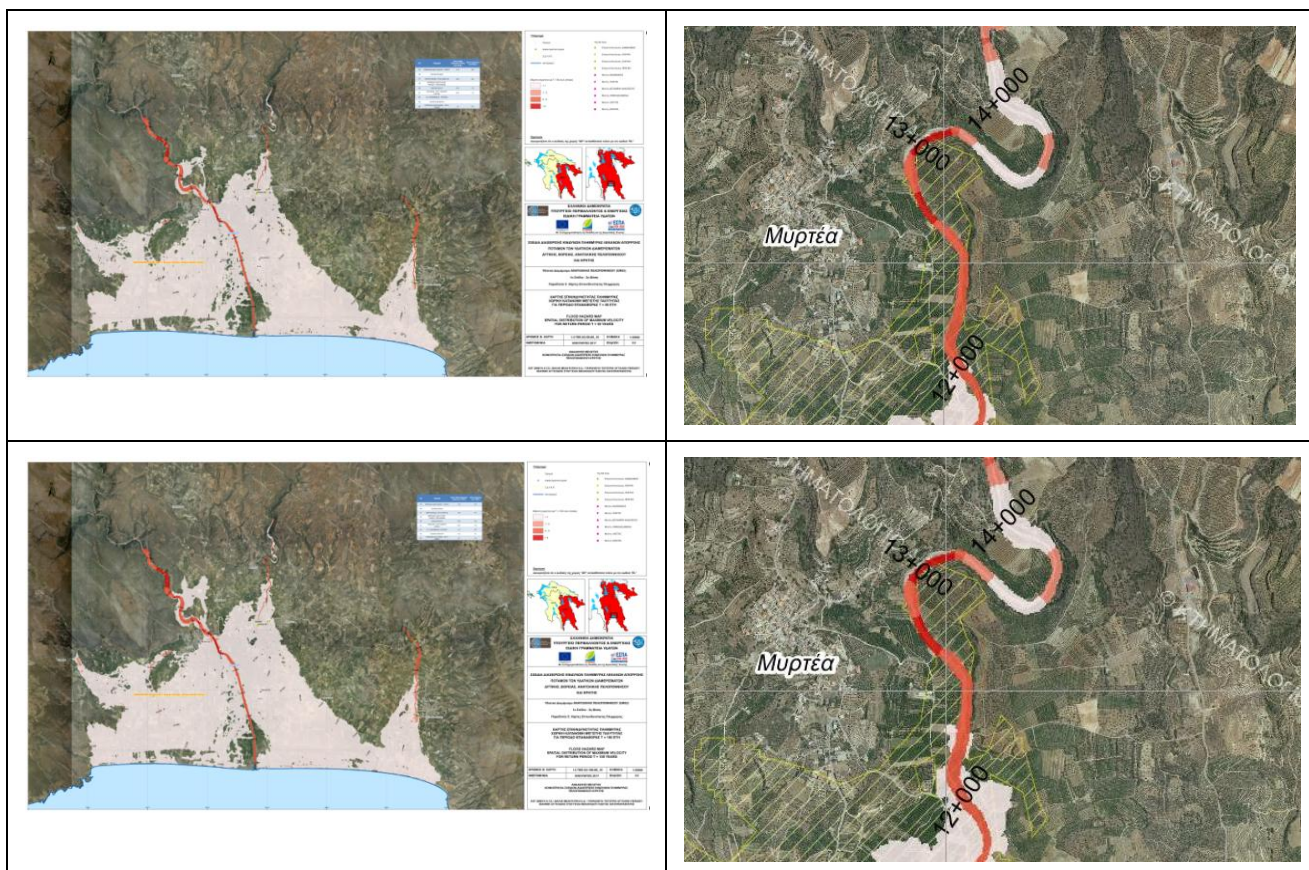
2.5. Επαλήθευση αποτελεσμάτων

Συνοψίζοντας τα στοιχεία της υδραυλικής ακτίνας (2.81m), της πιθανότερης ταχύτητας ροής (5.77m/s) και της πιθανότερης παροχής αιχμής (630.2m³/s) μπορεί να γίνει μια σύγκριση με τις προβλέψεις των μοντέλων που έχουν καταρτιστεί για την περιοχή στα πλαίσια των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας.

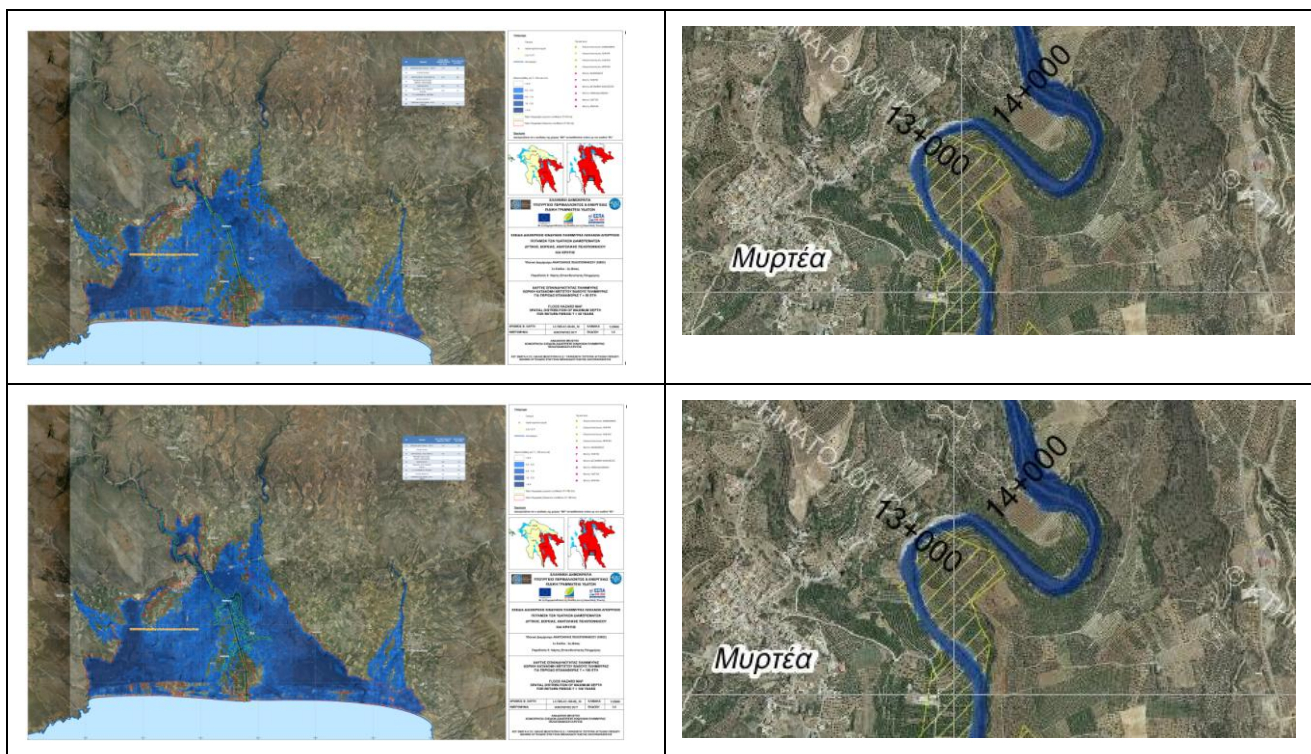
Το Μαριόρεμα απορρέει σε μια Ζώνη Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας, εντοπισμένη σε όλες τις σχετικές ερευνητικές εργασίες που αφορούν την περιοχή της Πελοποννήσου ή της Λακωνίας (Michalis Diakakis et al., 2012; Fountoulis, Mariolacos, Andreadakis, Sambaziotis, & Karagiozi, 2007; Μαριολάκος, Φουντούλης, Ανδρεαδάκης, Σαμπαζιώτης, Καπουράνη, et al., 2007; Μαριολάκος, Φουντούλης, Ανδρεαδάκης, Σαμπαζιώτης, & Μαυρούλης, 2007) και στο πρόσφατο Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Ανατολικής Πελοποννήσου (ΑΔΤ-ΩΜΕΓΑ ΑΤΕ et al., 2017). Στο σχέδιο η ευρύτερη περιοχή αποτελεί τη ΖΔΥΚΠ ΕΛ03ΡΑΚ0001 "Χαμηλή ζώνη π. Ευρώτα (περιοχές οικισμών Σκάλας, Έλους)" με κωδικό περιοχής χάρτη 06-10.

Η κοίτη του Μαριορέματος που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία έχει μοντελοποιηθεί και είναι διαθέσιμοι οι χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας για περίοδο επαναφοράς T ίση με 50, 100 και 1000 έτη, τόσο ως προς τη χωρική κατανομή μέγιστης ταχύτητας, όσο και ως προς την χωρική κατανομή μέγιστου βάθους πλημμύρας, αντίστοιχα.

