



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Υγειονομική και Περιβαλλοντική Μηχανική»

Διδακτορική Διατριβή

«Ένα Ολοκληρωμένο Σύστημα Εκτίμησης της Επικινδυνότητας και των Επιπτώσεων
Πλημμυρικών Φαινομένων»

Ανθή-Ειρήνη Κ. Βοζινάκη

Διπλωματούχος Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Εθνικού Μετσόβιου
Πολυτεχνείου

MSc «Υγειονομική και Περιβαλλοντική Μηχανική», Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πολυτεχνείου Κρήτης

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγητής Καρατζάς Γεώργιος (Επιβλέπων)

Καθηγητής Νικολαΐδης Νικόλαος (Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής)

Αναπληρωτής Καθηγητής Συμπέθερος Ιωάννης (Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής)

Καθηγητής Λουκάς Αθανάσιος

Επίκουρος Καθηγητής Παρανυχιανάκης Νικόλαος

Καθηγητής Τσάνης Ιωάννης

Επίκουρη Καθηγήτρια Τσουχλαράκη Ανδρονίκη

Χανιά, 21 Ιουλίου 2014



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Υγειονομική και Περιβαλλοντική Μηχανική»

Διδακτορική Διατριβή

«Ένα Ολοκληρωμένο Σύστημα Εκτίμησης της Επικινδυνότητας και των Επιπτώσεων Πλημμυρικών Φαινομένων»

Ανθή-Ειρήνη Κ. Βοζινάκη

Διπλωματούχος Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

MSc «Υγειονομική και Περιβαλλοντική Μηχανική», Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης



Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος II . Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Υγειονομική και Περιβαλλοντική Μηχανική»

Η παρούσα διδακτορική διατριβή υποβλήθηκε στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος – Πολυτεχνείο Κρήτης.

Εκπονήθηκε στη Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος-Πολυτεχνείο Κρήτης, Τομέας Περιβαλλοντικής Υδραυλικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 21 Ιουλίου 2014

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος II . Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή

Γ. Π. Καρατζάς, Καθηγητής Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης, Επιβλέπων

Ν. Π. Νικολαΐδης, Καθηγητής Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Ι. Α. Συμπέθερος, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Αθήνας, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Α. Λουκάς, Καθηγητής Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Εξεταστής

Ν. Β. Παρανυχιανάκης, Επίκουρος Καθηγητής Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης, Εξεταστής

Ι. Κ. Τσάνης, Καθηγητής Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης, Εξεταστής

Α. Λ. Τσουχλαράκη, Επίκουρη Καθηγήτρια Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης, Εξεταστής

Τίτλος Διδακτορικής Διατριβής:

Ένα Ολοκληρωμένο Σύστημα Εκτίμησης της Επικινδυνότητας και των Επιπτώσεων
Πλημμυρικών Φαινομένων

«Η έγκριση της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής από τη Σχολή Μηχανικών
Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων της
συγγραφέως» (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παρ. 2)

Στην οικογένειά μου...

Φτάσε όπου δε μπορείς...

Ν. Καζαντζάκης

Ευχαριστίες

Με το πέρας της όμορφης αυτής εμπειρίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους στάθηκαν πλάι μου.

Ιδιαίτερως, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον επιβλέποντά μου Καθηγητή Γεώργιο Καρατζά για όλη τη βοήθεια που μου προσέφερε απλόχερα στη δοκιμασία αυτή, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και τη θερμή παρότρυνση και στήριξη στα εύκολα και στα δύσκολα όλης αυτής της πορείας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή Νικόλαο Νικολαΐδη, μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, που από την περίοδο των μεταπτυχιακών μου κιόλας σπουδών με στήριξε και με βοήθησε, προσφέροντάς μου πάντα πολύτιμες συμβουλές και ορθή καθοδήγηση. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω πολύ τον Αναπληρωτή Καθηγητή Ιωάννη Συμπέθερο, μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, που η βοήθειά του ήταν πραγματικά πολύτιμη. Ήταν εύστοχος στις συμβουλές του και πάντα διαθέσιμος και πρόθυμος να με βοηθήσει και να με ενθαρρύνει τόσο επιστημονικά, όσο και ψυχολογικά.

Ευχαριστώ πολύ τα μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής, τον Καθηγητή Αθανάσιο Λουκά, τον Επικ. Καθηγητή Νικόλαο Παρανυχιανάκη, τον Καθηγητή Ιωάννη Τσάνη και την Επικ. Καθηγήτρια Ανδρονίκη Τσουχλαράκη για το χρόνο που διέθεσαν στην αξιολόγηση της παρούσας διδακτορικής εργασίας, τις εύστοχες παρατηρήσεις τους και τη συνεισφορά τους στη βελτίωσή της.

Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω πολύ όλα τα παιδιά του εργαστηρίου Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, τον Δρ. Εμμανουήλ Βαρουχάκη, τη Δρ. Ζωή Δόκου, την υποψήφια διδάκτωρ Κωνσταντίνα Καβούρη, τον Δρ. Νεκτάριο Κουργιαλά, την υποψήφια διδάκτωρ Ευδοκία Ταπόγλου και τον Δρ. Ιωάννη Τριχάκη. Η στήριξή τους τόσο η επιστημονική, όσο και η ψυχολογική ήταν εξαιρετικά πολύτιμη όλα αυτά τα χρόνια, ενώ η συνύπαρξή μας στο εργαστήριο ήταν πάντα ευχάριστη, στα εύκολα και στα δύσκολα της κοινής μας πορείας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου τους γονείς μου, Κώστα και Λίτσα, που χωρίς αυτούς δε θα μπορούσα ποτέ να έχω φτάσει στο όμορφο αυτό σημείο, τα αδέρφια μου, Στέλιο και Μαίρη, που πάντα με στηρίζουν, και όλους τους καλούς μου φίλους, που ήταν και είναι δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια.

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων	xv
Κατάλογος Πινάκων	xxi
Κατάλογος Εικόνων	xxiii
Περίληψη	xxvii
Abstract	xxix
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	- 1 -
1.1 Σκοπός της διατριβής	- 1 -
1.2 Ορισμός του Προβλήματος	- 1 -
1.3 Δομή της Διατριβής	- 1 -
1.4 Πρωτοτυπία της Διατριβής	- 2 -
1.5 Δημοσιεύσεις	- 3 -
Δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά	- 3 -
Δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια	- 3 -
Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό υπόβαθρο	- 5 -
2.1 Πλημμύρα	- 5 -
Πλημμύρα και πλημμυρικός κίνδυνος: Ορισμοί και προσδιορισμοί	- 5 -
Κατηγορίες πλημμύρας	- 5 -
Επιπτώσεις πλημμύρας	- 6 -
Πλημμύρα στο Διεθνή Ευρωπαϊκό χώρο	- 6 -
Πλημμύρα σε Εθνικό επίπεδο	- 7 -
Πλημμύρα στην Κρήτη	- 8 -
2.2 Προσομοίωση ποτάμιας πλημμύρας με χρήση υδρολογικού μοντέλου	- 8 -
2.3 Ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα	- 10 -
Ζημιά και απώλεια: Ορισμοί και προσδιορισμοί	- 10 -
Επίπτωση, ζημιά και κόστος πλημμύρας: Ορισμοί και προσδιορισμοί	- 10 -
Κατηγορίες πλημμυρικής ζημιάς	- 11 -
Παράμετροι που καθορίζουν την πλημμυρική ζημιά	- 13 -
Παράμετροι επιπτώσεων	- 14 -
Παράμετροι αντίστασης	- 17 -
Χρήση παραμέτρων επίπτωσης και αντίστασης στη βιβλιογραφία	- 17 -
2.4 Καμπύλες ζημιάς	- 18 -
Δεδομένα ζημιάς	- 18 -

Ιστορικά/Εμπειρικά δεδομένα ζημιάς	18 -
Συνθετικά δεδομένα ζημιάς	19 -
Υπάρχουσες βάσεις δεδομένων πλημμυρικής ζημιάς.....	19 -
Καμπύλες ζημιάς.....	21 -
Εμπειρικές και συνθετικές καμπύλες ζημιάς.....	22 -
Συνδυαστικές καμπύλες ζημιάς.....	23 -
Εναλλακτικές προσεγγίσεις καμπυλών ζημιάς.....	24 -
2.5 Μοντέλα εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς	24 -
Μοντέλα εκτίμησης πλημμυρικής ζημιάς για τον αγροτικό τομέα	26 -
Μοντέλα εκτίμησης πλημμυρικής ζημιάς για τον αστικό τομέα	26 -
Μοντέλα εκτίμησης πλημμυρικής ζημιάς για τον αστικό τομέα στα οποία δε γίνεται χρήση καμπυλών ζημιάς	27 -
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία	29 -
3.1 Προσομοίωση πλημμύρας με χρήση του MIKE FLOOD μοντέλου	29 -
Μονοδιάστατο υδραυλικό μοντέλο MIKE 11	29 -
Εξισώσεις Saint Venant	30 -
Μέθοδος επίλυσης Saint Venant εξισώσεων	32 -
Διδιάστατο υδροδυναμικό μοντέλο MIKE 21.....	36 -
Εξισώσεις Saint Venant	36 -
Μέθοδος επίλυσης Saint Venant εξισώσεων	37 -
Ενιαίο σύστημα 1D-2D μοντελοποίησης MIKE FLOOD	39 -
Πλευρικές συνδέσεις (lateral links).....	39 -
Τυποποιημένες συνδέσεις (standard links).....	39 -
Προσομοίωση γεγονότος πλημμύρας-υπολογισμός υδρολογικών παραμέτρων.....	40 -
3.2 Δημιουργία μεθοδολογίας εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα ...	40 -
Προσδιορισμός πλημμυρικών παραμέτρων επίπτωσης και αντίστασης	40 -
Αγροτικός τομέας.....	41 -
Αστικός τομέας.....	41 -
Σύνδεση πλημμυρικών παραμέτρων με την πλημμυρική ζημιά-χρήση ερωτηματολογίων -	42 -
Αγροτικός τομέας.....	42 -
Αστικός τομέας.....	48 -
Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων από τα ερωτηματολόγια.....	50 -
Ενίσχυση της συνθετικής πληροφορίας ζημιάς με χρήση σταθμισμένης Monte Carlo μεθόδου (Weighted Monte Carlo method).....	50 -

Monte Carlo μέθοδος.....	50 -
Σταθμισμένη Monte Carlo μέθοδος για την ενίσχυση της συνθετικής πληροφορίας ζημιάς	50 -
Λογιστική παλινδρόμηση	51 -
Δημιουργία συνθετικών επιφανειών ζημιάς.....	54 -
Αγροτικός τομέας.....	54 -
Αστικός τομέας.....	55 -
Μοντέλο εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς	55 -
Αγροτικός τομέας.....	55 -
Αστικός τομέας.....	56 -
Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας	57 -
Πιστοποίηση μεθοδολογίας εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς	57 -
Κεφάλαιο 4: Περιγραφή της περιοχής μελέτης-Προετοιμασία δεδομένων	59 -
4.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης.....	59 -
Υδρολογική λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη	59 -
Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη.....	59 -
Γεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη	60 -
Υδρογεωλογία της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη	61 -
Κλιματολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη.....	63 -
Υδρομετεωρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη..	63 -
Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη.....	64 -
4.2 Περιγραφή πλημμυρικού γεγονότος μελέτης	65 -
4.3 Προετοιμασία δεδομένων.....	65 -
Προετοιμασία δεδομένων για το MIKE FLOOD υδρολογικό μοντέλο	65 -
MIKE 11.....	66 -
MIKE 21.....	69 -
MIKE FLOOD	72 -
Προετοιμασία δεδομένων για το μοντέλο εκτίμησης ζημιάς	72 -
Μοντέλο εκτίμησης πλημμυρικής ζημιάς για τον αγροτικό τομέα	73 -
Μοντέλο εκτίμησης πλημμυρικής ζημιάς για τον αστικό τομέα	75 -
Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή μεθοδολογίας-Αποτελέσματα	77 -
5.1 Προσομοίωση πλημμύρας με χρήση του υδρολογικού 1D-2D MIKE FLOOD μοντέλου.-	77 -
-	
Βαθμονόμηση του MIKE FLOOD μοντέλου (MIKE FLOOD calibration)	82 -
Βαθμονόμηση Κελί 5 m x 5 m	82 -

Βαθμονόμηση Κελί 10 m x 10 m	- 83 -
5.2 Δημιουργία μοντέλου εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα	- 83 -
Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων από τα ερωτηματολόγια.....	- 83 -
Αγροτικός τομέας.....	- 83 -
Αστικός τομέας.....	- 88 -
Ενίσχυση της συνθετικής πληροφορίας ζημιάς με χρήση σταθμισμένης Monte Carlo μεθόδου (Weighted Monte Carlo method).....	- 89 -
Δημιουργία συνθετικών επιφανειών ζημιάς.....	- 89 -
Αγροτικός τομέας.....	- 90 -
Αστικός τομέας.....	- 100 -
Μεθοδολογία εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα	- 101 -
Αγροτικός τομέας.....	- 102 -
Αστικός τομέας.....	- 106 -
Πιστοποίηση μοντέλου εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς	- 107 -
Κεφάλαιο 6: Ανάλυση Αβεβαιότητας για την πιστοποίηση της μεθοδολογίας εκτίμησης της ζημιάς.....	- 109 -
6.1 Πιστοποίηση μεθοδολογίας εκτίμησης ζημιάς με χρήση ανάλυσης αβεβαιότητας ..	- 109 -
D'Agostino-Pearson στατιστικό τεστ.....	- 110 -
Lilliefors-παραλλαγή του Kolmogorov-Smirnov στατιστικού τεστ	- 111 -
Υπολογισμός 5ου και 95ου εκατοστημορίων (percentiles)	- 112 -
6.2 Αγροτικός τομέας.....	- 112 -
Εκατό διαδοχικές Monte Carlo εκτελέσεις για πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m ..	- 112 -
D' Agostino-Pearson στατιστικό τεστ	- 113 -
Lilliefors K-S στατιστικό τεστ.....	- 113 -
Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς	- 114 -
Υπολογισμός 5 ^{ου} και 95 ^{ου} εκατοστημορίων	- 116 -
Εκατό διαδοχικές Monte Carlo εκτελέσεις για πλέγμα με κελί διάστασης 10 m x 10 m-	- 117 -
D' Agostino-Pearson στατιστικό τεστ	- 117 -
Lilliefors K-S στατιστικό τεστ.....	- 118 -
Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς	- 119 -
Υπολογισμός 5 ^{ου} και 95 ^{ου} εκατοστημορίων	- 120 -
6.3 Αστικός τομέας	- 120 -

Εκατό διαδοχικές Monte Carlo εκτελέσεις για πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m .-	120 -
D' Agostino-Pearson στατιστικό τεστ	121 -
Lilliefors K-S στατιστικό τεστ.....	121 -
Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της αστικής ζημιάς. -	122 -
Υπολογισμός 5 ^{ου} και 95 ^{ου} εκατοστημορίων	124 -
Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας	125 -
Συμπεράσματα	125 -
Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας.....	128 -
Βιβλιογραφία.....	129 -
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	129 -
Ελληνική Βιβλιογραφία.....	136 -
Παραρτήματα	137 -
Παράρτημα Α.....	138 -
Ερωτηματολόγιο για τον αγροτικό τομέα (offline questionnaire)	138 -
Ερωτηματολόγιο για τον αγροτικό τομέα (online questionnaire).....	143 -
Παράρτημα Β.....	147 -
Ερωτηματολόγιο για τον αστικό τομέα (online questionnaire)	147 -
Παράρτημα Γ	148 -
Διαγράμματα ροής εκτελέσιμου κώδικα Python	148 -

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.1. Εξίσωση κατηγοριοποίησης ζημιάς με ποσοστά και με κλίμακα ζημιάς 1-5	- 48 -
Πίνακας 4.1 Κατηγοριοποίηση χρήσεων γης ΥΠΑΑΤ σύμφωνα με τις χρήσεις γης της παρούσας διατριβής.....	- 73 -
Πίνακας 4.2. Εκτιμώμενο κόστος ανά μονάδα βάρους καλλιέργειας, <i>C_{iw}</i> , και σοδειά ανά μονάδα επιφάνειας καλλιέργειας, <i>Y_{ia}</i> (ΦΕΚ ΕΛΓΑ 2012).	- 74 -
Πίνακας 4.3. Αντικειμενικές αξίες αστικών κτισμάτων	- 76 -
Πίνακας 5.1. Εκτιμώμενη αγροτική ζημιά για κάθε καλλιέργεια μελέτης και για τη συνολική αγροτική ζημιά (5 m x 5 m διάσταση κελιού)	- 103 -
Πίνακας 5.2. Εκτιμώμενη αγροτική ζημιά για κάθε καλλιέργεια μελέτης και για τη συνολική αγροτική ζημιά (10 m x 10 m διάσταση κελιού)	- 104 -
Πίνακας 5.3. Εκτιμώμενη αστική ζημιά για κάθε κτίσμα μελέτης και για τη συνολική αστική ζημιά (5 m x 5 m διάσταση κελιού)	- 107 -
Πίνακας 5.4. Καταγεγραμμένες ζημιές από τον ΕΛΓΑ τον Φεβρουάριο 2003 στο Νομό Χανίων. -	108 -
Πίνακας 6.1. D'Agostino-Pearson τεστ κανονικότητας για τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αγροτική χρήση γης και για τη συνολική αγροτική ζημιά μοντέλο πλέγματος με κελί 5 m x 5 m -	113 -
Πίνακας 6.2. Lilliefors K-S τεστ κανονικότητας για τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αγροτική χρήση γης και για τη συνολική αγροτική ζημιά μοντέλο πλέγματος με κελί 5 m x 5 m -	115 -
Πίνακας 6.3. Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς (πλέγμα με κελί 5 m x 5 m)	- 115 -
Πίνακας 6.4. 5° και 95° εκατοστημόριο	- 116 -
Πίνακας 6.5. D'Agostino-Pearson τεστ κανονικότητας για τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αγροτική χρήση γης και για συνολική αγροτική ζημιά μοντέλο πλέγματος με κελί 10 m x 10 m -	117 -
Πίνακας 6.6. Lilliefors K-S τεστ κανονικότητας για τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αγροτική χρήση γης και για τη συνολική αγροτική ζημιά μοντέλο πλέγματος με κελί 10 m x 10 m	- 119 -
Πίνακας 6.7. Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς (πλέγμα με κελί 10 m x 10 m)	- 119 -
Πίνακας 6.8. 5° και 95° εκατοστημόριο	- 120 -
Πίνακας 6.9. D'Agostino-Pearson τεστ κανονικότητας για τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αστική χρήση γης και για τη συνολική αστική ζημιά μοντέλο πλέγματος με κελί 5 m x 5 m-	121 -