Ως προς την ταχύτητα πλημμύρας, η περιοχή που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία βρίσκεται σε ζώνη μέγιστης ταχύτητας $>5\text{m/s}$, σε όλους τους χάρτες μέγιστης ταχύτητας των 50, 100 και 1000 ετών. Επομένως, οι υπολογισμοί (4.3, 5.7 και 7.2m/s) συμφωνούν με την πρόβλεψη των χαρτών επικινδυνότητας και η προτεινόμενη τιμή 5.7m/s είναι σαφώς μέσα στις προβλέψεις των υδραυλικών μοντέλων. Επίσης, στους χάρτες κατανομής μέγιστου βάθους πλημμύρας, η περιοχή που μελετήθηκε παρουσιάζει μέγιστο βάθος 1-2 m για την περίοδο 50 ετών, και πάνω από 2m για τις περιόδους 100 και 1000. Συνεπώς, το μέσο βάθος που αντιστοιχεί κατά προσέγγιση στην υδραυλική ακτίνα (2.81m) που προέκυψε είναι μέσα στις προβλέψεις για πλημμύρες με περίοδο πάνω από 50 έτη.

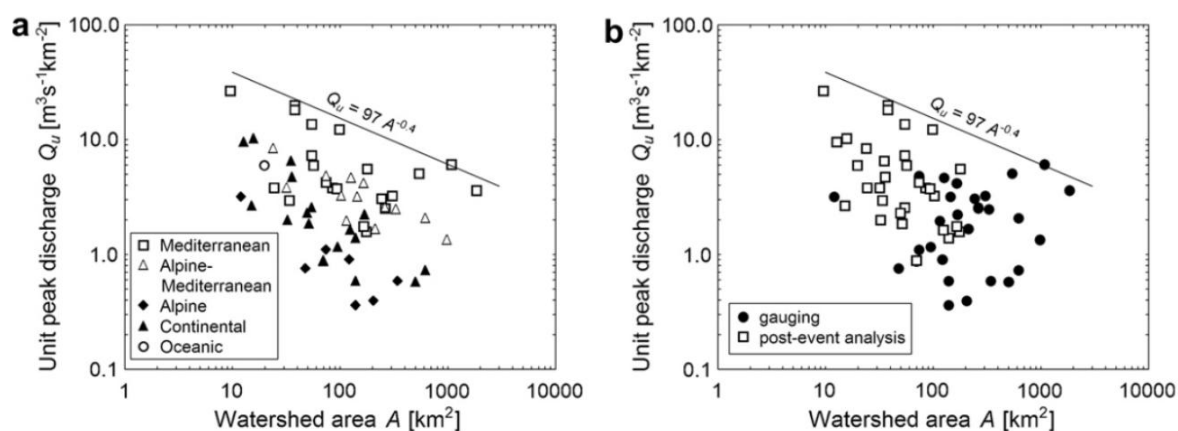


Εικόνα 2.7.1: Χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας για περίοδο επαναφοράς T ίση με 50 (πάνω) και 100 (κάτω) έτη (χωρική κατανομή μέγιστης ταχύτητας). Αριστερά: ολόκληρη η περιοχή, δεξιά: η περιοχή που μελετήθηκε στο παρόν (ΑΔΤ-ΩΜΕΓΑ ΑΤΕ et al., 2017). Το σκούρο κόκκινο χρώμα αντιστοιχεί σε μέγιστη ταχύτητα $>5\text{m/s}$.

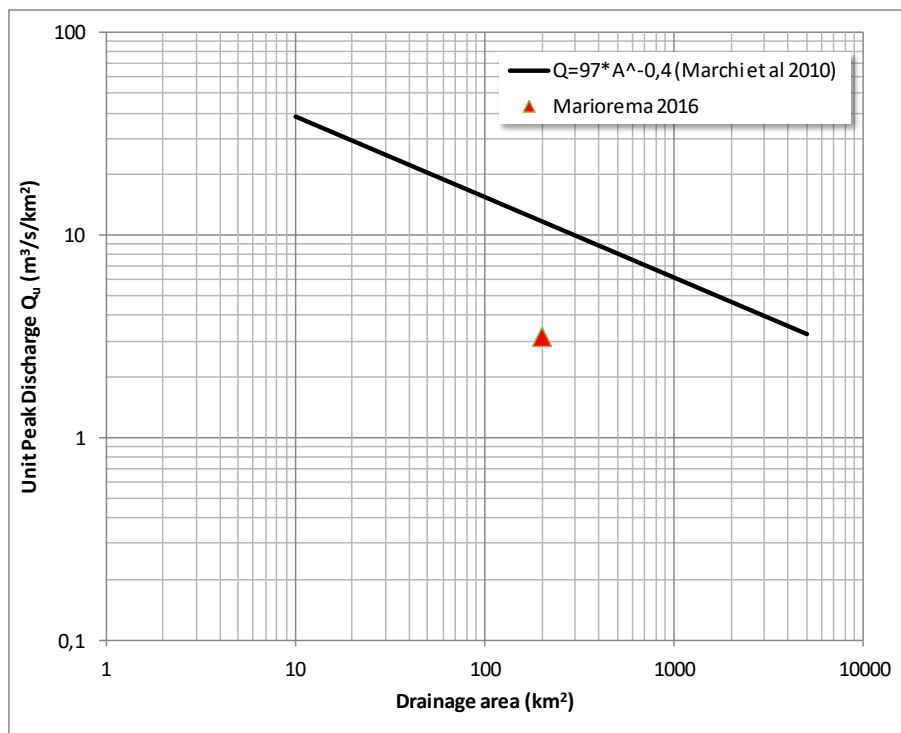


Εικόνα 2.7.2: Χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας για περίοδο επαναφοράς T ίση με 50 (πάνω) και 100 (κάτω) έτη (χωρική κατανομή μέγιστου βάθους πλημμύρας). Αριστερά: ολόκληρη η περιοχή, δεξιά: η περιοχή που μελετήθηκε στο παρόν (ΑΔΤ-ΩΜΕΓΑ ΑΤΕ et al., 2017). Το σκούρο μπλε χρώμα αντιστοιχεί σε μέγιστο βάθος $>2\text{m}$.

Το αποτέλεσμα μπορεί να συγκριθεί και με τις περιβάλλουσες καμπύλες της μοναδιαίας παροχής αιχμής για το Μεσογειακό χώρο (Marchi, Borga, Preciso, & Gaume, 2010). Η μοναδιαία παροχή αιχμής είναι η παροχή αιχμής ανηγμένη στο τετραγωνικό χιλιόμετρο της λεκάνης απορροής. Δεδομένου ότι η λεκάνη απορροής του Μαριορέματοςζανάνη της θέσης μέτρησης είναι 199km^2 , με παροχή αιχμής υπολογισμένη στα $630\text{m}^3/\text{s}$, η μοναδιαία παροχή αιχμής (unit peak discharge, Q_u) υπολογίζεται σε $3.17\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.



Εικόνα 2.7.3: Μοναδιαία παροχή αιχμής σε σχέση με την έκταση της λεκάνης, α. κατά κλιματικό τύπο και β. ανάλογα με τη μέθοδο υπολογισμού (Gaumeetal., 2009; Marchietal., 2010).



Εικόνα 2.7.4: Μοναδιαία παροχή αιχμής για την πλημμύρα του Μαριορέματος τον Σεπτέμβριο του 2016 σε σχέση με την έκταση της λεκάνης, α. κατά κλιματικό τύπο και β. ανάλογα με τη μέθοδο υπολογισμού (Gaumeetal., 2009; Marchietal., 2010).

2.6. Επίδραση στη γεωμορφολογία

Η γεωμορφολογία είναι η επιστήμη εκείνη που μελετά το γήινο ανάγλυφο, τις γεωμορφές του, την προέλευσή τους, τις διαδικασίες που τις διαμορφώνουν και τις εξελίσσουν στο χρόνο. Οι γεωμορφές διακρίνονται σε εκείνες που βρίσκονται βυθισμένες (κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, στους πυθμένες θαλασσών, ωκεανών και λιμνών) και σε εκείνες που βρίσκονται στην επιφάνεια, εκτεθειμένες στις ατμοσφαιρικές διεργασίες της επιφάνειας της γης. Η περιοχή, ο χώρος που εκτείνεται μεταξύ των δύο αυτών ειδών των γεωμορφών αποτελεί τον παράκτιο χώρο ή την ακτή (σε θάλασσες ή λίμνες) και οι γεωμορφές που δημιουργούνται και εξελίσσονται στην περιοχή αυτή είναι οι παράκτιες γεωμορφές. Το ανάγλυφο της επιφάνειας της γης διαμορφώνεται από τη συνδυαστική δράση των ενδογενών, εξωγενών και κοσμικών διεργασιών. Οι ενδογενείς διεργασίες που περιλαμβάνουν τις τεκτονικές κινήσεις των πλακών, τα θερμικά-βαρυτικά ρεύματα του μανδύα και τις ηφαιστειακές δράσεις, σε συνδυασμό με τις εξωγενείς διεργασίες που διέπονται από φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες (εξαλλοίωσης, διάλυσης, ενυδάτωσης, οξειδωσης, διάβρωσης, αποσάθρωσης κ.ά.), και τη συμμετοχή των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, οδηγούν στη διαμόρφωση του γήινου αναγλύφου. Οι κοσμικές διεργασίες (μετεωρίτες,

αστεροειδείς, κοσμική σκόνη και ακτινοβολία) αποτελούν τις λεγόμενες έξω-γήινες διεργασίες που συμμετείχαν και συμμετέχουν ενεργά τόσο στη διαμόρφωση και εξέλιξη του πλανήτη μας όσο και στη δημιουργία και εξέλιξη του ηλιακού μας συστήματος (Παυλόπουλος, 2008).