Πίνακας 6.10. Lilliefors K-S τεστ κανονικότητας για τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αστική χρήση γης και για τη συνολική αστική ζημιά μοντέλο πλέγματος με κελί 5 m x 5 m	- 123 -
Πίνακας 6.11. Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της αστικής ζημιάς (πλέγμα με κελί 5 m x 5 m)	- 123 -
Πίνακας 6.12. 5° και 95° εκατοστημόριο	- 124 -

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1 Συνολικός αριθμός πλημμυρών στην Ευρώπη 1973-2002 (Πηγή: ΕΚΚΕ 2007)	7 -
Εικόνα 2.2. Θέσεις ιστορικών γεγονότων πλημμύρας στην Ελλάδα (Πηγή: ΕΓΥ 2012).....	8 -
Εικόνα 2.3. Ιστορικές πλημμύρες στην Κρήτη (Πηγή: από δεδομένα ΕΓΥ 2012)	9 -
Εικόνα 2.4. Κατηγοριοποίηση ζημιών που προκαλούνται από πλημμύρα	12 -
Εικόνα 3.1. Η διατομή χωρίζεται σε μια σειρά από ορθογώνια κανάλια (Πηγή: MIKE 11 Reference Manual 2011)	31 -
Εικόνα 3.2. Υπολογιστικό πλέγμα τμήματος καναλιού (Πηγή: MIKE 11 Reference Manual 2011)	33 -
Εικόνα 3.3. Κεντρικό σημείο από την 6-σημείων Abbott μέθοδο (Πηγή: MIKE 11 Reference Manual 2011)	33 -
Εικόνα 3.4. Εξίσωση διατήρησης της μάζας σε μια 6-σημείων Abbott μέθοδο (MIKE 11 Reference Manual 2011).....	34 -
Εικόνα 3.5. Εξίσωση διατήρησης της ορμής σε μια 6-σημείων Abbott μέθοδο (Πηγή: MIKE 11 Reference Manual 2011).....	35 -
Εικόνα 3.6. Πλέγμα διαφορών στο x, y –επίπεδο (Πηγή: MIKE 21 Scientific Documentation 2011)	38 -
Εικόνα 3.7. Χρονική εστίαση (Πηγή: MIKE 21 Scientific Documentation 2011)	38 -
Εικόνα 3.8. Εφαρμογή πλευρικών συνδέσεων (Πηγή: MIKE FLOOD User Manual 2011)	39 -
Εικόνα 3.9. Ερωτηματολόγιο για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς σε Ελαιόδεντρο	44 -
Εικόνα 3.10. Ερωτηματολόγιο για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς σε Πορτοκαλαιόδεντρο	45 -
.....	46 -
Εικόνα 3.11. Ερωτηματολόγιο για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς σε Τοματιά	46 -
Εικόνα 3.12. Ερωτηματολόγιο για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς σε Φυλλώδες λαχανικό.....	47 -
Εικόνα 3.13. Ερωτηματολόγιο για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς στον αστικό τομέα- 49 -	
.....	
Εικόνα 4.1. Υδρογραφικό δίκτυο και παραπόταμοι Ποταμού Κοιλιάρη	59 -
Εικόνα 4.2. Υψόμετρο στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη	60 -
Εικόνα 4.3. Γεωλογία στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη	61 -
Εικόνα 4.4. Σκαριφηματική γεωλογική τομή ανάντη των πηγών του Στύλου (Πηγή: Χατζηθεοχάρους 2005)	63 -
Εικόνα 4.5. Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη	64 -

Εικόνα 4.6. Χρονοσειρές πλημμυρικής παροχής και ισοδύναμης στάθμης (11 ^{ης} -12 ^{ης} Φεβρουαρίου, 2003)	66 -
Εικόνα 4.7. Δίκτυο ποταμού Κοιλιάρη, θέση μετρημένων διατομών και οριακές συνθήκες -	67 -
Εικόνα 4.8. Γεωμετρία των διατομών που προέκυψαν από τοπογραφικές μετρήσεις πεδίου ...	68 -
Εικόνα 4.9. Παρεμβολή ενδιάμεσων διατομών	68 -
Εικόνα 4.10. Καμπύλη στάθμης παροχής στην εκβολή, στα κατάντη του ποταμού Κοιλιάρη-	69 -
Εικόνα 4.11. Ψηφιοποίηση τοπογραφίας από τοπογραφικούς χάρτες Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού για την περιοχή μελέτης (κλίμακα ανάλυσης 1: 5000)	70 -
Εικόνα 4.12. Βαθυμετρία περιοχής μελέτης, κελί διάστασης 5 m x 5 m.....	71 -
Εικόνα 4.13. Βαθυμετρία περιοχής μελέτης, κελί διάστασης 10 m x 10 m.....	71 -
Εικόνα 4.14. MIKE FLOOD πλευρικές συνδέσεις	72 -
Εικόνα 4.15. Αγροτική χρήση γης στην περιοχή μελέτης	74 -
Εικόνα 4.16. Αστική χρήση γης στην περιοχή μελέτης.....	75 -
Εικόνα 5.1. Χωρική κατανομή του μέγιστου ύψους κύματος.....	78 -
Εικόνα 5.3. Χωρική κατανομή του μέγιστου ύψους κύματος.....	80 -
Εικόνα 5.4. Χωρική κατανομή του διανύσματος της ταχύτητας τη χρονική στιγμή όπου το ύψος κύματος μεγιστοποιείται	81 -
Εικόνα 5.5. Βαθμονόμηση μοντέλου για κελί διάστασης 5 m x 5 m.....	82 -
Εικόνα 5.6. Βαθμονόμηση μοντέλου για κελί διάστασης 10 m x 10 m.....	83 -
Εικόνα 5.7. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων-ερωτηματολόγια Ελαιόδεντρων	84 -
Εικόνα 5.8. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων-ερωτηματολόγια Πορτοκαλαιόδεντρων..	85 -
Εικόνα 5.9. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων-ερωτηματολόγια Τοματιάς	86 -
Εικόνα 5.10. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων-ερωτηματολόγια Φυλλωδών λαχανικών-	87 -
Εικόνα 5.11. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων από τα ερωτηματολόγια για τα αστικά κτίσματα.....	88 -
Εικόνα 5.12. Συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τα Ελαιόδεντρα .	92 -
Εικόνα 5.13. Συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τα Πορτοκαλαιόδεντρα	95 -
Εικόνα 5.14. Συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τις Τοματιές .-	96 -
Εικόνα 5.15. Συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τα Φυλλώδη λαχανικά.....	98 -

Εικόνα 5.16. Συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για το Ελαιόδεντρο (α), Πορτοκαλαιόδεντρο (b) και τα Φυλλώδη λαχανικά (c) τον Φεβρουάριο.....	- 99 -
Εικόνα 5.17. Συνθετική λογιστική επιφάνεια ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για κτίσμα με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιία από τούβλο (βαθιά θεμελίωση)	- 100 -
Εικόνα 5.18. Συνθετική λογιστική επιφάνεια ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για πέτρινο κτίσμα (επιφανειακή θεμελίωση).....	- 101 -
Εικόνα 5.19. Συνθετική λογιστική επιφάνεια ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για κτίσμα από τούβλο-τσιμεντότουβλο (επιφανειακή θεμελίωση)	- 101 -
Εικόνα 5.20. Χωρική κατανομή εκτιμώμενης αγροτικής ζημιάς ανά 5 m x 5 m κελί.....	- 103 -
Εικόνα 5.21. Χωρική κατανομή εκτιμώμενης αγροτικής ζημιάς ανά 10 m x 10 m κελί	- 105 -
Εικόνα 5.22. Χωρική κατανομή εκτιμώμενης αστικής ζημιάς ανά 5 m x 5 m κελί	- 107 -
Εικόνα 6.1. p-οστο εκατοστημόριο.....	- 112 -
Εικόνα 6.2. Αθροιστικές κατανομές των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς	- 114 -
Εικόνα 6.3. Αθροιστικές κατανομές των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς	- 118 -
Εικόνα 6.4. Αθροιστικές κατανομές των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς	- 122 -

Οι ποτάμιες πλημμύρες αποτελούν γεγονότα καταστροφικά για μια κοινωνία και την οικονομία της. Ειδικά σε περιπτώσεις ποτάμιας πλημμύρας, όπου η αγροτική και η αστική ανάπτυξη κατά μήκος του ποταμού είναι έντονη, οι ζημιές είναι πολύ σημαντικές και επιδρούν αρνητικά στην οικονομία της περιοχής. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή δημιουργήθηκε ένα τεχνοοικονομικό μοντέλο ικανό να εκτιμά τη ζημιά που προκαλείται από ένα στιγμιαίο γεγονός πλημμύρας στο αγροτικό και αστικό περιβάλλον της περιοχής μελέτης.

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε το υδρολογικό μοντέλο MIKE FLOOD για την προσομοίωση της υδραυλικής του ποτάμιου συστήματος (με χρήση του MIKE 11 μονοδιάστατου υπό-μοντέλου) και της επιφανειακής ροής στην πλημμυρική κοίτη του ποταμού (με χρήση του MIKE 21 διδιάστατου υπό-μοντέλου). Το ενιαίο μοντέλο πλέγματος χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση ενός συγκεκριμένου στιγμιαίου πλημμυρικού γεγονότος, αναπαριστώντας την περιοχή μελέτης ως πλέγμα με τετράγωνα κελιά. Το υδρολογικό μοντέλο εκτιμά σε κάθε κελί του πλέγματος μελέτης τις τιμές των πλημμυρικών παραμέτρων, μέγιστο ύψος πλημμυρικού κύματος και αντίστοιχη ταχύτητα, τη χρονική στιγμή όπου το ύψος μεγιστοποιείται.

Στη συνέχεια, ένα μαθηματικό μοντέλο πλέγματος, το οποίο λαμβάνει υπόψη του τις τιμές των πλημμυρικών παραμέτρων, όπως αυτές προκύπτουν από το MIKE FLOOD μοντέλο, εκτιμά την οικονομική ζημιά που προκαλείται στο αγροτικό και αστικό περιβάλλον της περιοχής μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, το τεχνοοικονομικό μοντέλο για τον αγροτικό τομέα λαμβάνει υπόψη του την εποχή εμφάνισης της πλημμύρας και το είδος της καλλιέργειας, ενώ το μοντέλο για τον αστικό τομέα λαμβάνει υπόψη του το είδος του κτίσματος. Οι οικονομικές εκτιμήσεις ζημιάς έχουν ως κύριο δεδομένο εισόδου συνθετικές επιφάνειες ζημιάς, οι οποίες προκύπτουν από δεδομένα ερωτηματολογίου ενισχυμένα με μια σταθμισμένη μέθοδο Monte Carlo.

Εξ' αιτίας της έλλειψης ιστορικών δεδομένων ζημιάς στην περιοχή μελέτης, στην παρούσα διδακτορική διατριβή αναπτύχθηκε μια συνθετική μέθοδος για τη δημιουργία επιφανειών ζημιάς. Η μέθοδος περιλαμβάνει μια έρευνα ερωτηματολογίου, η οποία στοχεύει σε γεωπόνους ερευνητές και πρακτικούς για τον αγροτικό τομέα και σε ειδικούς κατασκευών (πολιτικούς μηχανικούς και αρχιτέκτονες) για τον αστικό τομέα. Από την έρευνα ερωτηματολογίου προέκυψαν δεδομένα ζημιάς για τον αγροτικό και τον αστικό τομέα, τα οποία βασίστηκαν στις εκτιμήσεις ζημιάς που έκαναν οι συμμετέχοντες αναφερόμενοι σε συγκεκριμένα σενάρια πλημμυρικών συνθηκών. Οι απαντήσεις τους, οι οποίες βασίστηκαν στη γνώμη και στην εμπειρία τους, συνέβαλλαν στη συσχέτιση της ζημιάς, που προκαλείται στις διάφορες χρήσεις γης, με τις πλημμυρικές παραμέτρους, ύψος και ταχύτητα του πλημμυρικού κύματος. Στη συνέχεια, μια σταθμισμένη Monte Carlo προσομοίωση πραγματοποιήθηκε για την ενίσχυση της αποκτημένης πληροφορίας ζημιάς από τα αποτελέσματα της έρευνας ερωτηματολογίου. Οι στατιστικές ιδιότητες των Monte Carlo συνθετικών δεδομένων ήταν όμοιες με αυτές των αποτελεσμάτων των ερωτηματολογίων. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Λογιστικής Παλινδρόμησης στα αποτελέσματα της σταθμισμένης Monte Carlo μεθόδου για τη δημιουργία λογιστικών επιφανειών ζημιάς για τον αγροτικό και τον αστικό τομέα. Οι επιφάνειες ζημιάς είναι η σημαντικότερη παράμετρος για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς από το τεχνοοικονομικό μοντέλο. Η σταθμισμένη

Monte Carlo μέθοδος και η μέθοδος της Λογιστικής Παλινδρόμησης συνδυάστηκαν σε έναν ενιαίο Python κώδικα (WMCLR Python κώδικα). Κάθε εκτέλεση του WMCLR κώδικα παρείχε μια επιφάνεια ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για κάθε χρήση γης που μελετήθηκε. Πιο συγκεκριμένα κάθε εκτέλεση του WMCLR κώδικα για τον αγροτικό τομέα παρείχε μια συνθετική επιφάνεια ζημιάς για κάθε είδος καλλιέργειας μελέτης και για κάθε μήνα του έτους, σχετίζοντας τη ζημιά σε κάθε καλλιέργεια μελέτης με το μέγιστο ύψος και την αντίστοιχη ταχύτητα και τη φάση ανάπτυξης της καλλιέργειας κατά την πλημμύρα. Αντίστοιχα, κάθε εκτέλεση του WMCLR κώδικα για τον αστικό τομέα παρείχε μια επιφάνεια ζημιάς για κάθε κτίσμα μελέτης με τις πλημμυρικές παραμέτρους.

Το τεχνοοικονομικό μοντέλο αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python, κάνοντας χρήση πλέγματος, όμοιου με το πλέγμα του MIKE FLOOD μοντέλου. Το μοντέλο λαμβάνει σε κάθε κελί του πλέγματος την πληροφορία για τη χρήση γης του κελιού καθώς επίσης και το ποσοστό της ζημιάς από την κατάλληλη επιφάνεια ζημιάς και με κατάλληλες εξισώσεις ζημιάς, που χρησιμοποιεί ξεχωριστά για κάθε οικονομικό τομέα μελέτης, υπολογίζει τόσο τη ζημιά σε κάθε κελί του πλέγματος, όσο και τη συνολική ζημιά σε όλη την επιφάνεια μελέτης, για κάθε έναν οικονομικό τομέα ξεχωριστά. Το μοντέλο αυτό επιτρέπει την οπτικοποίηση της εκτιμώμενης αγροτικής και αστικής ζημιάς σε περιβάλλον ArcGIS και είναι ικανό να προσδιορίσει αγροτικές και αστικές περιοχές επιρρεπείς τόσο σε πλημμύρες όσο και σε πλημμυρικές ζημιές. Το σημαντικότερο είναι ότι το μοντέλο αυτό έχει τη δυνατότητα να προσδιορίζει με μεγάλη λεπτομέρεια την ακριβή τοποθεσία και το μέγεθος της ζημιάς.

Το μοντέλο εφαρμόστηκε για την εκτίμηση της ζημιάς που προκλήθηκε από το στιγμιαίο πλημμυρικό γεγονός στις 11-12 Φεβρουαρίου, 2003, στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κουλιάρη, στην Κρήτη.

Η ακρίβεια και η συνέπεια των αποτελεσμάτων του τεχνοοικονομικού μοντέλου εκτίμησης της ζημιάς εξετάστηκαν μέσα από μια νέα Monte Carlo προσομοίωση, στην οποία ο κώδικας του τεχνοοικονομικού μοντέλου εκτελέστηκε πολλαπλές φορές, παράγοντας πολλαπλές εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αντικείμενο μελέτης του εκάστοτε οικονομικού τομέα μελέτης. Σε κάθε εκτέλεση του κώδικα χρησιμοποιήθηκε η κατάλληλη επιφάνεια ζημιάς, η οποία προέκυψε από τον WMCLR κώδικα. Τα αποτελέσματα του κώδικα για κάθε αντικείμενο μελέτης του εκάστοτε τομέα μελέτης και για τη συνολική ζημιά του τομέα μελέτης, επεξεργάστηκαν στατιστικά. Η στατιστική αυτή επεξεργασία εξασφάλισε την ακρίβεια και τη συνέπεια της μεθοδολογίας εκτίμησης της ζημιάς, η οποία αναπτύχθηκε και παρουσιάζεται στην παρούσα διδακτορική διατριβή.

Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην παρούσα διδακτορική διατριβή θεσπίζει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο ικανό να προσδιορίσει άμεσα περιοχές επιρρεπείς στον πλημμυρικό κίνδυνο και να εκτιμήσει άμεσα τις οικονομικές απώλειες που αυτός προκαλεί σε διάφορους οικονομικούς τομείς. Ένα εργαλείο ικανό να αναλύει τον πλημμυρικό κίνδυνο και να εκτιμά την πλημμυρική τρωτότητα είναι πολύτιμο για τις κοινωνίες που πλήττονται συχνά από αυτή την απειλή.

Abstract

River floods are socially and economically devastating events, especially in highly developed flood plain areas, where they can cause significant losses and negatively affect local economies. In this thesis, a techno-economic model is presented for the estimation of flood losses to the rural and the urban sectors due to a flash riverine flood.

At first, the MIKE FLOOD hydrological model was employed in order to simulate the river hydraulics, using the MIKE 11 one-dimensional sub-model, and the overland flow in the floodplain area, using the two-dimensional MIKE 21 sub-model. The coupled grid model was used for the inundation simulation of a specific flash flood event. A grid of square cells was employed for the representation of the study area and the flood inundation parameter values, maximum floodwater depth and respective floodwater velocity, at the time instant at which the floodwater depth maximizes, were simulated for each grid cell of the study area.