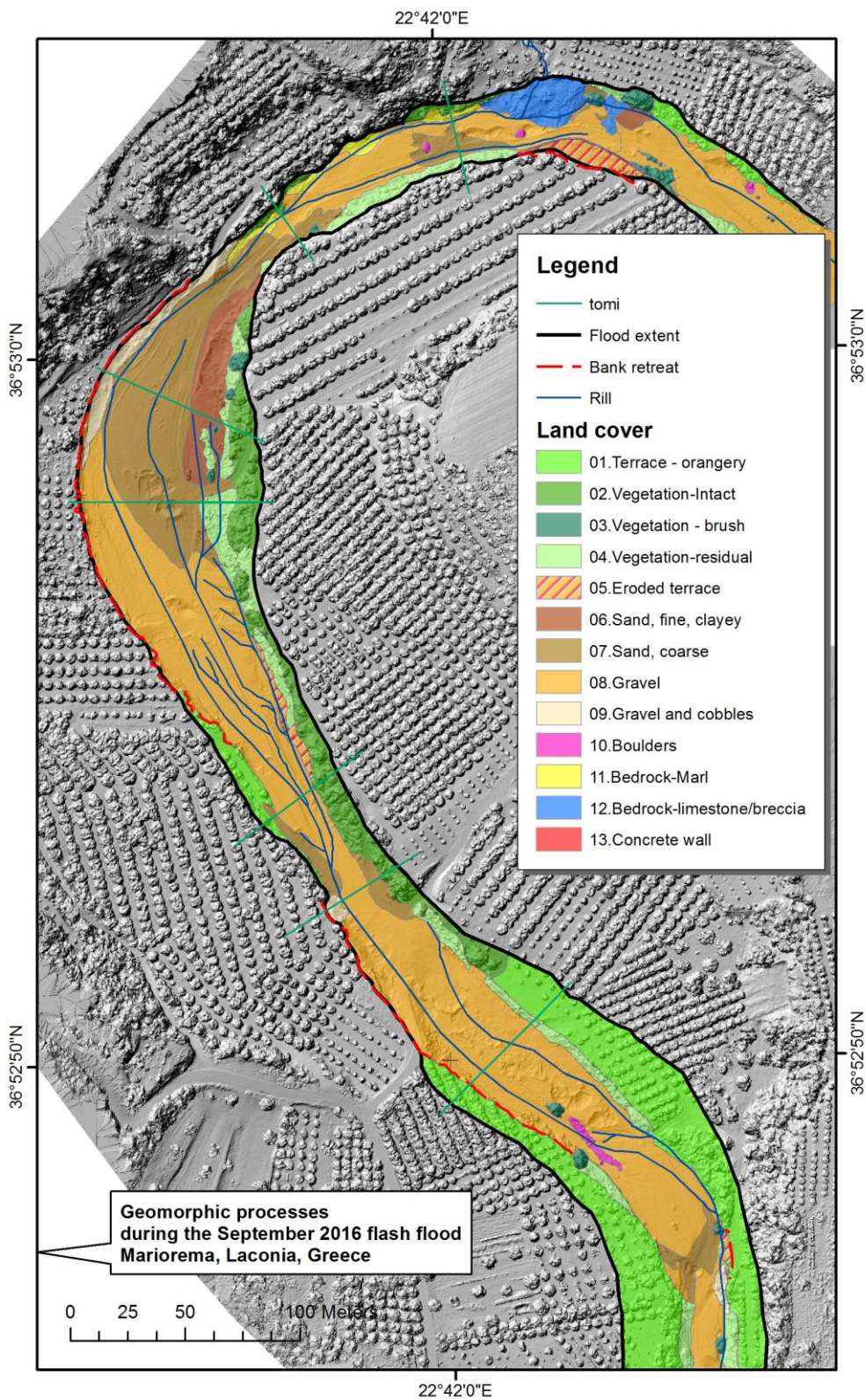
Η γεωμορφολογική εξέλιξη μιας περιοχής είναι η δυναμική διαδικασία μετάβασης από ένα περιβάλλον σ' ένα άλλο διαφορετικών συνθηκών, που χαρακτηρίζει μια χρονική περίοδο εξαρτώμενη από τη γεωλογική δομή της περιοχής, την τεκτονική της εξέλιξη, τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες, την ένταση και τον χρόνο επίδρασης των διεργασιών, τις ανθρώπινες επεμβάσεις κ.ά. Η μελέτη και διερεύνηση της γένεσης και εξέλιξης των γεωμορφών, καθώς επίσης και των διεργασιών που τις διαμορφώνουν, αποτελεί μια πολύπλοκη συνθετική εργασία ενός πλήθους μεταβλητών παραγόντων, δυναμικά αλληλεξαρτημένων (Παυλόπουλος, 2008).

Οι γεωμορφολογικοί χάρτες απεικονίζουν τα γεωμορφολογικά στοιχεία μίας περιοχής. Σε αυτούς απεικονίζονται όλα τα απαραίτητα γεωμορφολογικά, χαρακτηριστικά της περιοχής. Οι πληροφορίες που συμπεριλαμβάνουν είναι κυρίως μορφογραφικού χαρακτήρα, ενώ από τη μελέτη και ερμηνεία τους είναι δυνατόν να διεξαχθούν συμπεράσματα για τη γένεση των γεωμορφών και την εξέλιξή τους κατά τη διάρκεια της γεωμορφολογικής ιστορίας της υπό μελέτη περιοχής. Η δημιουργία γεωμορφολογικών χαρτών απαιτεί την επί τόπου αναγνώριση και μελέτη των γεωμορφών της περιοχής, αλλά και την ερμηνεία αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων. Τα αποτελέσματα από τη συνδυαστική μελέτη αναλύονται λεπτομερώς και ερμηνεύονται, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένας ακριβής γεωμορφολογικός χάρτης που θα απεικονίζει όσο το δυνατόν πιο πιστά την υπό μελέτη περιοχή (Παυλόπουλος, Σκέντος, & Κοταμπάση, 2009). Η γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης είναι το συνδυασμένο αποτέλεσμα της γεωμορφολογικής δομής, της τεκτονικής εξέλιξης και της ενέργειας της διάβρωσης, η οποία προκαλεί την προοδευτική εξομάλυνση του αναγλύφου. Παράλληλα με τη δράση του νερού, τα προϊόντα της διάβρωσης και της αποσάθρωσης, μεταφέρονται και αποτίθενται σε περιοχές με μικρότερη κλίση. Η μορφολογία της περιοχής αποτελεί το συνδυασμένο αποτέλεσμα της γεωλογικής δομής και της διαβρωτικής ενέργειας των φυσικών παραγόντων λόγω πλημμυρικού φαινομένου. Κατά τη διάρκεια των πλημμυρικών φαινομένων γενικά και των ξαφνικών πλημμυρών ειδικότερα, παρατηρούνται, λόγω της έντασης των φαινομένων, ιδιαίτερες γεωμορφολογικές μεταβολές που σχετίζονται με διάβρωση και απόθεση, με αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση του τοπίου ώστε να προσαρμοστεί στις συνθήκες που διαμορφώθηκαν κατά τη διάρκεια της πλημμύρας. Συνδέονται δε και με φαινόμενα δυνάμει επικίνδυνα, όπως ρηχές ή μεγάλες κατολισθήσεις, λασποροές, ροές κορημάτων, αστοχίες οχθών κ.λπ. Η μελέτη αυτών των γεωμορφολογικών επιπτώσεων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη τόσο για την κατανόηση των μηχανισμών των φαινομένων, όσο και για τη, κατανόηση πιθανών κινδύνων για την ανθρώπινη δραστηριότητα στις ζώνες που αναπτύσσεται τέτοιο υψηλό δυναμικό (Ampronsah et al., 2016; Borga, Stoffel, Marchi, Marra, & Jakob, 2014; Jakob & Hungr, 2005; Ma, Wang, Du, Wang, & Li, 2016; Martini, Baker, & Garcon, 2002; Righini et al., 2017; M. Rinaldi et al., 2015; Massimo Rinaldi et al., 2016).