Continuously, a grid-based mathematical techno-economic model, which takes into account flood inundation parameter values, as provided by MIKE FLOOD, provides monetary estimates of damage in rural and urban environments. More specifically, the techno-economic model for the rural sector takes also into account the season of flood occurrence and the crop type, whereas the model for the urban sector takes into account the building type. The techno-economic model's monetary estimates of damage are based on synthetic flood damage surfaces generated by a combination of questionnaires and weighted Monte Carlo simulations.

Due to the lack of historical damage data for the flood case study, a synthetic method was adopted for the development of the flood damage surfaces, which involved a questionnaire survey targeting practicing and research agronomists for the rural sector, and building experts, i.e. civil engineers and architects for the urban sector. The questionnaire-based survey generated rural and urban loss data based on the responders' loss estimates, for several flood condition scenarios. By answering the questionnaire, the experts were in essence expressing their opinion on how damage to various crop types or building types is related to a range of values of flood inundation parameters, such as maximum floodwater depth and respective velocity. Subsequently, a Weighted Monte Carlo simulation was performed in order to enhance the questionnaire-based loss estimate information. The statistical properties of the generated synthetic datasets were identical to those of the questionnaire-based data. The data generated by the Weighted Monte Carlo method were processed via Logistic Regression techniques in order to develop logistic damage surfaces for the rural and the urban sector. The damage surfaces are an essential parameter for the estimation of the flood damages by the techno-economic model. The Python-based code combines the Weighted Monte Carlo method and the Logistic Regression analysis into a single code (WMCLR Python code). Each WMCLR code execution provided a flow depth-velocity-damage surface for a specific land use. More specifically, each WMCLR code execution for the agricultural sector generated a damage surface for a specific crop and for every month of the year, thus relating the damage to any crop with floodwater depth, flow velocity and the growth phase of the crop at the time of flooding. Respectively, each WMCLR code execution for the urban sector developed a damage surface for a specific building type, relating structural damage with floodwater depth and velocity.

The techno-economic model for the flood loss estimation was developed and implemented in the Python programming language, using the same grid as MIKE FLOOD model's grid. In every grid cell, it uses the land use information and the damage percentage according to the proper damage surface and through specific flood loss equations for the studied economical sectors, it is capable of estimating both the damage in each grid cell, as well as the total damage to the overall study area. The techno-economic model also enables the visualization of the estimated agricultural and rural damage in an ArcGIS environment. It is thus possible to identify rural or urban areas most prone both to flooding and to flooding damage, providing at the same time location specific loss estimates.

The model was applied for the damage estimate caused by a real flash flood event on February 11th and 12th, 2003, which took place in the Koiliaris River basin, in Crete.

A new Monte Carlo simulation was performed, consisting of multiple executions of the techno-economic code, which generated multiple damage cost estimates for every studied economical sector. Each execution used the proper WMCLR simulated damage surface. A statistical analysis of the damage estimates established the accuracy and consistency of the flood loss estimation methodology, which is developed and presented in this thesis.

The methodology presented in this thesis establishes an integrated framework capable of directly estimating the economic losses in several sectors affected by flooding. Flood risk and vulnerability assessment in flood prone areas is a valuable tool for societies that are frequently affected by this threat.

1.1 Σκοπός της διατριβής

Ο σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η δημιουργία ενός καινοτόμου εργαλείου για την εκτίμηση της επικινδυνότητας και των επιπτώσεων γεγονότων αιφνίδιας πλημμύρας σε επίπεδο λεκάνης απορροής, τόσο σε αγροτικό όσο και σε αστικό περιβάλλον. Το καινοτόμο αυτό εργαλείο αποτελείται από ένα υδρολογικό μοντέλο πλέγματος, το MIKE FLOOD μοντέλο, το οποίο μπορεί να προσδιορίσει την έκταση που καλύπτει μια πλημμύρα και παράλληλα να υπολογίσει τις τιμές ύψους και ταχύτητας κύματος στην κατακλυσμένη περιοχή. Επιπλέον, το εργαλείο αυτό περιλαμβάνει και ένα τεχνοοικονομικό μοντέλο πλέγματος, σε γλώσσα προγραμματισμού Python, το οποίο εκτιμά τη ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα σε αγροτικό και σε αστικό περιβάλλον, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα του υδρολογικού μοντέλου, τη χρήση γης που συναντάται σε κάθε κελί και την πληροφορία από τις επιφάνειες ζημιάς. Το τεχνοοικονομικό εργαλείο που παρουσιάζεται στην παρούσα διδακτορική εργασία μπορεί να προσδιορίσει περιοχές υψηλού ή χαμηλού πλημμυρικού κινδύνου καθώς επίσης και περιοχές υψηλού ή χαμηλού κινδύνου πλημμυρικής ζημιάς.

1.2 Ορισμός του Προβλήματος

Οι πλημμύρες είναι παγκοσμίως από τις πιο συχνές και σημαντικές φυσικές καταστροφές, ενώ αποτελούν αντικείμενο ενασχόλησης για πολλούς ερευνητές και για τις τοπικές αρχές μιας περιοχής. Οι κύριες ανησυχίες που σχετίζονται με αυτό το φυσικό φαινόμενο είναι οι άμεσες επιπτώσεις που προκαλεί μια πλημμύρα, ο πλημμυρικός κίνδυνος, η τρωτότητα των υποδομών, καθώς επίσης και η ευπάθεια που παρουσιάζει ο άνθρωπος μπροστά στον κίνδυνο αυτό. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται αύξηση των πλημμυρικών γεγονότων, πράγμα που υποδεικνύει ενδεχόμενη αύξηση στις εκτιμώμενες πλημμυρικές ζημιές. Η δημιουργία ενός ολοκληρωμένου εργαλείου για τον προσδιορισμό περιοχών υψηλού πλημμυρικού κινδύνου και υψηλού κινδύνου πλημμυρικής ζημιάς χρήζει άμεσης ανάγκης.

1.3 Δομή της Διατριβής

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας διατριβής παρουσιάζεται ο σκοπός και ορίζεται το προς επίλυση πρόβλημα. Πραγματοποιείται επίσης ανάλυση της δομής της παρούσας διατριβής και τονίζονται τα σημεία πρωτοτυπίας της. Τέλος παρουσιάζονται οι δημοσιεύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίχθηκε η παρούσα διδακτορική διατριβή. Αρχικά δίνεται η επεξήγηση των εννοιών της πλημμύρας και της πλημμυρικής ζημιάς, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση παλαιότερων δημοσιευμένων εργασιών που σχετίζονται με τα βασικά βήματα που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς στην παρούσα διδακτορική εργασία.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε κατά τη δημιουργία της ολοκληρωμένης μεθοδολογίας εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς. Αρχικά παρουσιάζεται το MIKE FLOOD μοντέλο, με το οποίο πραγματοποιείται η μοντελοποίηση της πλημμύρας μελέτης. Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία του μοντέλου εκτίμησης της ζημιάς σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Βασικό κομμάτι του κεφαλαίου αυτού αποτελεί η μέθοδος που διαμορφώθηκε για τη δημιουργία των συνθετικών επιφανειών ταχύτητας-ύψους-ζημιάς με χρήση δεδομένων από ερωτηματολόγια, μαθηματικών μεθόδων Monte Carlo και μεθόδων λογιστικής παλινδρόμησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης στην οποία εφαρμόστηκε η μεθοδολογία. Παράλληλα παρουσιάζεται το πλημμυρικό γεγονός μελέτης και αναλύονται τα χωροχρονικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διαδικασία παραμετροποίησης του MIKE FLOOD υδρολογικού μοντέλου και του τεχνοοικονομικού μοντέλου εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας για το πλημμυρικό γεγονός μελέτης και γίνεται προσπάθεια πιστοποίησής τους με χρήση ιστορικών δεδομένων ζημιάς.

Στο έκτο κεφάλαιο, δεδομένου ότι η πιστοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας δεν ήταν εφικτή με χρήση ιστορικών δεδομένων ζημιάς, παρουσιάζεται μια εναλλακτική μέθοδος πιστοποίησης στην οποία γίνεται χρήση ανάλυσης αβεβαιότητας. Με πραγματοποίηση διαδοχικών εκτελέσεων του Python κώδικα εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς, γίνεται στατιστική ανάλυση των διαδοχικών εκτιμήσεων ζημιάς, εξετάζοντας και κατοχυρώνοντας τη συνέπεια του μοντέλου εκτίμησης της ζημιάς.

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διδακτορική διατριβή, αναφέρονται εν συντομία οι καινοτομίες της, ενώ παράλληλα προτείνονται πιθανά θέματα μελλοντικής έρευνας.

1.4 Πρωτοτυπία της Διατριβής

Τα κυριότερα πρωτότυπα σημεία της παρούσας διδακτορικής διατριβής συνοψίζονται παρακάτω.

Εισαγωγή της παραμέτρου της ταχύτητας του κύματος της πλημμύρας στις επιφάνειες ζημιάς. Είναι λίγες οι εργασίες που χρησιμοποιούν την ταχύτητα του πλημμυρικού κύματος για τον υπολογισμό της πλημμυρικής ζημιάς και αυτό συμβαίνει διότι είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί η επίδραση της παραμέτρου αυτής στην προκαλούμενη ζημιά.

Δημιουργία συνθετικών επιφανειών ταχύτητας-ύψους-ζημιάς σε περιοχές με ελάχιστα δεδομένα ζημιάς. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από ερωτηματολόγια καθώς επίσης και οι μαθηματικές μέθοδοι του Monte Carlo και της Λογιστικής παλινδρόμησης. Επίσης δημιουργήθηκαν καμπύλες ζημιάς για δενδροειδείς καλλιέργειες (Ελαιόδεντρα και Πορτοκαλιόδεντρα).

Δημιουργία μοντέλου εκτίμησης της αστικής και αγροτικής πλημμυρικής ζημιάς. Επιπλέον καινοτομία, τουλάχιστον σε ελλαδικό επίπεδο, αποτελεί η χωρική ανάλυση του πλέγματος με

κελί διάστασης 5 m x 5 m. Με την κλίμακα αυτή διατηρείται η λεπτομερής κατανομή των χαρακτηριστικών της πλημμύρας που παρέχονται από το υδρολογικό μοντέλο.

1.5 Δημοσιεύσεις

Παρακάτω αναφέρονται οι εργασίες που έχουν δημοσιευθεί ή είναι προς δημοσίευση σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά και διεθνή συνέδρια στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά

A.-E. K. Vozinaki, G. P. Karatzas, I. A. Sibetheros, and E. A. Varouchakis (2014). An agricultural flood loss estimation model using synthetic logistic damage surfaces. Natural Hazards, in review

A.-E. K. Vozinaki, N. N. Kourgialas, and G. P. Karatzas (2012). Estimation of agricultural flood loss in the Koiliaris river basin in Crete, Greece. European Water 39: 53-63

A.-E. K. Vozinaki, N. N. Kourgialas, and G. P. Karatzas (2012). Estimating Flood Inundation and the Consequent Economic Losses in the Koiliaris River Basin in Crete, Greece. Global Nest Journal 14(3): 284-293

Δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά συνέδρια

A.-E. K. Vozinaki, G. P. Karatzas, I. A. Sibetheros, E. A. Varouchakis (2014). Development of synthetic velocity-depth damage curves using a Weighted Monte Carlo method and Logistic Regression analysis. EGU General Assembly, Vienna, 27 April-02 May

A.-E. K. Vozinaki, N. N. Kourgialas, G. P. Karatzas, I. A. Sibetheros (2013). Flood Simulation and Estimation of Agricultural Flood Loss in ARCGIS Environment using PYTHON. Proceedings of the 8th International Conference of EWRA, 'Water Resources Management in an Interdisciplinary and Changing Context, Porto, 26-29 June

A.-E. Vozinaki, N. N. Kourgialas, G. P. Karatzas (2012). Flood Damage Assessment in the Koiliaris River Basin in Chania, Greece. Proceedings of the SMARTeST International Conference-IMPLEMENTING FLOOD RESILIENCE, Athens, 27-28 September

A.-E. K. Vozinaki, N. N. Kourgialas, G. P. Karatzas (2012). An Integrated Approach to Estimate Flood Damages-A Field Application in the Koiliaris River Basin in Chania, Greece. Proceedings of the Protection and Restoration of the Environment XI Conference, Thessaloniki, 3-6 July

A.-E. K. Vozinaki, N. N. Kourgialas, G. P. Karatzas (2011). An Integrated Surface and Groundwater Modeling System for Flood Loss Estimation. A Field Application in the Koiliaris River Basin in Crete-Greece. Proceedings of the 12th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2011), Rhodes, 8-10 September

2.1 Πλημμύρα

Πλημμύρα και πλημμυρικός κίνδυνος: Ορισμοί και προσδιορισμοί

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60/ΕΚ (European Commission 2007) «πλημμύρα» ορίζεται η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό. Ο ορισμός αυτός περιλαμβάνει πλημμύρες που προκαλούνται από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους, εφήμερα ρεύματα της Μεσογείου και πλημμύρες που προκαλούνται από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές.

Σύμφωνα με την Κοινή Υπουργική Απόφαση του Υπουργείου Οικονομικών και Γεωργίας (ΦΕΚ. 1079/Β'/14.10.98 1998), η οποία καθορίζει τους όρους, τις προϋποθέσεις, τους περιορισμούς και τις απαιτούμενες διαδικασίες που πρέπει να ακολουθεί ο Ελληνικός Οργανισμός Γεωργικών Ασφαλίσεων (ΕΛΓΑ) σε περίπτωση φυσικού κινδύνου, «πλημμύρα» θεωρείται η εισροή νερού και η παραμονή του στις καλλιέργειες. Το νερό μπορεί να προέρχεται από υπερχειλίση ή ρήγμα των φυσικών ή τεχνητών ορίων ρεύματος ή άλλου όγκου γλυκού νερού, από βροχόπτωση ή τήξη χιονιού με αποτέλεσμα ζημιά στη φυτική παραγωγή λόγω διάβρωσης ή κατάκλισης των καλλιεργειών. Στην ανωτέρω έννοια της πλημμύρας δεν υπάγεται η εισροή και παραμονή νερού σε καλλιέργειες, που οφείλεται σε αμέλεια, παραλείψεις ή άλλα τεχνητά αίτια.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2000/60/ΕΚ (European Commission 2007) «πλημμυρικός κίνδυνος» (flood risk) ορίζεται ο συνδυασμός της πιθανότητας πραγματοποίησης μιας πλημμύρας με τις δυνητικές αρνητικές συνέπειες που θα προκαλέσει στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες. Η παραπάνω Ευρωπαϊκή Οδηγία υποχρεώνει τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης να δημιουργήσουν χάρτες που θα προσδιορίζουν περιοχές εκτεθειμένες στον κίνδυνο πλημμύρας και θα υποδεικνύουν την πιθανότητα πλημμύρας για κάθε μια από αυτές, συμπεριλαμβάνοντας την πιθανή ζημιά που θα προκληθεί σε υποδομές, σε κτίρια και στο περιβάλλον (Kreibich et al. 2009). Σκοπός είναι να λαμβάνονται εκτενή μέτρα από τα κράτη-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε κοινοτικό επίπεδο, ώστε να περιοριστεί η ζημιά που μπορεί να προκληθεί από ακραία πλημμυρικά γεγονότα (Citeau 2003).

Κατηγορίες πλημμύρας

Οι πλημμύρες χωρίζονται σε στιγμιαίες πλημμύρες (flash floods), σε ποτάμιες πλημμύρες (riverine floods), σε παράκτιες πλημμύρες (coastal floods) και σε πλημμύρες υπόγειων υδάτων (groundwater flooding).

Οι στιγμιαίες πλημμύρες είναι ορμητικές πλημμύρες που συμβαίνουν ξαφνικά, 6-12 ώρες ή λιγότερο μετά από την αντίστοιχη βροχόπτωση. Συμβαίνουν μετά από μικρή ή και καθόλου προειδοποίηση και διαρκούν για πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Προκύπτουν από την απότομη και γρήγορη αύξηση της στάθμης του νερού, η οποία συνοδεύεται από υψηλές ταχύτητες. Συμβαίνουν ιδιαίτερα σε λοφώδεις ή ορεινές περιοχές με απότομες κλίσεις εδάφους. Η επιφανειακή απορροή που προκαλούν είναι πολύ σημαντική για το χρόνο

διάρκειας της πλημμύρας και αποτελεί σοβαρή απειλή για την κατασκευαστική ακεραιότητα των κτιρίων και των υποδομών. Εξαιτίας του μικρού χρόνου για προειδοποίηση, προετοιμασία και εκκένωση, οι απώλειες ανθρώπινων ζωών είναι ουσιαστική συνέπειά τους.

Οι ποτάμιες πλημμύρες μπορεί να εκτείνονται σε μεγάλες περιοχές στα ενδιάμεσα και στα χαμηλότερα σημεία ποτάμιων συστημάτων, όπου οι κλίσεις εδάφους είναι ηπιότερες. Οι πλημμύρες σε ποτάμια συστήματα είναι η πιο συχνή και δαπανηρή φυσική καταστροφή για την πλειοψηφία των χωρών σε όλο τον κόσμο (Jongman et al. 2012). Εξαιτίας της μεγάλης οικονομικής δραστηριότητας στην πλημμυρική κοίτη του ποταμού (floodplains), οι οικονομικές ζημιές και οι απώλειες που προκαλούνται μπορεί να είναι πολύ σημαντικές.

Οι παράκτιες πλημμύρες τις περισσότερες φορές προκαλούνται από κύματα καταιγίδων, ή σαν συνδυασμός κυμάτων καταιγίδας και υψηλής παλίρροιας. Το τσουνάμι είναι παράδειγμα παράκτιας πλημμύρας και είναι ένα λιγότερο συχνό φαινόμενο, ωστόσο μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες πρωτοφανούς κλίμακας για την ανθρωπότητα.

Οι πλημμύρες υπόγειων υδάτων προκύπτουν από την απότομη άνοδο της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα ή από την ενεργοποίηση πηγών διαλείπουσας ροής.