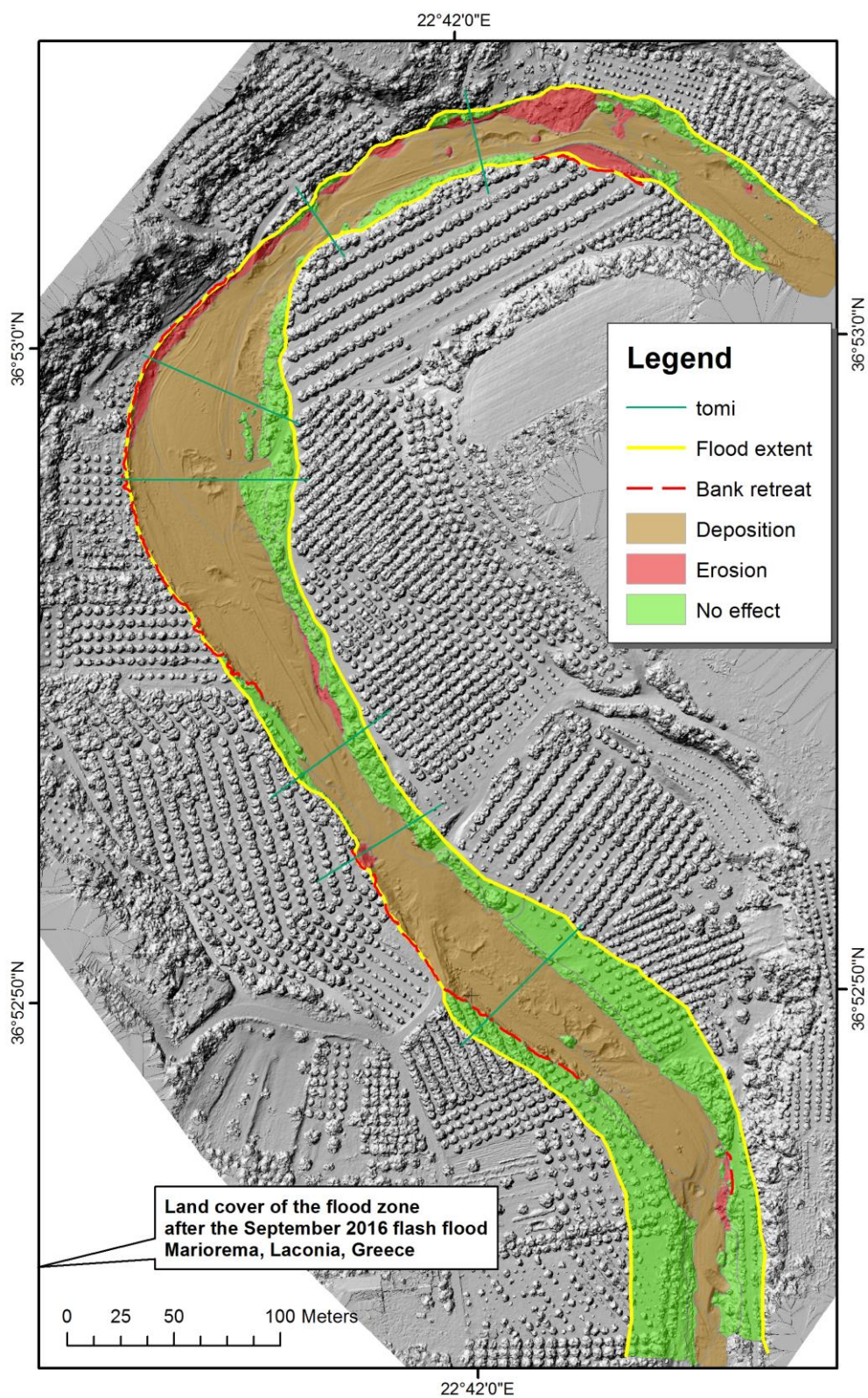
Στην περιοχή μελέτης εντοπίστηκαν και αποτυπώθηκαν οι γεωμορφές μετά το πλημμυρικό φαινόμενο του Σεπτεμβρίου 2016, από την επιτόπια έρευνα όπως και τις εικόνες υψηλής ανάλυσης του μη επανδρωμένου οχήματος για το τμήμα της κοίτης του Μαριορέματος που είχε επιλεγεί προς ανάλυση. Από το συνδυασμό των παραπάνω παραγόντων δημιουργήθηκε γεωμορφολογικός χάρτης της περιοχής. Χαρτογραφήθηκε το όριο της πλημμύρας με τη βοήθεια του πεδίου και του ορθοφωτοχάρτη (μοντέλο παραγόμενο από το Pix4D λογισμικό), καθώς και του βίντεο από τις μέρες της πλημμύρας. Επιπλέον ψηφιοποιήθηκε νέα μορφή της αναβαθμίδα που δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια του

φαινομένου, όπως και τις διαβρωμένες - αποσαθρωμένες περιοχές της κοίτης και τις ανεπηρέαστες – σταθερές περιοχές. Με τη βοήθεια των ισοϋψών, χαρτογραφήσαμε τη κοίτη του ποταμού, λόγω της υψηλής ανάλυσης (έως 3cm) λήψης, αναλύθηκε κοκκομετρία της κοίτης, όπου διακρίθηκαν ογκόλιθοι και στερεά υλικά, στο βόρεια σημεία της κοίτης, η διάβρωση ανέδειξε στην επιφάνεια παλαιότερες ποτάμιες αποθέσεις και την εμφάνιση μάργας και ασβεστολίθου και περιοχές όπου αποτέθηκαν υλικά όπως χάλικες, αμμοχάλικες και άμμο. Στους χάρτες προσθέσαμε και τα σημεία κλίσεων και πλημμύρας, τα οποία είχαν επιλεγεί κατά τη διάρκεια του πεδίου και ήταν απαραίτητα για τον υπολογισμό του συντελεστή Mapping. Στην συνέχεια ακολουθεί ο χάρτη με τις γεωμορφές, το όριο της πλημμύρας και την διαβρωμένη νέα αναβαθμίδα, ο χάρτης διάβρωσης και απόθεσης με τις τομές της κοίτης. Ακόμη, παράχθηκε ο ορθοφωτοχάρτης με την τελική τομή, το όριο της πλημμύρας και τα πλημμυρικά σημεία, όπως επίσης τα μοντέλα DTM και DSM στα οποία εμφανίζονται όλα οι παράγοντες που καθορίζουν το Qp, παράγοντες όπως σημεία κλίσης και πλημμύρας, τομή και όριο πλημμύρας. Ολοκληρώνοντας, ο χάρτης κλίσεων, όπου εμφανίζονται γενικότερα οι κλίσεις της περιοχής, παλιές και νεότερες αναβαθμίδες, προϊόντα διάβρωσης και απόθεσης.

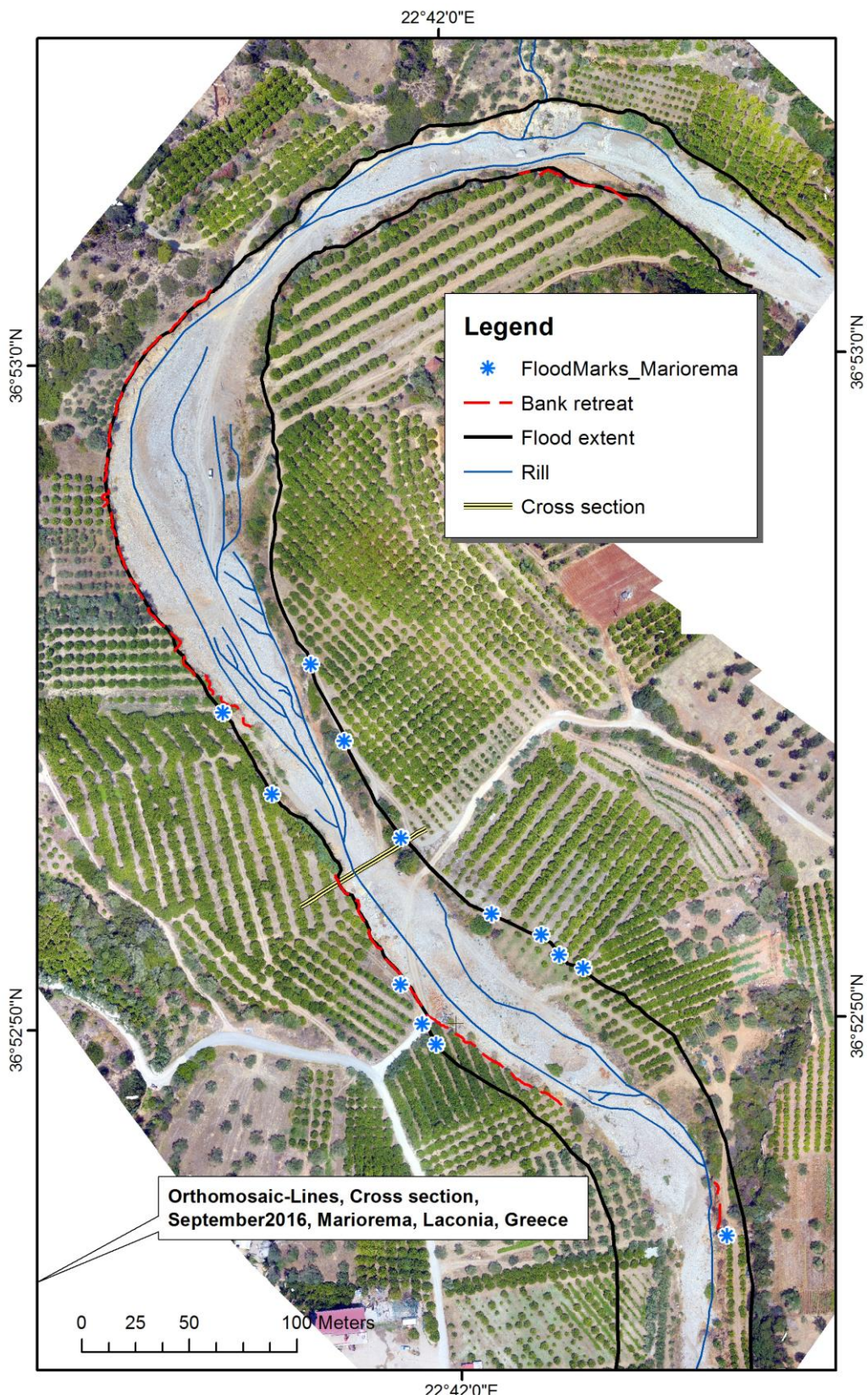
Συγκεκριμένα, στο χάρτη 1 απεικονίζεται η νέα ποτάμια αναβαθμίδα, η μισγαγγεια, το πλημμυρικό πεδίο της περιοχής, η κοκκομετρία της κοίτης μετά την έξαρση του φαινομένου, όπως και οι κάθετες τομές κατά μήκος του ποταμού, εκ των οποίων, στην συνέχεια καταλήξαμε στην τελική, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα που μας παρείχε για τον υπολογισμό της παροχής αιχμής. Στο χάρτη 2, παρατηρούμε στη πλημμυρισμένη περιοχή τα σημεία διάβρωσης, τη νέα ποτάμια αναβαθμίδα και υλικά απόθεσης όπως αμμοχάλικες, χάλικες και ογκόλιθους εναποθετημένα σε σημεία μέσα στην κοίτη με μικρότερη κλίση. Στο χάρτη 3 προσθέσαμε τα πλημμυρικά σημεία, τα οποία καταγράφηκαν από την επιτόπια έρευνα, όπως επίσης και τη τελική τομή της κοίτης, στην συνέχεια στο χάρτη 4 προσθέσαμε και τα σημεία κλίσης του ποταμού, σημεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό της παροχής αιχμής (χάρτης 5). Ο τελικός παραγόμενος χάρτης 6, μας παρουσιάζει τον χάρτη κλίσεων της ερευνηθείσας περιοχής, στον οποίο παρατηρούμε παλιότερες και νέα ποτάμιες αναβαθμίδες, την γεωμορφολογία της κοίτης με τις νέες γεωμορφές όπως χαρτογραφήθηκαν μετά το γεγονός, την μισγαγγεια, τα πλημμυρικά και κλίσεων σημεία της κοίτης.



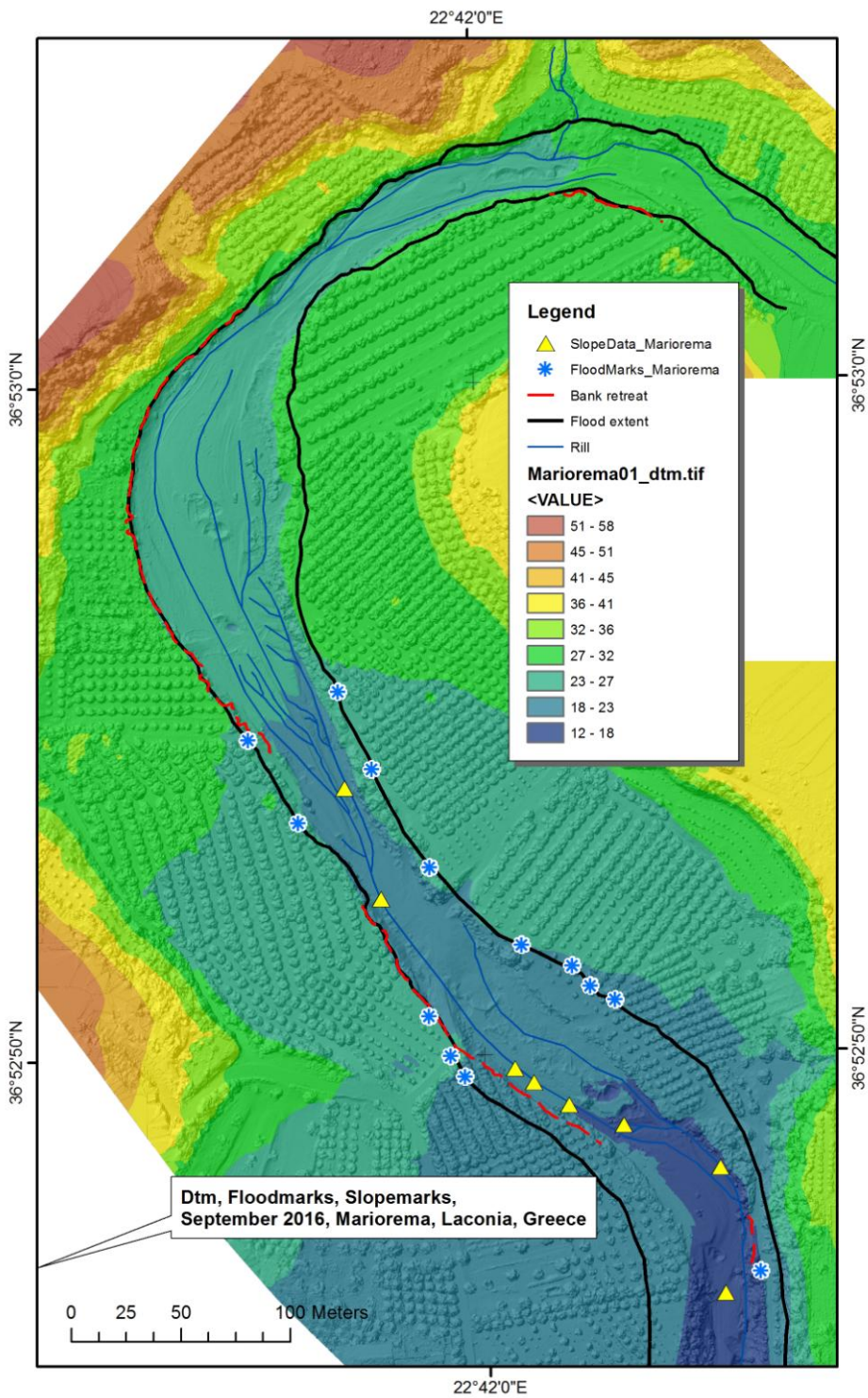
Χάρτης 1: Γεωμορφολογικές διεργασίες κατά τη διάρκεια του πλημμυρικού φαινομένου.



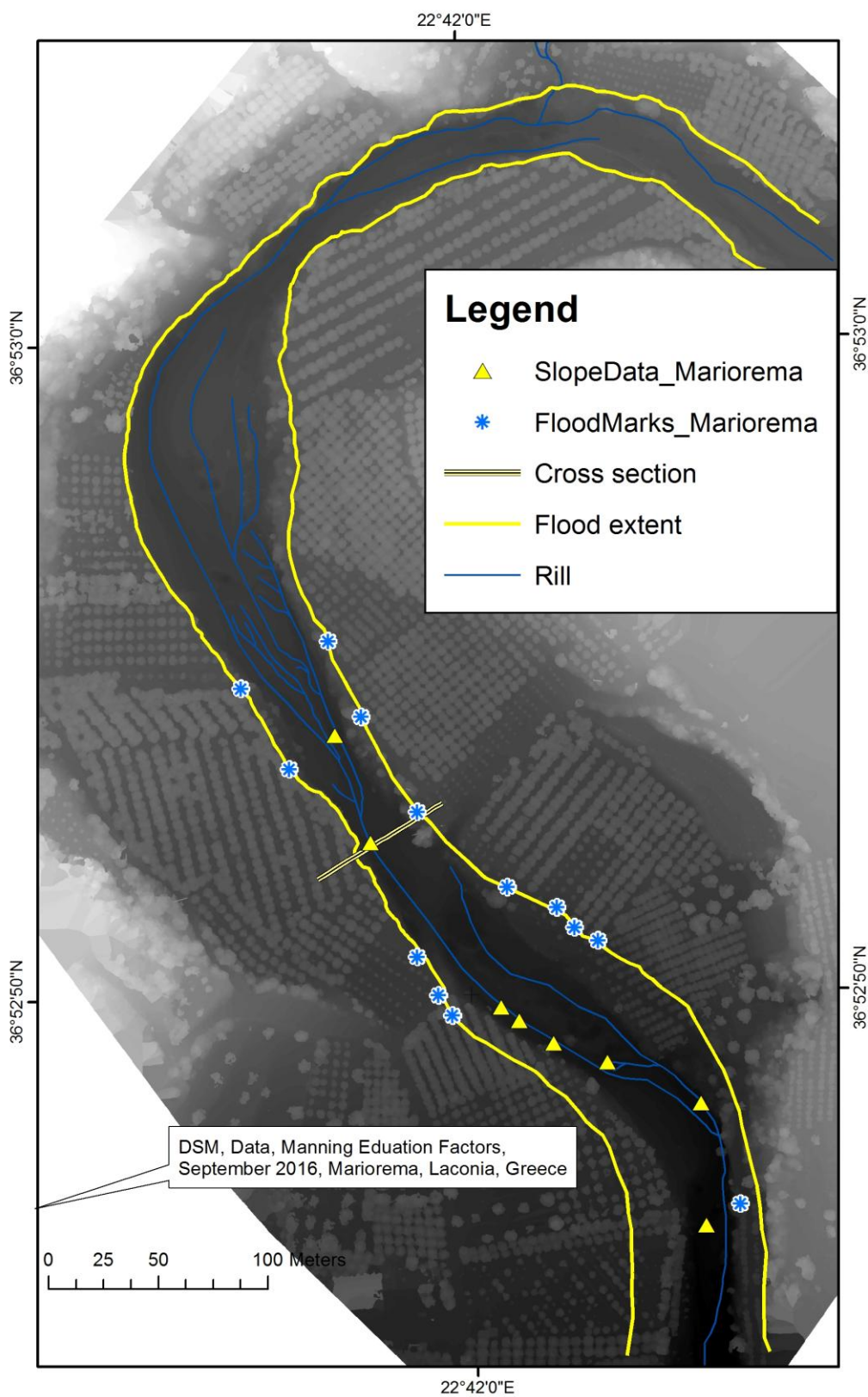
Χάρτης 2: Κάλυψη γης και όριο πλημμύρας.