Επιπτώσεις πλημμύρας

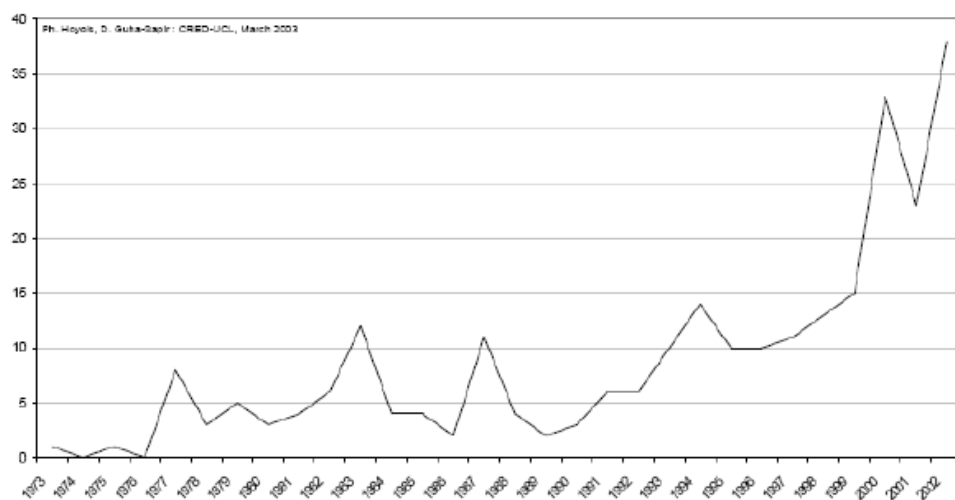
Μια πλημμύρα μπορεί να έχει επιπτώσεις στο περιβάλλον, στην οικονομία μιας περιοχής και στην κοινωνία της. Ιδιαίτερα όταν εμφανίζονται σε περιοχές με μεγάλο πληθυσμό και έντονες οικονομικές δραστηριότητες οι ζημιές που προκαλούν είναι πολύ σημαντικές (Kang et al. 2005). Περιβαλλοντικά μια πλημμύρα μπορεί να προκαλέσει αρνητικές συνέπειες στο κατακλυσμένο έδαφος (π.χ. διάβρωση) και να καταστήσει μη αποδοτικές τις εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης. Οι οικονομικές επιπτώσεις μιας πλημμύρας αναφέρονται στις άμεσες οικονομικές επιπτώσεις (π.χ. καταστροφή ακίνητης περιουσίας, γεωργικών εκτάσεων, παραγωγής, υποδομών) καθώς και στα κόστη επαναφοράς των υποδομών σε κατάσταση που να μπορούν να αντιμετωπίσουν στο μέλλον πιθανά πλημμυρικά γεγονότα ανάλογης σημαντικότητας και επικινδυνότητας. Γενικά οι πλημμύρες είναι υπεύθυνες για το 20-30% των οικονομικών ζημιών που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές (Elmer et al. 2010). Οι απώλειες ανθρώπινων ζωών και τα ψυχολογικά τραύματα που προκαλούν, αποτελούν πολύ σημαντικά μεγέθη τα οποία, ωστόσο, δεν μπορούν να ποσοτικοποιηθούν και να συμπεριληφθούν στις οικονομικές επιπτώσεις.

Πλημμύρα στο Διεθνές Ευρωπαϊκό χώρο

Σύμφωνα με τη Διεθνή Βάση Δεδομένων Φυσικών Καταστροφών (Emergency Disasters Database-EM-DAT) οι πλημμύρες αποτελούν το 43% των συνολικών καταγεγραμμένων φυσικών καταστροφών κατά την περίοδο 1998-2002. Επιπλέον, τα καταγεγραμμένα πλημμυρικά γεγονότα μεγάλης κλίμακας από το 2003-2007 στην Ευρώπη ξεπερνούν τα 120 γεγονότα με συνολική οικονομική ζημιά πάνω από 12 δισ. ευρώ. Παράλληλα, εφτά από τα είκοσι πιο σημαντικά γεγονότα που έχουν ποτέ καταγραφεί στην Ευρώπη πραγματοποιήθηκαν τη δεκαετία 2000-2009 (Jakubicka et al. 2010). Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία από το Ευρωπαϊκό Τμήμα του ΟΗΕ, κατά τη διάρκεια της τριακονταετίας 1973-2002,

οι πλημμύρες στη Γηραιά ήπειρο παρουσίασαν δραματική αύξηση (ΕΚΚΕ 2007) (Εικ. 2.1). Η κλίμακα και η συχνότητα των πλημμυρών δείχνει να αποτελεί στο άμεσο μέλλον έναν ολοένα και αυξημένο κίνδυνο για την ανθρωπότητα, ως συνέπεια της κλιματικής αλλαγής, της αλόγιστης αστικής ανάπτυξης χωρίς χωροταξικό σχεδιασμό και της ασυντόνιστης διαχείρισης των λεκανών απορροής (Πιστρίκα 2010).

Συγκεκριμένα για τις ποτάμιες πλημμύρες, σε αρκετές περιοχές τις Ευρώπης παρουσιάζεται δραματική αύξησή τους τα τελευταία χρόνια, αφήνοντας πίσω τους θύματα και ζημιές (Lugeri et al. 2006). Ενδεικτικά αναφέρουμε παραδείγματα σημαντικών ποτάμιων πλημμυρών, όπως οι πλημμύρες του Ρήνου το 1993 με συνολικές ζημιές 530 εκ. ευρώ, η πλημμύρα του Δούναβη το 1999 με ζημιές 410 εκ. ευρώ και οι πλημμύρες του 2002 στον Έλβα και στο Δούναβη με συνολικές ζημιές 1.2 δις εκ. ευρώ (Elmer et al. 2010).



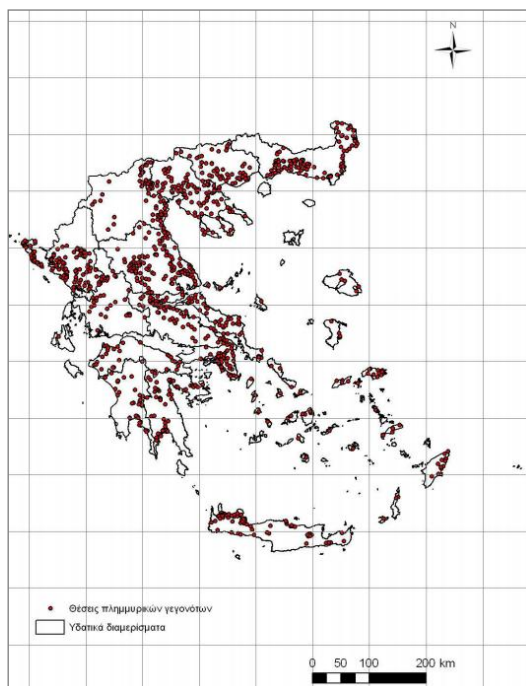
Εικόνα 2.1 Συνολικός αριθμός πλημμυρών στην Ευρώπη 1973-2002 (Πηγή: ΕΚΚΕ 2007)

Πλημμύρα σε Εθνικό επίπεδο

Στην Ελλάδα, υπεύθυνοι για την καταγραφή των ιστορικών γεγονότων πλημμύρας είναι η Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας του Υπουργείου Δημόσιας Τάξης και Προστασίας του Πολίτη, η Υπηρεσία Αποκατάστασης Σεισμόπληκτων (Υ.Α.Σ.) του Υπουργείου Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων (ΥΠΟΜΕΔΙ), ο Οργανισμός Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων (ΕΛΓΑ) και η Πυροσβεστική Υπηρεσία. Για το σύνολο της χώρας από τους παραπάνω υπεύθυνους φορείς καταγράφηκαν 1.627 γεγονότα πλημμύρας σε 1.076 θέσεις (ΕΓΥ 2012) (Εικ. 2.2).

Σε εθνικό επίπεδο τα πλημμυρικά γεγονότα δεν προκαλούν συχνά απώλεια ανθρώπινων ζωών, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες Ευρωπαϊκές χώρες. Μόνο σε τέσσερις περιπτώσεις, κατά την τριακονταετία 1973-2002, καταγράφηκαν πλημμύρες που προκάλεσαν πάνω από δέκα θανάτους (1977, 1980, 1994, 2001). Το αναμφισβήτητο θετικό αυτό στοιχείο δημιουργεί προβλήματα στην έρευνα διότι αποτελεί τον λόγο για τον οποίο δεν υπάρχουν επαρκή στατιστικά στοιχεία των πλημμυρικών επιπτώσεων στη χώρα. Η μόνη επαρκής και μερικώς ενημερωμένη βάση δεδομένων ζημιάς από πλημμύρα είναι αυτή του ΕΛΓΑ (ΕΚΚΕ 2007), ωστόσο ο ΕΛΓΑ διαθέτει στοιχεία για την γεωγραφική κατανομή των αποζημιώσεων που έχει

καταβάλλει ο οργανισμός τα έτη 2000-2011 και μόνο για την αγροτική ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα.



Εικόνα 2.2. Θέσεις ιστορικών γεγονότων πλημμύρας στην Ελλάδα (Πηγή: ΕΓΥ 2012)

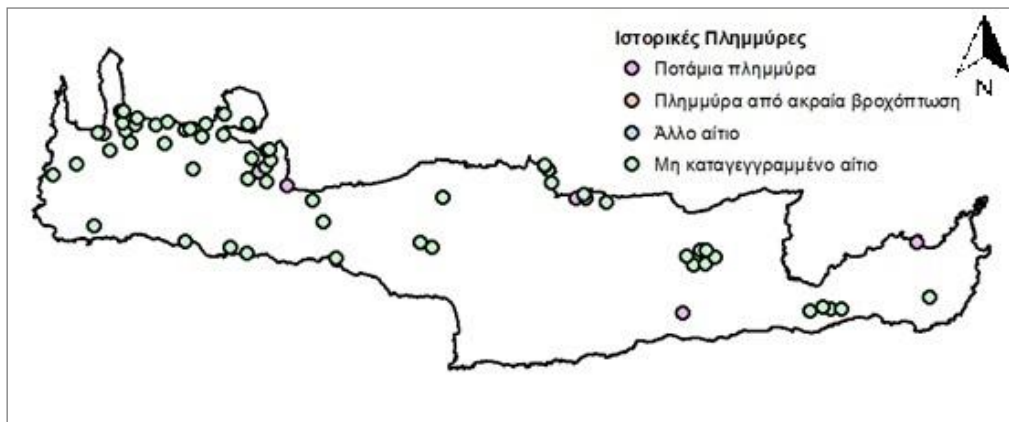
Πλημμύρα στην Κρήτη

Για την περιοχή της Κρήτης δεν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα. Σαράντα εννιά (49) πλημμυρικά γεγονότα έχουν επίσημα καταγραφεί για τη δεκαετία 1997-2007 στο νησί της Κρήτης (Koutroulis et al. 2010). Σύμφωνα με την ΕΓΥ (2012), μετά από επεξεργασία των ιστορικών συμβάντων οι περιοχές όπου έχουν σημειωθεί στο παρελθόν σημαντικές πλημμύρες είναι οι χαμηλές παρόχθιες εκτάσεις ρεμάτων της περιοχής των Χανίων, η χαμηλή ζώνη του Ηρακλείου, η περιοχή της Ιεράπετρας και η χαμηλή περιοχή του οροπεδίου του Λασιθίου. Επεισόδια πλημμύρας καταγράφονται επίσης στην περιοχή Βάμος, και στη χώρα των Σφακίων του νομού Χανίων. Στην Εικ. 2.3 παρουσιάζονται οι θέσεις των καταγεγραμμένων ιστορικών πλημμυρών για την Κρήτη, που προέκυψαν από δεδομένα της ΕΓΥ (2012) για το Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης (GR13). Παρατηρούμε ότι στην πλειοψηφία των παραπάνω ιστορικών πλημμυρικών γεγονότων δεν είναι καταγεγραμμένο το αίτιο της πλημμύρας.

2.2 Προσομοίωση ποτάμιας πλημμύρας με χρήση υδρολογικού μοντέλου

Για την προσομοίωση μιας ποτάμιας πλημμύρας απαιτείται η επιλογή του κατάλληλου υδρολογικού μοντέλου. Η επιλογή αυτή καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, τα χαρακτηριστικά και το είδος της προς μελέτη πλημμύρας, τα διαθέσιμα δεδομένα και τα ζητούμενα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Για την προσομοίωση μιας ποτάμιας

πλημμύρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα μονοδιάστατο μοντέλο, είτε ένα διδιάστατο μοντέλο, είτε ένα ενιαίο μονοδιάστατο-διδιάστατο μοντέλο.



Εικόνα 2.3. Ιστορικές πλημμύρες στην Κρήτη (Πηγή: από δεδομένα ΕΓΥ 2012)

Τα μονοδιάστατα μοντέλα είναι σχετικά απλά και δεν απαιτούν υπερβολική επεξεργασία των δεδομένων τους. Αντίθετα, τα διδιάστατα μοντέλα αποτελούν μια πιο σύνθετη μέθοδο προσομοίωσης πλημμύρας, ενώ επιτρέπουν την σύνθετη και λεπτομερή περιγραφή της ροής. Η μοντελοποίηση μιας πλημμύρας με χρήση ενός μονοδιάστατου μοντέλου είναι σχετικά γρήγορη σε σχέση με τη χρήση ενός διδιάστατου (Messner et al. 2007), καθώς χρησιμοποιεί λιγότερα υπολογιστικά σημεία σε σχέση με τα διδιάστατα, στα οποία απαιτείται μεγάλη υπολογιστική προσπάθεια και οι υπολογιστικοί χρόνοι είναι μεγαλύτεροι. Στα διδιάστατα μοντέλα, στις περισσότερες περιπτώσεις, χρειάζεται ένας σημαντικός αριθμός παραμέτρων εισόδου σε σχέση με την πλημμύρα, τη ροή και την επιφάνεια της περιοχής κατάκλισης. Τέλος, υπάρχει και το ενδεχόμενο της χρήσης ενός ενιαίου μονοδιάστατου-διδιάστατου μοντέλου, το οποίο μπορεί να εξασφαλίσει την καλύτερη αναπαράσταση των φυσικών διαδικασιών του συστήματος (Dhondia and Stelling 2002). Ένα ενιαίο μοντέλο εμπεριέχει τα πλεονεκτήματα τόσο της μονοδιάστατης όσο και της διδιάστατης μοντελοποίησης. Επιτρέπει τη μελέτη της πλημμύρας τόσο στο ποτάμιο σύστημα όσο και στην πλημμυρική κοίτη και παρέχει χάρτες πλημμύρας οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη όλες τις λεπτομέρειες της τοπογραφίας που μπορούμε να αναπαράγουμε. Ωστόσο χρειάζεται μεγαλύτερος χρόνος για τη διαδικασία παραμετροποίησης και επομένως η υπολογιστική προσπάθεια είναι μεγαλύτερη.

Διάφορα υδρολογικά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς σε πολλές επιστημονικές εργασίες για την προσομοίωση πλημμύρας. Από αυτά διακρίνουμε τα μονοδιάστατα μοντέλα HEC-RAS (Renyi and Nan 2002; Nadal et al. 2006; Pistrika 2010; Messner et al. 2007; Middelmann-Fernandes 2010; Nascimento et al. 2007; Timbadiya et al. 2011), MIKE 11 (Du Plessis 2001; Messner et al. 2007), ISIS (Messner et al. 2007), Delft FLS (Roos et al. 2003). Ένα διδιάστατο μοντέλο για την προσομοίωση πλημμύρας, που χρησιμοποιείται συχνά, είναι το LISFLOOD-FP (Bates et al. 2000; Van der Sande et al. 2003; Genovese 2006; Apel et al. 2009; Yu et al. 2013). Επιπλέον στη βιβλιογραφία αναφέρεται και η χρήση των διδιάστατων μοντέλων WOLF 2D (Ernst et al. 2010) και των Telemac 2, MIKE 21, RisoSurf, TrimR2D (Messner et al.

2007). Μερικά από τα ενιαία μονοδιάστατα-διδιάστατα είναι το MIKE FLOOD (Patro et al. 2009; Kadam et al. 2012), SOBEK 1D-2D (Jonkman et al. 2008; Pistrika and Jonkman 2010), 1D/2D LISFLOOD-FP (Thieken et al. 2008), MIKE 11 και το MIKE 21 (Vojinovic and Tutulic 2009). Αποδεικνύεται από τους Horrit et al. (2002), οι οποίοι συγκρίνουν την επίδοση του μονοδιάστατου μοντέλου HEC-RAS και των διδιάστατων μοντέλων LISFLOOD-FP και TELEMAC-2D, ότι τα ενιαία μονοδιάστατα-διδιάστατα μοντέλα έχουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα μονοδιάστατα και τα διδιάστατα ξεχωριστά. Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγουν και οι Koivumäki et al. (2010) έπειτα από σύγκριση μεταξύ του μονοδιάστατου HEC-RAS και του διδιάστατου TUFLOW.

Στη παρούσα διδακτορική διατριβή χρησιμοποιήθηκε το ενιαίο μοντέλο MIKE FLOOD, το οποίο διατίθεται από την εταιρία DHI (Danish Hydraulic Institute) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την προσομοίωση πλημμύρας σε αστική περιοχή (urban flood), είτε σε παράκτια (coastal flood), είτε σε ποτάμι (river flood). Σκοπός της προσομοίωσης είναι ο προσδιορισμός της πιθανότητας εμφάνισης της πλημμύρας σε περιοχές επιρρεπείς στον κίνδυνο αυτό, κατανοώντας σε βάθος το ενιαίο σύστημα. Το MIKE FLOOD είναι ένα μοντέλο που ενοποιεί τα μοντέλα 1D-MIKE 11 και 2D-MIKE 21 σε ένα ξεχωριστό, δυναμικό ενιαίο σύστημα μοντελοποίησης, με χρήση του MIKE Zero εργαλείου. Το MIKE 11 αποτελεί ένα υδραυλικό μοντέλο για την μονοδιάστατη μοντελοποίηση (1D hydraulic model) ενός ποταμού. Το MIKE 21 αποτελεί ένα υδρολογικό μοντέλο για την διδιάστατη μοντελοποίηση (2D model) της περιοχής που βρίσκεται πλευρικά του ποταμού, την πλημμυρική κοίτη (floodplain area). Επομένως, το MIKE FLOOD επιτρέπει την χρήση όλων των καλών χαρακτηριστικών των δυο παραπάνω μοντέλων, ενώ παράλληλα αποφεύγει κάποιους περιορισμούς που θα λαμβάνονταν υπόψη αν τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνταν ξεχωριστά.