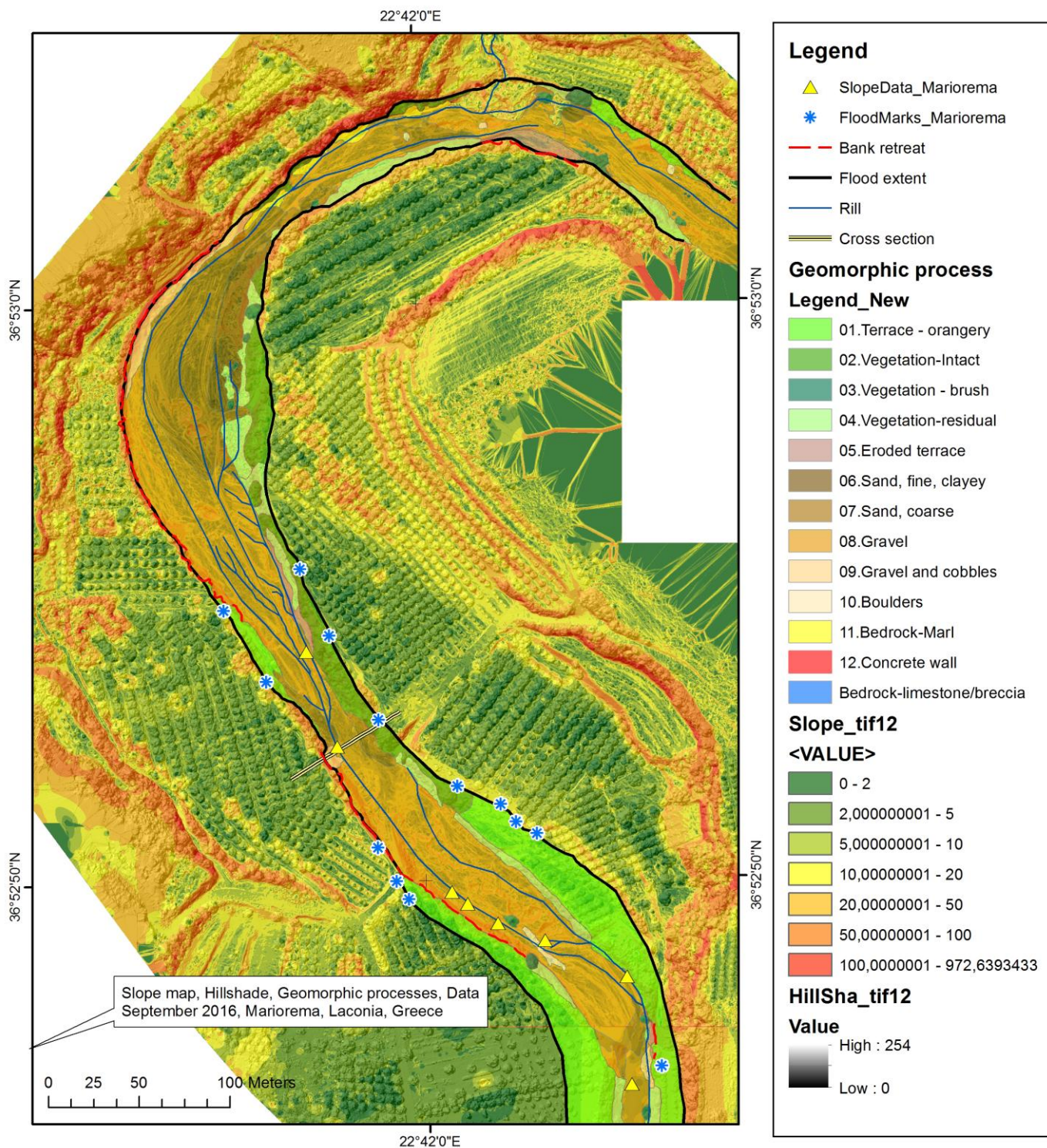
Χάρτης 3: Ορθοφωτοχάρτης και η τελική τομή προς μελέτης παροχής αιχμής.



Χάρτης 4: DTM μοντέλο με τα σημεία πλημμύρας και κλίσεων.



Χάρτης 5: DSM μοντέλο και οι παράγοντες υπολογισμού παροχής αιχμής.



Χάρτης 6: Χάρτης κλίσεων, γεωμορφολογικών διεργασιών και παραγόντων υπολογισμού παροχής αιχμής.

Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα

3.1. Συγκρίσεις με τη βιβλιογραφία για αντίστοιχα συμβάντα

Η χρήση μη επανδρωμένου οχήματος (UAV), τεχνολογίας UAV λειτουργεί ως ένα επιπλέον σημείο παρατήρησης μιας περιβαλλοντικής κρίσης, το οποίο έχει τη δυνατότητα γρήγορης συλλογής αεροφωτογραφιών μεγάλης ανάλυσης, ταξινόμησης των πληροφοριών λήψης, με εφαρμογές στη φωτογραμμετρία, χαρτογράφηση και τρισδιάστατη μοντελοποίηση. Όπως έχουμε αναφέρει, η συγκεκριμένη μέθοδος έχει ήδη εφαρμοσθεί στην δασοκομία, στην γεωργία και στην γεωμορφολογία. Κατά τη διάρκεια της έρευνάς μας αναζητήσαμε παρόμοιες χρήσεις αυτής της μεθόδου από τις οποίες μερικές αναφέρονται στην συνέχεια. Συγκεκριμένα, έχουν μελετηθεί και αναλυθεί οι μορφοδυναμικές αλλαγές του ποταμού Elbow στην Alberta που συνδέονται με ακραίο φαινόμενο πλημμύρας στις 19-23 Ιουνίου 2013, χρησιμοποιώντας τα ψηφιακά μοντέλα υψηλής ανάλυσης UAV που παράγονται από την φωτογραμμετρία όπου παρατήρησαν σημαντική διάβρωση στις όχθες της κοίτης και διεύρυνση των καναλιών με μέση μεταβολή ύψους 0.24μ, το πρότυπο των καναλιών αναδιοργανώθηκε και ο διάυλος προσαρμόστηκε σε πλήρη κινητικότητα ιζημάτων της επιφάνειας της κοίτης (Tamminga, Eaton, & Hugenholtz, 2015). Η συγκεκριμένη έρευνα εστίασε στο δυναμικό της τηλεπισκόπησης με βάση UAV για τη μέτρηση τρισδιάστατων αλλαγών στους ποταμούς και παρείχε μια λεπτομερή ανάλυση των πιθανών σχέσεων μεταξύ δυνάμεων πλημμύρας και γεωμορφολογικών αλλαγών (Tamminga et al., 2015). Επιπλέον, ως βασικό εργαλείο τη φωτογραμμετρία και τη τεχνολογία UAV η ακαδημαϊκή ομάδα του Bar. Marteau ετασχολήθηκαν με τη γεωμορφολογία των ποταμών και την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων αποκατάστασης αυτών. Η συγκεκριμένη μέθοδος επέτρεψε να προσδιορίσουν με βεβαιότητα τις γεωμορφολογικές αλλαγές που συμβαίνουν στο κανάλι ενός ποταμού με τη πάροδο του χρόνου, καθώς και να εκτιμήσουν τη χωρική διακύμανση στη διάβρωση και την αποσάθρωση (Marteau, Vericat, Gibbins, Batalla, & Green, 2017). Χρήση εναέριας παρατήρησης και καταγραφής του γεγονότος ακολουθήθηκε και για την πλημμύρα στη Μάνδρα Αττικής της 15 Νοεμβρίου 2017. Η ανάλυση μετά την εκδήλωση με τη μέθοδο συνδυαστικής παρατήρησης επίγειων και εναέριων μέσων επέτρεψε τον ακριβή προσδιορισμό της πλημμυρισμένης περιοχής και των χαρακτηριστικών της πλημμύρας, συμβάλλοντας στον υπολογισμό της έκτασης και την έντασης αυτής όπως και τον προσδιορισμό του βάθους και την εκτίμηση της μέγιστης εκφόρτισης (M Diakakis et al., 2018). Η πτήση του μη επανδρωμένου οχήματος επέτρεψε τη ταχεία συλλογή αεροφωτογραφιών από μια εκτεταμένη περιοχή κατά τη διάρκεια των ροών της πλημμύρας παρά το γεγονός ότι ένα μεγάλο μέρος του ήταν απρόσιτο για λόγους ασφάλειας. Με αυτόν τον τρόπο μεγάλο μέρος των χρήσιμων δεδομένων καταγράφηκαν εγκαίρως πριν κρίσιμα στοιχεία (πχ. Υψηλά σημεία νερού, αποθέσεις πλημμύρας) εξαφανιστούν στη διαδικασία καθαρισμού και αποκατάστασης της πληγείσας περιοχής (M Diakakis et al., 2018).