2.3 Ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα

Ζημιά και απώλεια: Ορισμοί και προσδιορισμοί

Είναι δύσκολη η διαφοροποίηση ανάμεσα στους όρους «ζημιά πλημμύρας» (flood damage) και «απώλεια πλημμύρας» (flood loss). Πιο συγκεκριμένα, η «ζημιά πλημμύρας» αναφέρεται στη φυσική ζημιά που προκαλείται από την πλημμύρα σε δημόσια και ιδιωτικά αποκτήματα, όπως για παράδειγμα σε κτίρια, υποδομές, οχήματα κλπ. Ο όρος «απώλεια πλημμύρας» έχει ευρύτερη έννοια συμπεριλαμβάνοντας και μη απτές ζημιές, όπως για παράδειγμα την απώλεια ανθρώπινων ζωών ή γενικότερα την απώλεια σε όρους μείωσης ή εξαφάνισης στοιχείων του συστήματος που βρίσκεται υπό συνθήκες πλημμύρας (Kang et al. 2005).

Επίπτωση, ζημιά και κόστος πλημμύρας: Ορισμοί και προσδιορισμοί

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται η διάκριση ανάμεσα στους όρους «επίπτωση πλημμύρας» (flood impact), «ζημιά πλημμύρας» (flood damage) και «κόστος πλημμύρας» (flood cost) (Brémond et al. 2013). «Επίπτωση πλημμύρας» είναι κάθε επίπτωση που μπορεί να προκαλέσει μια πλημμύρα στο σύστημα που έχει πληγεί, «ζημιά πλημμύρας» είναι κάθε αρνητική επίπτωση, ενώ «κόστος πλημμύρας» είναι η εκτίμηση της ζημιάς σε όρους νομισματικών μονάδων (Brémond et al. 2013). Οι Kang et al. (2005) ενισχύουν την τρίτη από τις παραπάνω εκδοχές, αναφέροντας ότι η ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα

αντιπροσωπεύει το ποσό των χρημάτων που πρέπει να δοθεί για να αποκατασταθεί η πλημμυρισμένη περιοχή και να επανέλθει στην αρχική της κατάσταση, σε αυτήν πριν από το πλημμυρικό γεγονός.

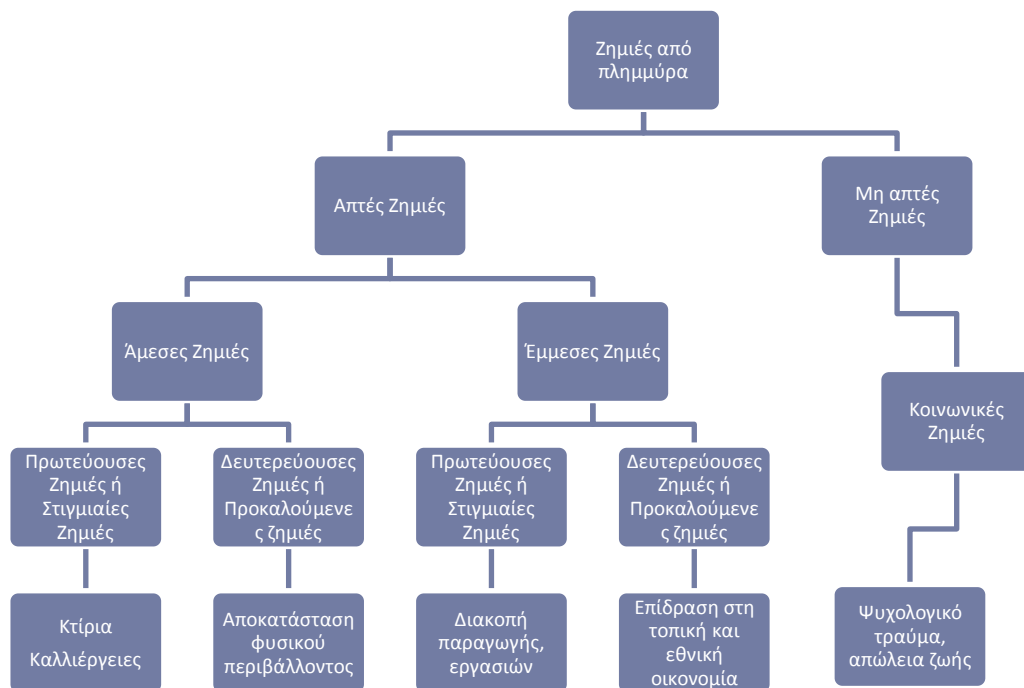
Κατηγορίες πλημμυρικής ζημιάς

Ένα από τα σημαντικότερα βήματα κατά την ανάπτυξη ενός επαρκούς μοντέλου εκτίμησης του κόστους της πλημμυρικής ζημιάς είναι η κατηγοριοποίηση της ζημιάς ανάλογα με τη φύση της (Dutta et al. 2003). Οι ζημιές που προκαλούνται από πλημμύρα κατηγοριοποιούνται σε απτές και μη απτές ζημιές (tangible and intangible damages) (Green 1983; Dutta et al. 2003) (Εικ. 2.4). Απτές είναι οι ζημιές που μπορούν να εκφραστούν σε νομισματικές μονάδες (Dutta et al. 2003), όπως για παράδειγμα, οι ζημιές που προκαλούνται σε κτίρια ή στα περιεχόμενά τους, σε αγροτεμάχια ή σε υποδομές. Οι ζημιές αυτές μπορούν να ποσοτικοποιηθούν σε κόστος αποκατάστασης ή αντικατάστασης των μονάδων που έχουν πληγεί. Αντιθέτως, οι μη απτές ζημιές δεν μπορούν να εκφραστούν σε νομισματικές μονάδες, όπως για παράδειγμα, το ψυχολογικό τραύμα που δημιουργεί μια πλημμύρα στους κατοίκους, ένας τραυματισμός καθώς επίσης και το δυσμενές σενάριο της απώλειας ανθρώπινης ζωής. Οι Grigg and Helweg (1975) εντάσσουν στις μη απτές ζημιές και την υποβάθμιση του περιβάλλοντος μετά από μια πλημμύρα, την μεταβολή της κοινωνικής ευημερίας των κατοίκων καθώς επίσης και την απώλεια αισθητικών αξιών. Η σημαντικότητα των μη απτών ζημιών είναι πολύ μεγάλη και είναι πολύ δύσκολη η ποσοτικοποίηση τους (Dutta et al. 2003).

Καθεμία από τις δυο παραπάνω κατηγορίες ζημιών χωρίζεται σε άμεσες και έμμεσες ζημιές (direct and indirect damages) (Dutta et al. 2003) (Εικ. 2.4). Άμεσες είναι οι ζημιές που προκαλούνται από την άμεση και φυσική επαφή του νερού της πλημμύρας με τον άνθρωπο ή τα αποκτήματά του, όπως για παράδειγμα οι ζημιές στα κτίρια και τα περιεχόμενά τους. Έμμεσες είναι οι ζημιές που προκύπτουν ως συνέπεια των άμεσων επιπτώσεων της πλημμύρας και συμβαίνουν σε χώρο και χρόνο έξω από το πλημμυρικό γεγονός (Merz et al. 2010), όπως για παράδειγμα η διακοπή της λειτουργίας των μέσων μαζικής μεταφοράς, η διακοπή της παραγωγής αγαθών, του εμπορίου και των δημόσιων υπηρεσιών, η μειωμένη παραγωγικότητα ή η μειωμένη ζήτηση αγαθών. Έμμεση ζημιά θεωρείται και οι η διαφύλαξη της υγείας (Grigg and Helweg 1975). Οι έμμεσες ζημιές είναι πιθανό να γίνουν αντιληπτές σε χρονική κλίμακα μηνών ή ακόμη και ετών. Η εκτίμησή τους είναι δύσκολη (Handmer 1985) και συνήθως υπολογίζονται ως ποσοστό επί των άμεσων ζημιών (Kang et al. 2005), φτάνοντας μέχρι και το 75% ως ποσοστό επί των άμεσων ζημιών (Handmer 1985). Γενικά όπως αναφέρουν οι Downton and Pielke (2005) τα πραγματικά κόστη των καταστροφών συμπεριλαμβάνουν κρυμμένα κόστη που είναι δύσκολο να αναγνωριστούν και να ποσοτικοποιηθούν. Για παράδειγμα στον αγροτικό τομέα όταν μια πλημμύρα πλήττει την παραγωγή και οδηγεί σε απώλειες καλλιέργειας, αυτό το γεγονός μπορεί έμμεσα να επηρεάσει μέχρι και τις τιμές των εμπορευμάτων.

Οι άμεσες και έμμεσες ζημιές χωρίζονται περαιτέρω σε πρωτεύουσες και δευτερεύουσες ζημιές (primary and secondary damages) (Smith 1994) (Εικ. 2.4). Οι πρωτεύουσες ζημιές προκύπτουν από το ίδιο το γεγονός της πλημμύρας, ενώ οι δευτερεύουσες είναι το λιγότερο ένα βήμα απομακρυσμένες από την πλημμύρα (Messner et al. 2007). Για παράδειγμα,

πρωτεύουσα ζημιά αποτελεί η απώλεια της παραγωγής μιας επιχείρησης που πλημμύρισε και επομένως δε μπορεί να προχωρήσει σε παραγωγή, ενώ δευτερεύουσες είναι οι μειωμένες συναλλαγές του συγκεκριμένου εμπορεύματος μεταξύ των εμπόρων και των πελατών μέσα και έξω από την πληγείσα περιοχή.



Εικόνα 2.4. Κατηγοριοποίηση ζημιών που προκαλούνται από πλημμύρα

Στην Εικ. 2.4 παρουσιάζεται η βασική κατηγοριοποίηση της ζημιάς, η οποία χρησιμοποιείται και στην πλειοψηφία των επιστημονικών εργασιών. Ωστόσο, υπάρχει μια σειρά από επιπρόσθετες ενδιαφέρουσες κατηγοριοποιήσεις, οι οποίες αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω. Για παράδειγμα, οι Brémond et al. (2013) παρουσιάζουν έννοιες χωρικής και χρονικής κατηγοριοποίησης της ζημιάς. Χωρικά οι ζημιές διακρίνονται σε άμεσες και έμμεσες, όπου οι άμεσες σχετίζονται με την άμεση έκθεση στην πλημμύρα, ενώ οι έμμεσες συμβαίνουν σε μια περιοχή που δεν έχει εκτεθεί άμεσα στην πλημμύρα. Χρονικά, οι ζημιές διακρίνονται σε στιγμιαίες και προκαλούμενες ζημιές (instantaneous and induced damages). Οι στιγμιαίες ζημιές πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια ή αμέσως μετά την πλημμύρα. Αντιθέτως οι προκαλούμενες ζημιές πραγματοποιούνται αργότερα, σε δεύτερο χρόνο. Για παράδειγμα, στον αγροτικό τομέα, στιγμιαίες ζημιά παρατηρείται αμέσως μετά την πλημμύρα ενώ προκαλούμενες είναι οι ζημιές που μπορεί να συμβούν αργότερα, στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου ή ακόμη και σε επόμενα χρόνια (Brémond et al. 2013).

Η πλημμυρική ζημιά μπορεί επιπλέον να κατηγοριοποιηθεί σε πραγματική και πιθανή ζημιά (actual and potential damage) σύμφωνα με τους Merz et al. (2010). Πραγματική είναι η ζημιά που έχει προκληθεί από ένα συγκεκριμένο γεγονός πλημμύρας, ενώ πιθανή ορίζεται η ζημιά που θα συνέβαινε υπό συγκεκριμένες και υποθετικές συνθήκες πλημμύρας.

Οι Grigg and Helweg (1975) και Kang et al. (2005) αναφέρουν τις ζημιές αβεβαιότητας (uncertainty damages), οι οποίες στηρίζονται στην αβεβαιότητα των ανθρώπων που βιώνουν συχνά μια πλημμύρα. Η αβεβαιότητα αυτή υπολογίζεται μέσα από κοινωνικές και ψυχολογικές μελέτες (Kang et al. 2005), ενώ το κόστος της υπολογίζεται ως το ποσό που οι άνθρωποι είναι διατεθειμένοι να πληρώσουν (σε ασφάλιστρα), ώστε να αποφύγουν τις ζημιές από πλημμύρα. Συνήθως τα ασφάλιστρα αντιστοιχούν σε χρήματα που υπερβαίνουν το κόστος των αναμενόμενων ετήσιων ζημιών (Grigg and Helweg 1975).

Τέλος, ανάλογα με το είδος της χρήσης γης και τη φύση της καταστροφής, η ζημιά μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε τρεις βασικές ομάδες: αστική ζημιά, αγροτική ζημιά και ζημιά σε υποδομές (urban, rural and infrastructure damage) (Dutta et al. 2003). Η ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα σε αστικό περιβάλλον περιλαμβάνει τη ζημιά σε αστικές κατοικίες και στα περιεχόμενά τους, τη ζημιά σε εξωτερικούς χώρους μιας κατοικίας, σε σταθμούς αυτοκινήτων, σε οχήματα, καθώς επίσης και τα κόστη έκτακτης ανάγκης και καθαρισμού. Η ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα σε αγροτικό περιβάλλον περιλαμβάνει τη ζημιά σε καλλιέργειες, σε αγροτικά προϊόντα, στη μείωση της παραγωγής, τη ζημιά σε αγροτικά κτίρια και στα περιεχόμενά τους, στον μηχανικό εξοπλισμό και στα αποθηκευμένα υλικά, τη ζημιά στο έδαφος (διάβρωση εδάφους, εναπόθεση φερτών υλικών, μόλυνση), καθώς επίσης και την απώλεια ή τον τραυματισμό εκτρεφόμενων ζώων ή την απώλεια των κτηνοτροφικών προϊόντων. Τέλος, η ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα σε υποδομές περιλαμβάνει τη ζημιά σε δίκτυα ύδρευσης, τη ζημιά σε δίκτυα αποχέτευσης και αποστράγγισης, τη ζημιά σε δίκτυα παροχής φυσικού αερίου και ενέργειας, σε δίκτυα τηλεπικοινωνιών και σε δίκτυα μεταφορών.

Το μεγαλύτερο κομμάτι της βιβλιογραφίας αναφέρεται στην άμεση, απτή ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα (Merz et al. 2004). Ενδεικτικά αναφέρουμε τις εργασίες (Grigg and Helweg 1975; Handmer 1985; Dutta et al. 2003; Kelman and Spence 2004; Kang et al. 2005; Penning-Rowsell et al. 2005; Genovese 2006; Luino et al. 2009; Ernst et al. 2010; Koivumäki et al. 2010; Middelmann-Fernandes 2010; Pistrika 2010; Pistrika and Jonkman 2010; Boettle et al. 2011; Jongman et al. 2012; Merz et al. 2013), οι οποίες αναφέρονται στις άμεσες απτές ζημιές που προκαλούνται από πλημμύρα σε αστικό και αγροτικό περιβάλλον. Ωστόσο, διακρίνονται και οι εργασίες των Oliveri and Santoro (2000), όπου εκτιμήθηκε η πλημμυρική ζημιά σε αρχαιολογικούς χώρους και των Jonkman et al. (2008), όπου εκτιμήθηκε η απώλεια της ανθρώπινης ζωής. Η παρούσα διδακτορική διατριβή αναφέρεται στις απτές, άμεσες και πρωτεύουσες ζημιές που προκαλούνται από ένα γεγονός πλημμύρας στον αγροτικό και τον αστικό τομέα, σε αγροτικές εκτάσεις και κτίρια, αντίστοιχα.

Παράμετροι που καθορίζουν την πλημμυρική ζημιά

Οι παράμετροι που επηρεάζουν τη ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα μπορούν να διακριθούν σε παραμέτρους επιπτώσεων (impact parameters) και σε παραμέτρους αντίστασης (resistance parameters) (Thieken et al. 2005). Οι παράμετροι επιπτώσεων είναι οι σημαντικότερες και αναφέρονται στα χαρακτηριστικά της πλημμύρας. Οι παράμετροι αντίστασης αναφέρονται στα χαρακτηριστικά των αντικειμένων που εκτίθενται στην πλημμύρα και υποδηλώνουν την ικανότητά τους να αντιστέκονται σε αυτήν.

Πλημμυρικές παραμέτρους επιπτώσεων αποτελούν το ύψος και η ταχύτητα του κύματος της πλημμύρας, η διάρκεια, η συχνότητα της πλημμύρας, η συγκέντρωση φερτών υλικών, η ρύπανση των υδάτων και η εποχή/περίοδος πραγματοποίησης της πλημμύρας. Αυτές οι παράμετροι συνήθως προκύπτουν ως αποτελέσματα από την προσομοίωση ενός πλημμυρικού γεγονότος, με χρήση υδραυλικών ή υδρολογικών μοντέλων (Brémond et al. 2013). Πλημμυρικές παραμέτρους αντίστασης αποτελούν το είδος της κατασκευής του κτιρίου ή το είδος καλλιέργειας σε ένα χωράφι, το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας τη χρονική στιγμή της πλημμύρας, η λήψη μέτρων έκτακτης ανάγκης και μέτρων προφύλαξης, η ετοιμότητα καθώς επίσης και η ύπαρξη συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης πλημμύρας.

Παράμετροι επιπτώσεων

Εποχή/περίοδος πραγματοποίησης της πλημμύρας

Η εποχή/περίοδος εμφάνισης της πλημμύρας (seasonality) αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο επίπτωσης, κυρίως σε αγροτικό περιβάλλον και λαμβάνεται υπόψη στην πλειοψηφία των εργασιών που αφορούν στη ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα (Tapia-Silva et al. 2011; Brémond et al. 2013). Η εποχή εμφάνισης της πλημμύρας συνδέεται άμεσα με το στάδιο ανάπτυξης μιας καλλιέργειας και επομένως επηρεάζει σημαντικά το μέγεθος της ζημιάς, καθώς η καλλιέργεια μπορεί να επηρεαστεί περισσότερο ή λιγότερο ανάλογα με το επίπεδο ανάπτυξής της (Tapia-Silva et al. 2011). Συνήθως χρησιμοποιείται ένα έτος σαν χρόνος αναφοράς για το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας, πράγμα το οποίο μπορεί να αποτελεί πρόβλημα κατά τη μεταφορά και χρήση (transferability) των καμπυλών ζημιάς σε διαφορετικές περιοχές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση ανάμεσα στους παραγωγικούς κύκλους της ίδιας καλλιέργειας, λόγω των διαφορετικών κλιματικών συνθηκών που επικρατούν από περιοχή σε περιοχή (Brémond et al. 2013). Για παράδειγμα, δεν είναι ορθό να χρησιμοποιούνται οι ίδιες καμπύλες ζημιάς στη Βόρεια Ευρώπη και στη Μεσόγειο διότι οι συνθήκες ανάπτυξης της ίδιας καλλιέργειας διαφέρουν σημαντικά λόγω των κλιματικών συνθηκών ανάμεσα στις δύο αυτές περιοχές. Θα πρέπει επομένως η μεταφορά και χρήση των καμπυλών ζημιάς σε διαφορετικές περιοχές να πραγματοποιείται με σύνεση, βασιζόμενη κυρίως στις συνθήκες ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Τέλος, ο χρόνος ή η ώρα της ημέρας, όπου πραγματοποιείται η πλημμύρα, αποτελεί επίσης μια παράμετρο επίπτωσης. Για παράδειγμα μια πλημμύρα που πραγματοποιείται τη νύχτα συνήθως προκαλεί μεγαλύτερη ζημιά εξ' αιτίας της μη αποτελεσματικής προειδοποίησης για πλημμύρα. Παράλληλα, οι πλημμύρες που συμβαίνουν σε περίοδο διακοπών προκαλούν επίσης μεγαλύτερες ζημιές, καθώς οι ιδιοκτήτες δεν είναι σε θέση να πάρουν μέτρα για την αντιμετώπιση ή τον περιορισμό της ζημιάς στις ιδιοκτησίες τους.

Ύψος πλημμυρικού κύματος

Το ύψος του πλημμυρικού κύματος (floodwater depth) αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο επίπτωσης και συμπεριλαμβάνεται σε μεγάλο αριθμό εργασιών. Ωστόσο παρατηρείται ότι υπάρχει περιορισμένη πληροφορία που να συνδέει την πλημμυρική ζημιά με τις υπόλοιπες παραμέτρους επίπτωσης (Kreibich et al. 2009; Van der Sande et al. 2003). Το ύψος της πλημμύρας χρησιμοποιείται ευρέως για τον υπολογισμό των ζημιών που

προκαλούνται από πλημμύρα σε αστικό περιβάλλον (Middelmann-Fernandes 2010). Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο μεγάλο είναι το ύψος του κύματος, τόσο πιο ισχυρή είναι η δύναμη της άνωσης που δέχεται το κτίριο, επομένως τόσο μεγαλύτερη είναι η ζημιά που προκαλείται στο κτίριο και στα περιεχόμενα του (Merz et al. 2010; Brémond et al. 2013). Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ύψη κύματος ενός μέτρου από το πάτωμα μπορεί να καταστρέψουν την κατασκευή ενός κτιρίου (Soetanto and Proverbs 2004). Επιπλέον, το ύψος της πλημμύρας αποτελεί τη δεύτερη πιο σημαντική παράμετρο επίπτωσης για ένα αγροτικό περιβάλλον (Brémond et al. 2013) μετά από την παράμετρο επίπτωσης, εποχή εμφάνισης της πλημμύρας. Πιο συγκεκριμένα, το ύψος του κύματος μπορεί να προκαλέσει ζημιά είτε στο φυτικό υλικό, είτε στο έδαφος (Brémond et al. 2013) καθώς επίσης και στη δυναμικότητα της παραγωγής. Σύμφωνα με τους Pivot and Martin (2002) αρκεί το ύψος του κύματος να υπερβεί τα 40 εκ., ώστε η δυναμικότητα της παραγωγής να μειωθεί.

Ταχύτητα πλημμυρικού κύματος

Η ταχύτητα του πλημμυρικού κύματος (floodwater velocity) αποτελεί επίσης μια σημαντική παράμετρο επίπτωσης, ωστόσο παραλείπεται συχνά από εργασίες και κυρίως από αυτές που αναφέρονται σε αγροτικό περιβάλλον (Brémond et al. 2013). Η παράλειψη της ταχύτητας οφείλεται στα ελλιπή δεδομένα και στο γεγονός ότι είναι δύσκολο να βρεθεί η πληροφορία που απαιτείται για την ποσοτικοποίηση της ζημιάς που προκαλεί η παράμετρος αυτή (Citeau 2003; Förster et al. 2008; Kreibich et al. 2009). Οι ειδικοί εκτιμητές δεν έχουν αρκετή εμπειρία στο να εκτιμήσουν το μέγεθος της ζημιάς που οφείλεται στην ταχύτητα (Thieken et al. 2005) και επομένως σε αρκετές περιπτώσεις η περιγραφή της ταχύτητας περιορίζεται σε περιγραφικές κατηγορίες, όπως για παράδειγμα μικρή, μεσαία, μεγάλη ταχύτητα (Brémond et al. 2013). Σε αστικό περιβάλλον, όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του κύματος της πλημμύρας, τόσο μεγαλύτερη είναι και η πιθανότητα ζημιάς στην υποδομή ενός κτιρίου (Soetanto and Proverbs 2004; Pistrika and Jonkman 2010). Αυτό οφείλεται στις πλευρικές πιέσεις και στις δυνάμεις άνωσης που ασκούνται στο κτίριο (Kreibich et al. 2009; Merz et al. 2010), οι οποίες μπορούν σε κάποιες περιπτώσεις να μετακινήσουν το κτίριο από τα θεμέλιά του ακόμη και σε σχετικά ρηχά βάθη (Middelmann-Fernandes 2010), να προκαλέσουν την κατάρρευσή του και την ολοκληρωτική καταστροφή των περιεχομένων του. Είναι αξιοσημείωτο ότι στις στιγμιαίες πλημμύρες (flash floods), μικρής διάρκειας και μεγάλης έντασης, τα κτίρια μπορεί να καταρρεύσουν μερικώς ή ολικώς, εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας του κύματος της πλημμύρας (Büchle et al. 2006). Όταν σε κάποια περιοχή παρατηρείται ότι η πλειοψηφία των τοπικών γεγονότων πλημμύρας είναι στιγμιαίες πλημμύρες, είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η παράμετρος της ταχύτητας (Brémond et al. 2013). Οι Kreibich et al. (2009) αποδεικνύουν στην εργασία τους ότι η ταχύτητα της ροής προκαλεί σημαντικές ζημιές και στο οδικό δίκτυο, όπως για παράδειγμα σε δρόμους. Σε αγροτικό περιβάλλον, η ταχύτητα του κύματος της πλημμύρας μπορεί να προκαλέσει μεγάλη ζημιά σε μια καλλιέργεια. Όσο αφορά στο φυτικό υλικό, μπορεί να προκαλέσει πιθανό ξεριζωμό του. Επιπλέον, μπορεί να υποβαθμίσει σημαντικά το έδαφος ή και να προκαλέσει διάβρωση. Τέλος, οι υψηλές ταχύτητες περιορίζουν το διαθέσιμο χρόνο για τη λήψη έκτακτων μέτρων και το χρόνο εκκένωσης (Kreibich et al. 2009), ενώ ευθύνονται για τα ατυχήματα που συμβαίνουν ή ακόμη και για το δυσμενέστερο σενάριο της απώλειας ανθρώπινης ζωής (Middelmann-Fernandes 2010).

Διάρκεια πλημμύρας

Η παράμετρος διάρκεια της πλημμύρας (duration of inundation) αποτελεί σημαντική παράμετρο κυρίως για τον αγροτικό τομέα. Μια εκτεταμένη σε διάρκεια πλημμύρα οδηγεί στην απώλεια της δομής του εδάφους και κατ' επέκταση στη μείωση της βιολογικής δραστηριότητάς του (Pivot and Martin 2002), καθώς επίσης και σε ανοξία των καλλιεργειών (Merz et al. 2010). Επομένως όσον αφορά στον αγροτικό τομέα, θα πρέπει να διευκρινίζεται αν η διάρκεια της πλημμύρας αναφέρεται μόνο στον αριθμό των ημερών της πλημμύρας ή αν περιλαμβάνει και τον χρόνο που χρειάζεται για να στεγνώσει το έδαφος και ο οποίος ποικίλει σημαντικά ανάλογα με τη σύσταση του εδάφους. Γενικά, το πιο συνηθισμένο είναι η διάρκεια πλημμύρας να αναφέρεται μόνο στο χρόνο παραμονής του νερού στο χωράφι (duration of submersion) (Brémond et al. 2013). Σε αστικό περιβάλλον, όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια της πλημμύρας, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κορεσμός σε νερό του κτιρίου και των περιεχόμενων του, με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη προσπάθεια και χρόνος για το στέγνωμά τους (Merz et al. 2010). Για παράδειγμα, οι Soetanto and Proverbs (2004) αναφέρουν συγκεκριμένα για το Ηνωμένο Βασίλειο, όπου οι κατοικίες είναι φτιαγμένες από πορώδη υλικά (τούβλο και οπλισμένο σκυρόδεμα), όσο πιο μεγάλη είναι η διάρκεια της πλημμύρας, τόσο περισσότερο νερό απορροφάται από τα κτίρια, αυξάνοντας έτσι τη ζημιά και παρατείνοντας τις εργασίες επισκευής.

Ρύπανση των υδάτων

Η ρύπανση των υδάτων της πλημμύρας (floodwater contamination) είναι μια παράμετρος επίπτωσης η οποία επηρεάζει κυρίως το κόστος καθαρισμού μετά από ένα γεγονός πλημμύρας. Όσο μεγαλύτερη η ρύπανση των υδάτων της πλημμύρας, τόσο μεγαλύτερο και το κόστος της ζημιάς που προκαλείται από την πλημμύρα (Merz et al. 2010). Σε αυτή την κατηγορία ανήκει και η αλατότητα των υδάτων της πλημμύρας (floodwater salinity), η οποία επηρεάζει σημαντικά τις καλλιέργειες και το έδαφος, προκαλώντας μείωση της σοδειάς (Brémond et al. 2013).

Παρουσία φερτών υλικών

Σε αστικό περιβάλλον, η παρουσία φερτών υλικών (sediment concentration) στα ύδατα της πλημμύρας αυξάνει τις κινητικές δυνάμεις που ασκούνται στην υποδομή των κτιρίων με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ζημιά που προκαλείται στο κτίριο καθώς επίσης και το κόστος καθαρισμού του (Förster et al. 2008; Merz et al. 2010). Σε αγροτικό περιβάλλον, η παρουσία φερτών υλικών (άμμος, λάσπη, ξύλα, συντρίμια κτλ), που μεταφέρονται από τα ύδατα της πλημμύρας, είναι ανεπιθύμητη. Τα φερτά υλικά ευθύνονται για τη μείωση της δυνητικής απόδοσης του εδάφους και για τη μείωση της σοδειάς (Brémond et al. 2013), ενώ παράλληλα απαιτούνται σημαντικές εργασίες για την απομάκρυνσή τους από το χωράφι (Pivot and Martin 2002). Επίσης τα φερτά υλικά και κυρίως η λάσπη που μεταφέρεται μέσα από μια πλημμύρα, είναι πιθανό να περιέχει ρύπους, οι οποίοι αυξάνουν το κόστος καθαρισμού και καθιστούν μη εμπορεύσιμα τα ρυπασμένα προϊόντα (Förster et al. 2008).

Συχνότητα της πλημμύρας

Η συχνότητα της πλημμύρας (flood frequency) μπορεί να έχει αθροιστικές επιπτώσεις και να αυξάνει την πιθανότητα ζημιάς (Merz et al. 2010). Σε αγροτικό περιβάλλον η συχνότητα της πλημμύρας μπορεί να επηρεάσει τη χρήση της αγροτικής γης, καθώς μετά από μια πλημμύρα είναι πιθανό να εγκαταλειφθεί η καλλιέργεια κάποιου συγκεκριμένου είδους καλλιέργειας ή να γίνει προσαρμογή των αγροτικών δραστηριοτήτων σε κάποιο χωράφι.

Παράμετροι αντίστασης

Σε αστικό περιβάλλον, βασικές παράμετροι αντίστασης αποτελούν ο τύπος του κτιρίου (building type), το υλικό κατασκευής του (building material) και η κατάστασή του πριν από την πλημμύρα (pre flood condition) (Kang 2005; Soetanto and Proverbs 2004). Για παράδειγμα, τα πολυώροφα κτίρια επηρεάζονται σε μικρότερο βαθμό σε σχέση με τις μονοκατοικίες, διότι αποτελούν πιο βαριές κατασκευές, ενώ οι δυνάμεις άνωσης, που ασκούνται, είναι μικρότερες και επομένως είναι λιγότερο πιθανό να μετακινηθούν από τα θεμέλια τους (Dale et al. 2004). Επομένως ο τύπος του κτιρίου παίζει σημαντικό ρόλο για την ελαστικότητά που αυτό επιδεικνύει σε μια πλημμύρα (Dale et al. 2004), ενώ το υλικό της κατασκευής του καθορίζει το χρόνο στεγνώματός του. Τέλος, οι Penning-Rowsell and Chatterton (1977) και Kang et al. (2005) αναφέρουν ότι η κοινωνική και οικονομική τάξη (social and economic order) των κατοίκων μιας αστικής περιοχής αποτελούν παραμέτρους αντίστασης.

Στον αγροτικό τομέα βασική παράμετρος αντίστασης είναι το είδος της καλλιέργειας (crop type). Για τις παραμέτρους αντίστασης, λήψη μέτρων προφύλαξης (precaution measures) και έκτακτης ανάγκης (emergency measures), αναφέρεται ότι συμβάλλουν στη μείωση της ζημιάς που προκαλείται από μια πλημμύρα, και κυρίως όταν επικρατούν ευνοϊκές συνθήκες, δηλαδή όταν ο χρόνος προειδοποίησης είναι επαρκής (early warning) και τα επίπεδα του κύματος της πλημμύρας χαμηλά (Büchle et al. 2006). Για τις στιγμιαίες πλημμύρες, αναφέρει η Genovese (2006), ένας σύντομος χρόνος ανταπόκρισης (run-up time) είναι αποτελεσματικός τόσο για την αποφυγή των καταστροφών σε ιδιοκτησίες, όσο και για την αποφυγή απωλειών ανθρώπινων ζωών.

Χρήση παραμέτρων επίπτωσης και αντίστασης στη βιβλιογραφία

Δεν υπάρχει μια επαρκής μέθοδος για την μοντελοποίηση της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα, η οποία να περιλαμβάνει όλες τις παραπάνω παραμέτρους επίπτωσης και αντίστασης (Büchle et al. 2006; Merz et al. 2010). Οι περισσότερες παράμετροι συνήθως παραλείπονται, είτε γιατί είναι δύσκολο να εκτιμηθούν, είτε επειδή υπάρχει περιορισμένη πληροφορία όσον αφορά στην ποσοτικοποίηση της επίδρασής τους στη ζημιά που προκαλείται (Förster et al. 2008; Merz et al. 2010). Θα έπρεπε, επομένως, να πραγματοποιείται μια πολυπαραμετρική στατιστική ανάλυση για τα δεδομένα πλημμύρας, ώστε να ποσοτικοποιείται η επίδραση ή επιρροή τους στο αστικό ή αγροτικό περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσε να αναπτυχθεί μια επαρκής μέθοδος για την ανάπτυξη

πολυπαραμετρικών μοντέλων εκτίμησης ζημιάς, τα οποία να λαμβάνουν υπόψη τους όσο πιο πολλές παραμέτρους γίνεται (Merz et al. 2013).

2.4 Καμπύλες ζημιάς

Δεδομένα ζημιάς

Η πληροφορία για τη ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα μπορεί να είναι είτε εμπειρική/ιστορική (historical damage data), είτε συνθετική (synthetic damage data) (Krzysztofowicz and Davis 1983). Μετά από ένα πλημμυρικό γεγονός, έρευνες πεδίου, συνεντεύξεις και επιθεωρήσεις πραγματοποιούνται για την εκτίμηση της ενδεχόμενης ζημιάς σε μεμονωμένα αντικείμενα, κατασκευές, υποδομές και καλλιέργειες (Das and Lee 1988). Τα κίνητρα συλλογής δεδομένων ζημιάς ποικίλουν (π.χ. καταβολή αποζημιώσεων, ερευνητικοί ή σχεδιαστικοί σκοποί κλπ), με αποτέλεσμα να γίνεται συλλογή μεμονωμένων δεδομένων ζημιάς (Thieken et al. 2008) από διάφορους οργανισμούς (Elmer et al. 2010) (π.χ. ασφαλιστικές εταιρίες, ερευνητικά ινστιτούτα, πανεπιστήμια, κυβερνητικούς παράγοντες κλπ), οι οποίοι συλλέγουν στοιχεία ζημιάς από ποικίλους ενδιαφερόμενους (π.χ. πολίτες), με διαφορετικούς τρόπους (π.χ. συνεντεύξεις) και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Για παράδειγμα, οι ασφαλιστικές εταιρίες επικεντρώνονται κυρίως στη συλλογή δεδομένων που αναφέρονται στην νομισματική αξία της ζημιάς (π.χ. κόστη επισκευής) που προκαλείται, η οποία συνδέεται άμεσα με τα ασφάλιστρα και η οποία πρόκειται να αποζημιωθεί. Αντίθετα, τα δεδομένα που συλλέγονται με σκοπό να γίνει κατηγοριοποίηση της ζημιάς ή να δημιουργηθούν μοντέλα εκτίμησης ζημιάς περιέχουν πληροφορία που συνδέει τα χαρακτηριστικά μιας πλημμύρας με τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου που έχει εκτεθεί στην πλημμύρα. Οι οργανισμοί, οι κυβερνήσεις και τα ερευνητικά ινστιτούτα ενδιαφέρονται γενικά για την ακριβή εκτίμηση της συνολικής οικονομικής ζημιάς που προκαλείται από ένα γεγονός πλημμύρας (Jongman et al. 2012). Ωστόσο, όπως αναφέρουν οι Kang et al. (2005) δεν είναι πάντα εύκολη η συλλογή των δεδομένων ζημιάς καθώς οι άνθρωποι δεν αναφέρουν πάντα τις ζημιές σε συσκευές και έπιπλα για να αποφύγουν τη διαδικασία του να αποδεικνύουν τις ζημιές αυτές. Επίσης οι άνθρωποι έχουν διαφορετική αντίληψη για την αξία των ζημιών που τους έπληξαν και ειδικά για έργα τέχνης ή για αντικείμενα συναισθηματικής αξίας.