Στην παρούσα έρευνα με η χρήση εναέριας και επίγειας καταγραφής του γεγονότος προσδιορίσαμε την ακριβή πλημμυρισμένη περιοχή, χαρτογραφήθηκαν οι γεωμορφολογικές αλλαγές που υπέστησαν στο Μαριόρεμα μετά την έξαρση του φαινομένου όπως και την εκτίμηση μέγιστης παροχής αιχμής του ποταμού.

Εγκατακλείδι, η τεχνολογία UAV έχει τη δυνατότητα να συλλέγει πληροφορίες σχετικά με τη δυναμική στην επιφάνεια της γης σε επικίνδυνες και προγενέστερα απροσπέλαστες τοποθεσίες. Τα εξαιρετικά παροδικά και αμέτρητα υδραυλικά φαινόμενα μπορούν να ποσοτικοποιηθούν σε προηγούμενες ανεπαίσθητες χωρικές και χρονικές αναλύσεις με τη λήψη εικόνων από τις πλημμύρες και την επακόλουθη αντικειμενική ανάλυση (Perks, 2016). Εντούτοις, πρέπει να σημειωθεί ότι η ακρίβεια που συνοδεύει τις παρατηρήσεις εδάφους δεν μπορεί να αντικατασταθεί πλήρως από τις εναέριες παρατηρήσεις (M Diakakis et al., 2018). Έτσι, βάση της εμπειρίας αυτής της μελέτης και συγκρίνοντας με παρόμοιες έρευνες, η μέθοδος UAV θα πρέπει να αποτελεί πρόσθετη πηγή δεδομένων για την εκάστοτε περίπτωση μελέτης.

3.2. Συμπεράσματα

Η πλημμύρα του Μαριορέματος Λακωνίας προκλήθηκε από καταιγίδα με υψηλή ένταση. Η καταιγίδα προκάλεσε γρήγορη και βίαιη ροή του χειμάρρου, με μεγάλα βάθη (διαβρωμένες περιοχές) και έκταση σε σύγκριση με τη λεκάνης απορροής του. Η παροχή αιχμής εκτιμήθηκε, χρησιμοποιώντας το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας που προέρχεται από UAV στη θέση της κοίτης και υποδεικνύει μια εντυπωσιακή υδρολογική εκτίμηση $Q_{peak}=630m^3/s$, η οποία εμπίπτει στο φάσμα των ακραίων τιμών στα πλημμυρικά γεγονότα. Η ανάλυση των επιπτώσεων μας έδειξε μεγάλη ποικιλομορφία στην γεωμορφολογία και στη βλάστηση της περιοχής, όπως επίσης σημαντική επίπτωση του φαινομένου ήταν και ο θάνατος ενός κατοίκου της περιοχής.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μοντελοποίηση της παροχής αιχμής συνδυάζοντας την εναέρια με την επίγεια παρατήρηση και τη λεπτομερή χαρτογράφηση των επιπτώσεων του φαινομένου. Οι εναέριες παρατηρήσεις μπορούν να λειτουργήσουν ως ένα επιπλέον σημείο παρατήρησης το οποίο συνδυάζει την παραδοσιακή επιτόπια έρευνα πεδίου με νέα τεχνολογικά μέσα και εξέλιξη στο συγκεκριμένο αντικείμενο σπουδών. Η προσέγγιση θεωρείται ότι έχει πολλά πλεονεκτήματα που συνδέονται με τη συλλογή δεδομένων αμέσως μετά την έξαρση του πλημμυρικού φαινομένου, όπως επίσης είναι σε θέση να παρέχει μια ολιστική επισκόπηση των πολλαπλών πτυχών μιας πλημμύρας που μπορεί να είναι πολύτιμη τόσο για την επιστήμη όσο και για την πολιτική προστασία (M Diakakis et al., 2018). Η μοντελοποίηση της παροχής αιχμής και η λεπτομερής χαρτογράφηση των επιπτώσεων μπορούν να αποδειχθούν πολύτιμες για τη μελλοντική μείωση του κινδύνου συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης και εκτίμηση επικινδυνότητας.

Βιβλιογραφία

- Abdelkader, M., Shaqura, M., Ghommem, M., Collier, N., Calo, V., & Claudel, C. (2014). Optimal multi-agent path planning for fast inverse modeling in UAV-based flood sensing applications. *2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, ICUAS 2014 - Conference Proceedings*, 64–71. <http://doi.org/10.1109/ICUAS.2014.6842239>
- 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. <http://doi.org/10.3390/cli6010006>
- Alschner, F., DuPlessis, J., & Soesilo, D. (2013). *Drones in Humanitarian Action - Case Study No. 9: Using Drone Imagery for real-time information after Typhoon Haiyan in The Philippines*. Geneva, Switzerland. Retrieved from <https://drones.fsd.ch/en/case-study-no-9-using-drone-imagery-for-real-time-information-after-typhoon-haiyan-in-the-philippines/>
- Amponsah, W., Marchi, L., Zoccatelli, D., Boni, G., Cavalli, M., Comiti, F., ... Borga, M. (2016). Hydrometeorological Characterization of a Flash Flood Associated with Major Geomorphic Effects: Assessment of Peak Discharge Uncertainties and Analysis of the Runoff Response. *Journal of Hydrometeorology*, 17(12), 3063–3077. <http://doi.org/10.1175/JHM-D-16-0081.1>
- Andreadakis, E., Kapourani, E., Diakakis, M., Papaspyropoulos, K., & Filis, C. (2017). Unmanned Aircraft Systems (UAS) in Post-Flood Surveys. The Case of Laconia Floods 2016. In *11th International Hydrogeological Congress of Greece*. Athens.
- Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F., & Jakob, M. (2014). Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. *Journal of Hydrology*, 518(PB), 194–205. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.05.022>
- Clapuyt, F., Vanacker, V., & Van Oost, K. (2016). Reproducibility of UAV-based earth topography reconstructions based on Structure-from-Motion algorithms. *Geomorphology*, 260, 4–15. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.05.011>
- Cook, K. L. (2017). An evaluation of the effectiveness of low-cost UAVs and structure from motion for geomorphic change detection. *Geomorphology*, 278, 195–208. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.009>
- Crosta, G. B., & Frattini, P. (2001). Rainfall thresholds for soil slip and debris flow triggering. *Proceedings of the 2nd EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms*, (January 2001), 463–487.
- de Haas, T., Ventra, D., Carbonneau, P. E., & Kleinmans, M. G. (2014). Debris-flow dominance of alluvial fans masked by runoff reworking and weathering. *Geomorphology*, 217, 165–181. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.04.028>

- Diakakis, M., Andreadakis, E., Nikolopoulos, E. I., Spyrou, N. I., Gogou, M. E., Deligiannakis, G., ... Kalogiros, J. (2018). International Journal of Disaster Risk Reduction An integrated approach of ground and aerial observations in flash flood disaster investigations . The case of the 2017 Mandra flash flood in Greece. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, (March), 0–1. <http://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.10.015>
- Diakakis, M., Mavroulis, S., & Deligiannakis, G. (2012). Floods in Greece, a statistical and spatial approach. *Natural Hazards*, 62(2), 485–500. <http://doi.org/10.1007/s11069-012-0090-z>
- Fountoulis, I., Mariolakos, I., Andreadakis, E., Karagiozi, E., Sambaziotis, E., & Kapourani, E. (2008). Flood Hazard and Risk in Laconia (Peloponnesus, Greece). In *AQUA 2008. 3rd International Conference. Water Science and Technology with emphasis on water & climate*. Athens. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.19730.45764>
- Fountoulis, I., Mariolakos, I., Andreadakis, E., Sambaziotis, E., & Karagiozi, E. (2007). Strategic Planning of Anti-Flood protection for Laconia Prefecture. In N. Nikolaidis (Ed.), *Environmental Friendly Technologies for Rural Development*. Programme LIFE Environment 2005.
- Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., ... Viglione, A. (2009). A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology*, 367(1–2), 70–78. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.028>
- Giordan, D., Hayakawa, Y., Nex, F., Remondino, F., & Tarolli, P. (2017). Review article: The use of remotely piloted aircraft systems (RPAS) for natural hazards monitoring and management. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1–26. <http://doi.org/10.5194/nhess-2017-339>
- Jakob, M., & Hungr, O. (Eds.). (2005). *Debris-flow Hazards and Related Phenomena. Springer-Praxis Books in Geophysical Sciences*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag. http://doi.org/10.1007/3-540-27129-5_14
- Lessard-Fontaine, A., Alschner, F., & Soesilo, D. (2016). *Drones in Humanitarian Action - Case Study No. 6: Rapid Damage Assessments of Tabarre and Surrounding Communities in Haiti following Hurricane Sandy*. Geneva, Switzerland. Retrieved from <https://drones.fsd.ch/en/case-study-no-6-mapping-rapid-damage-assessments-of-tabarre-and-surrounding-communities-in-haiti-following-hurricane-sandy/>
- Ma, C., Wang, Y. jie, Du, C., Wang, Y. qi, & Li, Y. peng. (2016). Variation in initiation condition of debris flows in the mountain regions surrounding Beijing. *Geomorphology*, 273, 323–334. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.08.027>
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., & Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 394(1–2), 118–133. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.017>
- Marteau, B., Vericat, D., Gibbins, C., Batalla, R. J., & Green, D. R. (2017). Application of Structure-from-Motion photogrammetry to river restoration. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(3), 503–515. <http://doi.org/10.1002/esp.4086>

- Martini, P. I., Baker, V. R., & Garcon, G. (Eds.). (2002). *Flood and Megaflood Processes and Deposits: Recent and Ancient Examples. Special Publication of the International Association of Sedimentologists* (Vol. 32). Blackwell Science. <http://doi.org/10.1002/jqs.740>
- Ouédraogo, M. M., Degré, A., Debouche, C., & Lisein, J. (2014). The evaluation of unmanned aerial system-based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds. *Geomorphology*, 214, 339–355. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.02.016>
- Perks, M. T. (2016). Technical Note: Advances in flash flood monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs). *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(10), 4005–4015. <http://doi.org/10.5194/hess-20-4005-2016>
- Phillips, B. J. V., & Tadayon, S. (2006). Selection of Manning ' s Roughness Coefficient for Natural and Constructed Vegetated and Non- Vegetated Channels , and Vegetation Maintenance Plan Guidelines for Vegetated Channels in Central Arizona. *Geological Survey Scientific Investigations Report 2006-5108*, 41.
- Pope, R. J. J., & Millington, A. C. (2000). Unravelling the Patterns of Alluvial Fan Development Using Mineral Magnetic Analysis : Examples From the Sparta Basin, Lakonia, Southern Greece. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 601–615.
- Pope, R. J. J., Wilkinson, K. N., & Millington, A. C. (2003). Human and climatic impact on late quaternary deposition in the sparta basin piedmont: Evidence from alluvial fan systems. *Geoarchaeology*, 18(7), 685–724. <http://doi.org/10.1002/gea.10089>
- Riedl, H. (1976). Beitrage zur regionalen Geographie des Beckens von Sparta und seiner Nachbarraume unter besonderer Berücksichtigung der geomorphologischen Verhältnisse. In *Beitrage zur Landeskunde von Griechenland*, 6 (pp. 283–409). Salzburg.
- Righini, M., Surian, N., Wohl, E., Marchi, L., Comiti, F., Amponsah, W., & Borga, M. (2017). Geomorphic response to an extreme flood in two Mediterranean rivers (northeastern Sardinia, Italy): Analysis of controlling factors. *Geomorphology*, 290, 184–199. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.04.014>
- Rinaldi, M., Amponsah, W., Benvenuti, M., Borga, M., Comiti, F., Lucía, A., ... Surian, N. (2016). An integrated approach for investigating geomorphic response to extreme events: methodological framework and application to the October 2011 flood in the Magra River catchment , Italy, 846(February), 835–846. <http://doi.org/10.1002/esp.3902>
- Rinaldi, M., Braca, G., Bussettini, M., Gurnell, A. M., Garcia De Jalon, D., González del Tánago, M., ... Percopo, C. (2015). Methods, models, tools to assess the hydromorphology of rivers. *REFORM Deliverable 6.2 Part 2*, 1–109. <http://doi.org/D1.1>
- Rusnák, M., Sládek, J., Kidová, A., & Lehotský, M. (2018). Template for high-resolution river landscape mapping using UAV technology. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 115(October 2017), 139–151. <http://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.10.023>
- 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. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.078>

Spyrou, N. I., Stanota, E. S., Diakakis, M., Andreadakis, E., Nikolopoulos, E. I., Gogou, M. E., ... Lekkas, E. (2018). Flood Boundary Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-Derived Imagery and Ground Observations: The Case of the 2017 Mandra Flash Flood in Greece. In *SafeKozani 2018*.

Stephenson, D. B. (2008). Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events. In H. F. Diaz & R. J. Murnane (Eds.), *Climate Extremes and Society* (Vol. 9780521870). Cambridge University Press. <http://doi.org/10.1017/CBO9780511535840.002>

Sylvester, G. (Ed.). (2018). *E-agriculture in action: Drones for Agriculture*. Bangkok: Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Telecommunication Union. <http://doi.org/http://www.fao.org/documents/card/en/c/l8494EN/>

Tamminga, A. D., Eaton, B. C., & Hugenholtz, C. H. (2015). UAS-based remote sensing of fluvial change following an extreme flood event. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(11), 1464–1476. <http://doi.org/10.1002/esp.3728>

Ward, P. J., Jongman, B., Weiland, F. S., Bouwman, A., Van Beek, R., Bierkens, M. F. P., ... Winsemius, H. C. (2013). Assessing flood risk at the global scale: Model setup, results, and sensitivity. *Environmental Research Letters*, 8(4). <http://doi.org/10.1088/1748-9326/8/4/044019>

Watanabe, Y., & Kawahara, Y. (2016). UAV Photogrammetry for Monitoring Changes in River Topography and Vegetation. *Procedia Engineering*, 154, 317–325. <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.482>

Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). “Structure-from-Motion” photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>

Woodget, A. S., Carbonneau, P. E., Visser, F., & Maddock, I. P. (2015). Quantifying submerged fluvial topography using hyperspatial resolution UAS imagery and structure from motion photogrammetry. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(1), 47–64. <http://doi.org/10.1002/esp.3613>

Zanon, F., Borga, M., Zoccatelli, D., Marchi, L., Gaume, E., Bonnifait, L., & Delrieu, G. (2010). Hydrological analysis of a flash flood across a climatic and geologic gradient: The September 18, 2007 event in Western Slovenia. *Journal of Hydrology*, 394(1–2), 182–197. <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.08.020>

ΑΔΤ-ΩΜΕΓΑΑΤΕ, ΘΑΛΗΣΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗΕΕ, Α. ΠΕΡΔΙΟΥ, Π.ΤΣΙΤΟΥΡΑ, Ι. ΑΓΓΕΛΙΔΗΣ, Ε. ΜΙΧΑΗΛΙΔΟΥ, &Κ. ΧΑΤΖΗΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ. (2017). *Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Πελοποννήσου*.

Ανδρεαδάκης, Ε. (2007). *Διαχείριση Υδατικών Πόρων σε επίπεδο Καποδιστριακού Δήμου: Η περίπτωση του Δήμου Θεραπνών Λακωνίας*. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο

Αθηνών.

Διακάκης, Δ. Μ. (2017a). EDCM-A26 Πλημμυρικά φαινόμενα και διαχείριση πλημμυρικών φαινομένων Σημειώσεις.

Διακάκης, Δ. Μ. (2017b). πλημμυρικών φαινομένων.

Δουκαρή, Μ. (2015). *Διερεύνηση μεθόδων απεικόνισης τρισδιάστατης γεωχωρικής πληροφορίας, μικρής κλίμακας, με αξιοποίηση μεθόδων UAV και τεχνολογιών υπολογιστικής όρασης*. Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

Λουκάς, Α. (n.d.). Υδρολογία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.

Μαριολάκος, Η., Φουντούλης, Ι., Ανδρεαδάκης, Ε., Σαμπαζιώτης, Ε., Καπουράνη, Ε., & Καραγκιόζη, Ε. (2007). *Στρατηγικός Σχεδιασμός Αντιπλημμυρικής Προστασίας Νομού Λακωνίας. Σχέδιο Διαχείρισης Αντιπλημμυρικής Προστασίας Νομού Λακωνίας*. Αθήνα.

Μαριολάκος, Η., Φουντούλης, Ι., Ανδρεαδάκης, Ε., Σαμπαζιώτης, Ε., & Μαυρούλης, Σ. (2007). *Σχέδιο Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Γεωπεριβαλλοντικών Επιπτώσεων στις Πυρόπληκτες Περιοχές του Νομού Λακωνίας*. Αθήνα.

Πανάγος, Α., Πη, Γ., & Κοντόπουλος, Ν. (1976). Ανάλυση των ιζημάτων της περιοχής Αφισσού (Σπάρτη). *Δελτίον Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, 28, 4–28.

Παυλόπουλος, Κ. (2008). Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωμορφολογίας. Αθήνα.

Παυλόπουλος, Κ., Σκέντος, Α., & Κοταμπάση, Χ. (2009). Γεωμορφολογική χαρτογράφηση και μελέτη της ευρύτερης περιοχής Δισπηλιού-Λίμνης Καστοριάς. *Ανάσκαμμα*, (03), 101–120.

Χρήσιμοι σύνδεσμοι

<http://24wro.com.gr/1389394/prebeza-apisteutes-eikones-apo-thn-upercheilish-tou-potamou-acheronta-binteo-apo-drone/>

<https://news.nationalgeographic.com/2015/10/151007-dam-failures-south-carolina-engineering-science/>

<http://www.climatecentral.org>

<http://www.waterarchives.org>

<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557699>

<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202557449-Step-5-After-Processing-optional->

<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560579-How-to-automatically-generate-a-Digital-Terrain-Model-DTM-#label2>

<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202558709>