Ιστορικά/Εμπειρικά δεδομένα ζημιάς

Η πραγματικότητα μας δίνει τα πιο σημαντικά μαθήματα, επομένως η συλλογή εμπειρικών δεδομένων που αναφέρονται στη ζημιά που προκαλείται από μια πλημμύρα, είναι ζωτικής σημασίας για την ανάλυση και την κατανόηση των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια ενός τέτοιου καταστροφικού γεγονότος (Elmer et al. 2010).

Τα δημοσιευμένα ιστορικά δεδομένα ζημιάς, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από μηχανικούς ή έμπειρους επιστήμονες διάφορων κλάδων για την εκτίμηση του κόστους της ζημιάς που προκαλείται από μια πλημμύρα, είναι ανεπαρκή και σπάνια γίνεται επικαιροποίησή τους (Brémond et al. 2013). Η συλλογή δεδομένων ζημιάς αποτελεί μια επίπονη, χρονοβόρα, πολυδάπανη και σπάνια διαδικασία (Merz et al. 2010). Σε αυτό οφείλεται το γεγονός ότι η άμεση εκτίμηση της πραγματικής ζημιάς σε περίπτωση φυσικής

καταστροφής είναι δύσκολη (Downton and Pielke 2005; Merz et al. 2010; Brémond et al. 2013). Για να μειωθεί το κόστος της διαδικασίας αυτής, γίνονται συχνά υποθέσεις που απλοποιούν μεν το πρόβλημα (Das and Lee 1988), αλλά ταυτόχρονα μπορεί να καθιστούν τα δεδομένα λανθασμένα και αναξιόπιστα (Penning-Rowse et al. 2005). Παράλληλα, σε πολλές αναπτυγμένες χώρες τα πραγματικά εμπειρικά δεδομένα, τα οποία συλλέγονται από έρευνες πεδίου, παραμένουν είτε στα αρχεία των πρακτορείων και των ασφαλιστικών εταιριών (Grigg and Helweg 1975), είτε στα αρχεία υπουργείων (Cochrane 1981). Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο πειραματικός τρόπος ή η άμεση συλλογή δεδομένων ζημιών μετά από ένα γεγονός πλημμύρας δεν υπόσχονται πολλά, καθώς απαιτούν μεγάλες προσπάθειες (Brémond et al. 2013).

Συνθετικά δεδομένα ζημιών

Καθώς η συλλογή των εμπειρικών δεδομένων είναι δύσκολη, εναλλακτικοί τρόποι εφαρμόζονται για την εύρεση δεδομένων πλημμυρικής ζημιάς, οι οποίοι περιλαμβάνουν την εύρεση δεδομένων μέσα από δορυφόρους ή μέσα από συνθετικές μεθόδους, κυρίως συνεντεύξεις, π.χ. Delphi συνθετική μέθοδος (Cochrane 1981). Οι Cochrane (1981) και Elmer et al. (2010) παρουσιάζουν την τεχνική εκμαίευσης (elicitation theory) δεδομένων Delphi, τα οποία προέρχονται από την επιστημονική κρίση ειδικών επιστημόνων. Η μέθοδος αυτή, αναφέρουν οι Curtis and Wood (2004), είναι ο καλύτερος τρόπος να «ανακρίνουμε» ειδικούς επιστήμονες ή πρακτικά έμπειρους ανθρώπους, ώστε να αποκτήσουμε ακριβή πληροφορία για ένα συγκεκριμένο θέμα. Η μέθοδος χρησιμοποιείται σε πεδία με περιορισμένη πληροφορία και μεγάλη αβεβαιότητα. Ενδιαφέρουσα, ωστόσο, είναι και η εκδοχή του Citeau (2003) στην οποία παρουσιάστηκε ένας ακόμη τρόπος συλλογής συνθετικών δεδομένων ζημιών, που περιλαμβάνει τη συμπλήρωση φύλλων εργασίας (fact sheets), θεωρητικών μοντέλων, με χρήση της πληροφορίας που συλλέχθηκε από βιβλιογραφικές πηγές, εργασιακές συναντήσεις και από αγροτικά επιμελητήρια. Ωστόσο, η πληροφορία στα ερευνητικά φύλλα χαρακτηρίζεται θεωρητική και θα ήταν σημαντική η διεξαγωγή επιπρόσθετων παρατηρήσεων πεδίου, οι οποίες θα μπορούσαν να επιβεβαιώσουν ή να διορθώσουν τη θεωρητική εκτίμηση ζημιών (Citeau 2003). Το ιδανικότερο σενάριο περιλαμβάνει τον συνδυασμό της συλλογής εμπειρικών δεδομένων με την γνώση ειδικών επιστημόνων πάνω στο θέμα της ζημιάς που προκαλείται από μια πλημμύρα (Brémond et al. 2013). Τα συνθετικά δεδομένα όταν χρησιμοποιούνται μεμονωμένα ενέχουν τον κίνδυνο και τη δυσκολία της μετατροπής της πιθανής ζημιάς σε πραγματική ζημιά.

Γενικά σε κάποιες περιπτώσεις συνδυάζονται τα δυο είδη βάσεων δεδομένων και είτε τα ιστορικά δεδομένα συμπληρώνονται με συνθετικά, είτε τα συνθετικά δεδομένα αξιολογούνται με βάση τα υπάρχοντα ιστορικά δεδομένα.

Υπάρχουσες βάσεις δεδομένων πλημμυρικής ζημιάς

Μερικές από τις υπάρχουσες εμπειρικές και συνθετικές βάσεις δεδομένων ζημιών στον κόσμο, που είτε έχουν δημιουργηθεί, είτε χρησιμοποιηθεί σε εργασίες εκτίμησης της ζημιάς παρουσιάζονται παρακάτω.

Η U.S.A NWS εμπειρική βάση δεδομένων του Οργανισμού NWS (National Weather Service), η οποία περιλαμβάνει τις εκτιμώμενες άμεσες ζημιές από σημαντικά γεγονότα πλημμύρας στην Αμερική από το 1950, τα οποία οφείλονται σε ισχυρή βροχόπτωση ή λιώσιμο χιονιού. Ο Οργανισμός NWS καταγράφει τις σημαντικές καταιγίδες, την επίδρασή τους, τις εκτιμώμενες ζημιές και τον αριθμό των θανάτων που προκάλεσαν στην Αμερική, μέσα από παρατηρήσεις πεδίου και εκτιμήσεις από εναλλακτικές πηγές (π.χ. ασφαλιστικές εταιρίες και εφημερίδες). Ωστόσο, οι μέθοδοι εκτίμησης δεν είναι τόσο εμφανείς, με αποτέλεσμα να υπάρχει αβεβαιότητα στην εγκυρότητά τους. Τα δεδομένα ζημιάς του NWS είναι οι καλύτερες διαθέσιμες ιστορικές εκτιμήσεις ζημιάς (Downton and Pielke 2005).

Η FEMA εμπειρική βάση δεδομένων του Οργανισμού FEMA (Federal Emergency Management Agency), η οποία καταγράφει τις ζημιές που προκλήθηκαν από φυσικές καταστροφές στην Αμερική από το 1992. Ο Οργανισμός FEMA καταγράφει τις αιτήσεις για ομοσπονδιακή βοήθεια από φυσικές καταστροφές σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα καταγραφής, στο οποίο έχουν παράλληλα πρόσβαση οι πόλεις και οι επαρχίες. Οι αρχικές εκτιμήσεις ζημιάς δίνονται από τα τοπικά γραφεία της FEMA και αποτελούν τις πιο έγκυρες διαθέσιμες εκτιμήσεις μετά από ένα καταστροφικό γεγονός. Στη συνέχεια, μια ομάδα από τον Οργανισμό επισκέπτεται τα σημεία καταστροφής, κοιτάζει την έκταση των απωλειών και κάνει πρόσθετες εκτιμήσεις, καταλήγοντας στην πραγματική κοστολόγηση της ζημιάς.

Η HOWAS εμπειρική βάση δεδομένων με πληροφορία από περίπου 3600 γεγονότα ζημιάς που συνέβησαν στη Γερμανία την περίοδο 1978-1994 (Merz et al. 2004). Τα δεδομένα της βάσης HOWAS προέρχονται από ασφαλιστικές εταιρίες (Brémond et al. 2013), είναι εκτιμήσεις από ειδικούς εκτιμητές ζημιάς και μεταφράζονται ως κόστος αντικατάστασης. Η βάση δεδομένων HOWAS 21 είναι η διάδοχος της HOWAS και περιλαμβάνει περίπου 6000 γεγονότα ζημιάς από πλημμύρα για διαφορετικούς οικονομικούς κλάδους (π.χ. νοικοκυριά, βιομηχανίες και υποδομές) (Bubeck and Kreibich 2011).

Η EDAC εμπειρική βάση δεδομένων ζημιάς με πληροφορία από έρευνες πεδίου που πραγματοποιήθηκαν αμέσως μετά από τρία συγκεκριμένα γεγονότα πλημμύρας (Αύγουστος 2002, Αύγουστος 2005 και Απρίλιος 2006) στη Γερμανία (Thieken et al. 2008; Thieken et al. 2005). Η EDAC εμπειρική βάση συνδυάστηκε με την MEDIS συνθετική βάση δεδομένων, η οποία περιέχει πληροφορία που συλλέχθηκε μέσα από τηλεφωνικές και ηλεκτρονικές συνεντεύξεις σε νοικοκυριά και ιδιοκτήτες μετά από τα δυο γεγονότα πλημμύρας στη Βαυαρία (Αύγουστος 2005) και στη Σαξονία (Απρίλιος 2006) (Thieken et al. 2008). Οι δυο αυτές βάσεις ενώθηκαν στο πρόγραμμα MEDIS και χρησιμοποιήθηκαν μετέπειτα και από τους Schwarz and Maiwald (2008) και Thieken et al. (2008).

Ξεχωρίζουν επίσης η MOC εμπειρική βάση δεδομένων του Υπουργείου Κατασκευών στην Ιαπωνία, στην οποία καταγράφονται ιστορικά πλημμυρικά γεγονότα από το 1954 (Dutta et al. 2003; Herath 2003) και η εμπειρική βάση δεδομένων του Υπουργείου Γεωργίας και Δασών της Φιλανδίας με δεδομένα πλημμυρικής ζημιάς σε αστικό περιβάλλον που αναφέρεται στις αποζημιώσεις που δόθηκαν για τη ζημιά από ποτάμια πλημμύρα σε ιδιώτες (Koivumäki et al. 2010). Τέλος οι Penning-Rowse et al. (2005) παρουσιάζουν μια συνθετική βάση δεδομένων πλημμυρικής ζημιάς, υποστηρίζοντας ότι οι έρευνες που πραγματοποιούνται μετά από γεγονότα πλημμύρας μπορεί να είναι πολύ ανακριβείς ή και εσφαλμένες.

Καμπύλες ζημιάς

Οι καμπύλες ζημιάς (damage curves) ή συναρτήσεις απώλειας (loss functions) είναι ο σημαντικότερος παράγοντας σε μια μέθοδο εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα (Smith 1994) και αποτελούν τη μαθηματική σχέση ανάμεσα στις παραμέτρους που καθορίζουν μια πλημμύρα και την τελική ζημιά που προκαλείται από αυτήν, για διάφορες κατηγορίες αντικειμένων (Smith 1994; Dutta et al. 2003). Η δημιουργία των καμπυλών ζημιάς είναι δύσκολη διαδικασία, ωστόσο αποτελεί το σημαντικότερο μέρος μιας μεθοδολογίας εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς (Dutta et al. 2003). Οι πιο κοινές καμπύλες ζημιάς είναι οι καμπύλες ύψους κύματος πλημμύρας-ζημιάς (stage-damage curves), οι οποίες θεμελιώθηκαν από τον White (1945) και αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο τύπο κτιρίου ή καλλιέργειας ή γενικότερα αντικειμένου, παρουσιάζοντας την μαθηματική σχέση ανάμεσα στο ύψος του κύματος της πλημμύρας και τη ζημιά που προκαλείται από αυτό (Smith 1994). Υπάρχουν δυο μέθοδοι για τη δημιουργία των καμπυλών ζημιάς, η εμπειρική μέθοδος και η συνθετική μέθοδος.

Στην εμπειρική μέθοδο χρησιμοποιούνται δεδομένα ζημιάς που συλλέγονται αμέσως μετά από πραγματικά γεγονότα πλημμύρας, δηλαδή ιστορικά δεδομένα ζημιάς από πλημμύρες του παρελθόντος. Οι εμπειρικές καμπύλες ζημιάς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν οδηγός για μελλοντικά γεγονότα πλημμύρας (Smith 1994). Ωστόσο υπάρχουν παγίδες κατά τη χρήση τους, καθώς η προέκταση (extrapolation) των εμπειρικών δεδομένων από περιοχή σε περιοχή παρουσιάζει δυσκολίες λόγω των διαφορών ανάμεσα στα αντικείμενα που εκτίθενται στην πλημμύρα (π.χ. κτίρια, περιεχόμενα, καλλιέργειες) και εξαιτίας των διαφορών στο χρόνο προειδοποίησης της πλημμύρας (Smith 1994). Ακόμη και στην ίδια περιοχή, για πλημμύρες όμοιας κλίμακας, υπάρχουν διαφορές. Το πρόβλημα μεγαλώνει αν λάβουμε υπόψη ότι είναι δύσκολο να πραγματοποιηθούν διεξοδικές έρευνες για τη ζημιά που προκλήθηκε μετά από ένα πραγματικό γεγονός πλημμύρας. Κάποιες φορές, οι καμπύλες δημιουργούνται με βάση τα δεδομένα των αποζημιώσεων που δόθηκαν ή τις εκτιμήσεις ζημιάς που δίνονται από τις εφημερίδες (Smith 1994), πράγμα το οποίο οδηγεί σε καμπύλες χαμηλής ποιότητας και κατά συνέπεια μεγάλης αβεβαιότητας. Γενικότερα είναι αποτελεσματικότερο οι εμπειρικές καμπύλες ζημιάς να χρησιμοποιούνται για μεταγενέστερα μελλοντικά γεγονότα της ίδιας περιοχής (Middelmann-Fernandes 2010).

Στη συνθετική μέθοδο, τα δεδομένα ζημιάς προκύπτουν από υποθετική ανάλυση και συλλέγονται με υποθετικές ερωτήσεις του τύπου «τι θα γινότανε, εάν...» (what-if-questions) (Smith 1994; Merz et al. 2010; Middelmann-Fernandes 2010). Με το τρόπο αυτό εκτιμάται η ζημιά που αναμένεται να προκληθεί από ένα συγκεκριμένο υποθετικό σενάριο πλημμύρας (Merz et al. 2010). Για παράδειγμα, μια συνθετική μέθοδος θα μπορούσε να περιλαμβάνει την ερώτηση «Τι ζημιά θα προκληθεί σε μια καλλιέργεια αν το ύψος του νερού της πλημμύρας είναι 1 m». Η χρήση ερωτηματολογίων μπορεί να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για τη συγκέντρωση των απαιτούμενων δεδομένων για τη δημιουργία των καμπυλών αυτής της κατηγορίας. Οι συνθετικές καμπύλες προτάθηκαν για εναλλακτική χρήση από τον White (1964). Οι καμπύλες αυτές δεν βασίζονται στα ιστορικά δεδομένα ζημιάς από ένα πραγματικό γεγονός πλημμύρας για μια συγκεκριμένη περιοχή, ξεπερνώντας έτσι τα μειονεκτήματα των εμπειρικών καμπυλών (Middelmann-Fernandes 2010). Στη συνθετική μέθοδο δημιουργίας

δεδομένων ζημιάς η ανάλυση αναφέρεται μεμονωμένα σε διαφορετικές χρήσεις γης και συγκεκριμένους τύπους κατασκευών, πράγμα το οποίο εκφράζει μια αντικειμενικότητα της διαδικασίας κοστολόγησης της ζημιάς (Smith 1994). Σε αντίθεση με τις εμπειρικές καμπύλες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικές περιοχές, επιτρέποντας απεριόριστες συγκρίσεις ανάμεσα σε περιοχές.

Οι καμπύλες ζημιάς είναι μια καθιερωμένη και διεθνώς αποδεκτή μέθοδος για τον υπολογισμό της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα. Γενικά, είναι δύσκολο να περιγραφεί λεπτομερώς ο τρόπος και η μέθοδος με την οποία δημιουργούνται και υπάρχουν λίγες δημοσιευμένες εργασίες που δείχνουν λεπτομερώς τον τρόπο κατασκευής τους ή εφαρμογής τους (Smith 1994). Το γεγονός αυτό καθιστά τις καμπύλες ζημιάς μαύρα κουτιά (black boxes) εφόσον δεν παρουσιάζονται οι προϋποθέσεις και τα κριτήρια για τη δημιουργία τους (Brémond and Grelot 2010). Στον αγροτικό τομέα, υπάρχει σαφής ανάγκη για την εδραίωση καθολικών καμπυλών ζημιάς για κάθε καλλιέργεια τονίζουν οι (Brémond et al. 2013), ωστόσο το ίδιο θα μπορούσε να ισχύει για όλους τους οικονομικούς τομείς. Αυτό απαιτεί μια συνεπή συλλογή και οργάνωση των δεδομένων ζημιάς είτε από παρελθοντικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν μετά από γεγονότα πλημμύρας, είτε με την ανταλλαγή εμπειρικής γνώσης ανάμεσα στις χώρες. Σε αυτό το σκοπό θα συνέβαλλε και μια ολοκληρωμένη συλλογή δεδομένων ζημιάς μετά από γεγονότα πλημμύρας, ώστε να είναι ευκολότερη η ανταλλαγή τους και η μεταφορά και χρήση τους σε άλλες περιπτώσεις εκτίμησης ζημιάς.

Μια κατηγοριοποίηση ανάμεσα στις καμπύλες ζημιάς είναι οι απόλυτες (absolute damage curves) και σχετικές καμπύλες ζημιάς (relative damage curves). Στις απόλυτες καμπύλες ζημιάς, η ζημιά περιγράφεται ως απόλυτη απώλεια σε νομισματικές μονάδες. Στη βιβλιογραφία έχουν χρησιμοποιηθεί απόλυτες καμπύλες ζημιάς από τους Van der Sande et al. (2003), Kang et al. (2005), Nascimento et al. (2007) και Vojinovic and Tutulic (2009). Αντίθετα στις σχετικές καμπύλες ζημιάς στις οποίες η ζημιά προσδιορίζεται ως ποσοστό επί της συνολικής αξίας του αντικειμένου π.χ. κτιρίου (Dutta et al. 2003; Büchele et al. 2006). Οι σχετικές καμπύλες ζημιάς είναι προτιμότερες, καθώς τα ποσοστά παραμένουν γενικά αναλλοίωτα στο χρόνο (Appelbaum 1985), ενώ είναι παράλληλα πιο εύκολο να γίνει χρήση τους σε διαφορετικές περιοχές (Ernst et al. 2010). Χρειάζεται, ωστόσο, προσοχή κατά τη μεταφορά και χρήση τους, δηλαδή, σε άλλες περιπτώσεις πλημμυρικής ζημιάς. Σχετικές καμπύλες ζημιάς έχουν χρησιμοποιηθεί στη βιβλιογραφία από τους Appelbaum (1985), Oliveri and Santoro (2000), Dutta et al. (2003), Luino et al. (2009), Ernst et al. (2010), Pistrika (2010) και Boettle et al. (2011).

Το είδος των καμπυλών που θα χρησιμοποιηθούν εξαρτάται από το είδος των διαθέσιμων δεδομένων (Messner et al. 2007).

Εμπειρικές και συνθετικές καμπύλες ζημιάς

Εμπειρικές καμπύλες ζημιάς που αναφέρονται στον αγροτικό τομέα χρησιμοποιούν οι Dutta et al. (2003), Förster et al. (2008) και Pistrika (2010). Πιο συγκεκριμένα, οι Dutta et al. (2003) και Herath (2003) δημιούργησαν εμπειρικές καμπύλες ζημιάς, εκθετικής μορφής, για 8 είδη καλλιέργειας, λαμβάνοντας υπόψη ως παραμέτρους πλημμύρας το ύψος και τη διάρκεια πλημμύρας και χρησιμοποιώντας εμπειρικά δεδομένα από το Ιαπωνικό Υπουργείο Κατασκευών (Japanese Ministry of Construction). Οι Förster et al. (2008) παρουσίασαν τις

εμπειρικές καμπύλες ζημιάς για τον αγροτικό τομέα που δημιουργήθηκαν από τα δεδομένα της εμπειρικής βάση δεδομένων HOWAS. Η Pistrika (2010) παρουσίασε εμπειρικές καμπύλες ζημιάς για τον αγροτικό τομέα με δεδομένα του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης.

Οι εμπειρικές καμπύλες ζημιάς MURL (Apel et al. 2009) και Hydrotec για τον αστικό τομέα δημιουργήθηκαν από την εμπειρική βάση δεδομένων HOWAS. Επίσης οι Dutta et al. (2003) δημιούργησαν εμπειρικές καμπύλες ύψους κύματος-ζημιάς για πέντε κατηγορίες αστικής χρήσης γης, χρησιμοποιώντας τα κανονικοποιημένα ιστορικά δεδομένα ζημιών του Ιαπωνικού Υπουργείου Κατασκευών. Οι Herath (2003) ενίσχυσαν τις καμπύλες των Dutta et al. (2003), δημιουργώντας καμπύλες ζημιάς, πολυώνυμα τετάρτου βαθμού, για επιπλέον κατηγορίες κατοικιών, λαμβάνοντας υπόψη μόνο το ύψος του κύματος της πλημμύρας. Επιπλέον, οι Luino et al. (2009) δημιούργησαν εμπειρικές καμπύλες ύψους κύματος-ζημιάς από ιστορικά δεδομένα που συνέλεξαν μετά από ένα συγκεκριμένο γεγονός πλημμύρας και αναφέρονται σε κτίρια συγκεκριμένου τύπου. Η Pistrika (2010) παρουσιάζει εμπειρικές καμπύλες ύψους-ζημιάς οι οποίες αναπτύχθηκαν από ιστορικά δεδομένα πλημμυρικής ζημιάς σε κτίρια της ευρύτερης περιοχής της Αττικής το 2002 και 2005. Οι Chang et al. (2008) δημιούργησαν εμπειρικές καμπύλες ζημιάς με ανάλυση παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων σε δεδομένα πεδίου για ζημιές που προκλήθηκαν από πραγματικά γεγονότα πλημμύρας. Γενικότερα επειδή υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τον αστικό τομέα, η βιβλιογραφία σχετικά με θέματα καμπυλών ζημιάς είναι πιο ενισχυμένη για τον τομέα αυτό. Ωστόσο, οι Apel et al. (2009) απέδειξαν για τον αστικό τομέα ότι οι εμπειρικές καμπύλες ύψους κύματος-ζημιάς δεν ανταποκρίνονται πλήρως στις πραγματικές ζημιές των κτιρίων.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τον αστικό τομέα, επομένως η βιβλιογραφία σχετικά με θέματα συνθετικών καμπυλών ζημιάς είναι πιο ενισχυμένη γι' αυτόν τον τομέα. Ενδεικτικά αναφέρουμε τις συνθετικές καμπύλες ζημιάς που παρουσιάζονται στους Das and Lee (1988), Ernst et al. (2010), KGS (2000), Kreibich et al. (2009), McBean et al. (1988) και Middelman-Fernandes (2010). Αξιόλογες είναι και οι συνθετικές καμπύλες ζημιάς που δημιουργήθηκαν από τους Penning-Rowell and Chatterton (1977) για τον αστικό, αγροτικό και εμπορικό τομέα στο Ηνωμένο Βασίλειο, και παρουσιάζονται αναλυτικά στο «Μπλε Εγχειρίδιο» (Blue Manual). Η πληροφορία που χρειάστηκε για τη δημιουργία τους βασίστηκε σε εγχειρίδια της αγοράς και σε έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε καταναλωτές. Το μπλε εγχειρίδιο εμπλουτίστηκε και αναβαθμίστηκε στο «Πολύχρωμο Εγχειρίδιο» (Multi-colored Manual) (Penning-Rowell et al. 2003), το οποίο δημιουργήθηκε από το ερευνητικό κέντρο πλημμυρικού κινδύνου (FHRC) στο Middlesex University. Συνθετικές καμπύλες ζημιάς που αναφέρονται στη πλημμυρική ζημιά που προκαλείται στον αγροτικό τομέα, αποτελούν οι καμπύλες ANUFLOOD (Greenaway and Smith 1993). Επιπλέον, οι Brémond and Grelot (2010) χρησιμοποίησαν δεδομένα από τη βιβλιογραφία και πληροφορία από συνεντεύξεις ανάμεσα σε ειδικούς και δημιούργησαν συνθετικές καμπύλες ζημιάς για τον αγροτικό τομέα.

Συνδυαστικές καμπύλες ζημιάς

Οι McBean et al. (1988) υποστηρίζουν ότι οι μελέτες στις οποίες οι συνθετικές καμπύλες ζημιάς έχουν βαθμονομηθεί με χρήση εμπειρικών δεδομένων ζημιάς είναι οι πιο ακριβείς μελέτες για την εκτίμηση της ζημιάς. Οι Jonkman et al. (2008), Su et al. (2005) και Nascimento

et al. (2007) χρησιμοποίησαν εμπειρικές καμπύλες οι οποίες συνδυάστηκαν με υπάρχοντα δεδομένα βιβλιογραφίας και με κρίση εμπειρογνομόνων.

Εναλλακτικές προσεγγίσεις καμπυλών ζημιάς

Καμπύλες τρωτότητας (vulnerability functions)

Οι Thieken et al. (2008) παρουσιάζουν τις καμπύλες τρωτότητας για τον αστικό τομέα από τα εμπειρικά δεδομένα των βάσεων δεδομένων MEDIS και EDAC. Οι καμπύλες αυτές συνδέουν τον βαθμό ζημιάς (D), ο οποίος κατηγοριοποιείται σε κλίμακα 1 έως 5 (όπου D1 η κατηγορία μηδενικής κατασκευαστικής ζημιάς) με το ύψος του κύματος. Καμπύλες τρωτότητας παρουσιάζουν αναλυτικά και οι Schwarz and Maiwald (2008).

Καμπύλες κατάρρευσης κτιρίων (collapse curves)

Οι καμπύλες ύψους-ταχύτητας για την κατάρρευση κτιρίων είναι καμπύλες που σχετίζουν το ύψος και την ταχύτητα του κύματος της πλημμύρας με την πιθανότητα κατάρρευσης ενός κτιρίου, ανάλογα με το υλικό κατασκευής του. Οι καμπύλες αυτές παρέχουν πληροφορία μόνο για την πιθανότητα κατάρρευσης της κατασκευής και δεν ποσοτικοποιούν τη ζημιά που προκαλείται, όπως κάνουν οι κλασικές καμπύλες ζημιάς (Nadal et al. 2010). Αρχικά τέτοιες καμπύλες κατασκευάστηκαν από τον Black (1975), οι οποίες διαμορφώθηκαν και εμπλουτίστηκαν μετέπειτα για τις ανάγκες άλλης περιοχής από τους Dale et al. (2004). Οι Dale et al. (2004) αναφέρουν ότι όταν ο συνδυασμός των τιμών της ταχύτητας και του ύψους του κύματος της πλημμύρας πέφτει δεξιά από την καμπύλη, τότε η κατασκευή θεωρείται μη σταθερή και μετακινείται από τα θεμέλια της. Αντίθετα, οι κατασκευές θεωρούνται σταθερές, όταν ο συνδυασμός των παραπάνω τιμών πέφτει αριστερά από τις καμπύλες αυτές. Οι καμπύλες αυτές χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου τα κτίρια έχουν μετακινηθεί από τα θεμέλια τους, δηλαδή σε περιπτώσεις ολικής ζημιάς, και όχι σε περιπτώσεις μερικής ζημιάς (Middelmann-Fernandes 2010).

2.5 Μοντέλα εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς

Η μοντελοποίηση της πλημμυρικής ζημιάς είναι ένας τομέας που δεν έχει λάβει μεγάλη προσοχή. Ένας μικρός αριθμός μοντέλων εκτίμησης πλημμυρικής ζημιάς είναι διαθέσιμος (Dutta et al. 2003). Οι κυβερνητικοί οργανισμοί, οι ασφαλιστικές εταιρίες και τα ερευνητικά ινστιτούτα αναπτύσσουν και χρησιμοποιούν μοντέλα για την εκτίμηση της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα σε πολλές χώρες με σκοπό να υπολογίσουν τις αναμενόμενες οικονομικές επιπτώσεις μιας πλημμύρας (Jongman et al. 2012). Ωστόσο, δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη ενιαία μέθοδος που να προσδιορίζει τον οικονομικό αντίκτυπο μιας πλημμύρας (Luino et al. 2009). Για παράδειγμα, οι ασφαλιστικές εταιρίες ενδιαφέρονται για την εκτιμώμενη ασφαλιζόμενη ζημιά, ενώ οι κυβερνητικοί οργανισμοί και οι ακαδημαϊκοί ενδιαφέρονται γενικότερα για την ακριβή εκτίμηση της συνολικής οικονομικής ζημιάς.

Υπάρχουν αρκετές δυσκολίες κατά την εκτίμηση της ζημιάς στο χώρο και στο χρόνο. Για παράδειγμα, είναι σπάνιο να βρεθούν αξιόπιστα δεδομένα ζημιάς (Handmer et al. 2005), η κατανόηση των διαδικασιών εκτίμησης της ζημιάς είναι αδύναμη (Bubeck and Kreibich 2011)

και οι μέθοδοι εκτίμησης της ζημιάς είναι χονδροειδείς (Merz et al. 2010). Όλες αυτές οι δυσκολίες οδηγούν στη μεταφορά των δεδομένων και των μεθόδων εκτίμησης της ζημιάς στο χρόνο και στο χώρο, χωρίς επαρκή αιτιολόγηση (Merz et al. 2010), πράγμα το οποίο οδηγεί σε αναξιόπιστες εκτιμήσεις πλημμυρικής ζημιάς.

Υπάρχουν τρία επίπεδα χωρικής διαφοροποίησης για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς, η μικρο-κλίμακα, η μέσο-κλίμακα και η μακρο-κλίμακα (Jonkman et al. 2008).

Η μικρο-κλίμακα (micro-scale) ανάλυσης αναφέρεται στις ζημιές που μπορούν να εκτιμηθούν με βάση τα χωρικά δεδομένα και τις καμπύλες ζημιάς για ξεχωριστά κτίρια ή οικόπεδα ή χωράφια κτλ. (Ernst et al. 2010). Οι Messner and Meyer (2005) και Messner et al. (2007) αναφέρουν ότι οι μικρής κλίμακας αναλύσεις τείνουν να χρησιμοποιούν πιο ακριβείς μεθόδους.

Η μέσο-κλίμακα (meso-scale) ανάλυσης μπορεί να βασιστεί σε στατιστική πληροφορία για τις μονάδες χρήσης γης, οι οποίες δημοσιεύονται ετησίως από τις υπεύθυνες κρατικές αρχές (στατιστικά γραφεία). Επιπρόσθετα, αυτές οι αναλύσεις έχουν να κάνουν με ερευνητικές περιοχές τοπικής κλίμακας όπως για παράδειγμα λεκάνες απορροής ή παράκτιες περιοχές (Messner and Meyer 2005).

Η μακρο-κλίμακα (macro-scale) ανάλυσης αναφέρεται σε μεγαλύτερες μονάδες χρήσης γης, όπως κοινότητες ή ZIP-code περιοχές διεθνούς κλίμακας (Messner and Meyer 2005), με τη θεώρηση ότι μπορεί να είναι μερικώς πλημμυρισμένες. Αυτές οι έρευνες συνήθως χρησιμοποιούν δεδομένα που βασίζονται στις βάσεις χρήσεων γης CORINE land cover data (Coordinated Information on the European Environment).

Ωστόσο, στη βιβλιογραφία συναντάται και μια δεύτερη εκδοχή χωρικής διαφοροποίησης για τις μεθόδους εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς. Σύμφωνα με τους Su et al. (2005) υπάρχει η μέθοδος χωρικής διαφοροποίησης που βασίζεται σε οικόπεδα/αγροτεμάχια (parcel based approach) και η μέθοδος που βασίζεται σε πλέγμα (grid based method). Στην πρώτη δίνεται λεπτομερής πληροφόρηση για τις κοινωνικό-οικονομικές δραστηριότητες σε επίπεδο οικοπέδου/αγροτεμαχίου, ενώ η αντίστοιχη καμπύλη ζημιάς εφαρμόζεται σε κάθε οικόπεδο/αγροτεμάχιο. Η μέθοδος αυτή απαιτεί δεδομένα κοινωνικό-οικονομικά τα οποία είναι δύσκολο να συλλεχθούν, εξ' αιτίας της αρχής της διαφύλαξης προσωπικών δεδομένων (Su et al. 2005; Spekkers et al. 2011). Η δεύτερη μέθοδος βασίζεται σε μοντέλα δεδομένων πλέγματος τα οποία χωρίζουν την περιοχή σε κελιά ίσης επιφάνειας, σε καθένα από τα οποία επικρατούν ομογενείς κοινωνικό-οικονομικές δραστηριότητες, επομένως σε κάθε κελί εφαρμόζεται ξεχωριστή καμπύλη ζημιάς. Τα απαιτούμενα δεδομένα προέρχονται από απογραφές που είναι ευκολότερη η διάθεσή τους. Η μέθοδος αυτή υπερισχύει όχι μόνο επειδή η πρόσβαση στα δεδομένα ζημιάς είναι ευκολότερη, αλλά περισσότερο γιατί οι χάρτες πιθανής πλημμύρας που παράγονται από τα υπολογιστικά υδρολογικά μοντέλα χρησιμοποιούν συνήθως μορφή δεδομένων δικτύου (Su et al. 2005).

Τα τελευταία χρόνια η υπολογιστική δύναμη έχει αυξηθεί με τέτοιο τρόπο που η σημερινή ανάλυση πλημμυρικής ζημιάς ακόμη και για μεγάλα ποτάμια μπορεί να πραγματοποιηθεί με υψηλό βαθμό λεπτομέρειας. Όσον αφορά στη χωρική κλίμακα της ανάλυσης ζημιάς το πρόβλημα μετακινείται από τους περιορισμούς που σχετίζονται με το μέγεθος της περιοχής, στους περιορισμούς που σχετίζονται με το επίπεδο της λεπτομέρειας των διαθέσιμων χωρικών δεδομένων ζημιάς (Büchle et al. 2006).

Μοντέλα εκτίμησης πλημμυρικής ζημιάς για τον αγροτικό τομέα

Η ζημιά που προκαλείται από μια πλημμύρα στον αγροτικό τομέα είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με αυτή που προκαλείται στον αστικό ή στο βιομηχανικό τομέα (Förster et al. 2008; Merz et al. 2010), επομένως η έρευνα για την εκτίμησή της δεν έχει τραβήξει σημαντικά την προσοχή των ερευνητών (Taria-Silva et al. 2011) και συχνά παραλείπεται ή πραγματοποιείται με χρήση απλοποιημένων μεθόδων και χοντροκομμένων εκτιμήσεων (Förster et al. 2008).

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι διαφορετικής πολυπλοκότητας για την εκτίμηση των ζημιών που προκαλούνται από πλημμύρα (Förster et al. 2008). Ωστόσο, η ζημιά που προκαλείται σε ένα χωράφι, είτε αναφέρεται στα χαρακτηριστικά του χωραφίου, είτε στην υπάρχουσα καλλιέργεια, διαφέρει πολύ από μια κατάσταση σε μια άλλη, χρονικά και χωρικά, ακόμα και για δυο διπλανά/γειτονικά χωράφια που βρίσκονται κοντά στο ίδιο ποτάμι (Pivot and Martin 2002). Ενδεικτικά αναφέρουμε τα μοντέλα εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς για τον αγροτικό τομέα, όπως το μοντέλο SCADE (Silsoe College Agricultural Drainage Evaluation Model) του Ηνωμένου Βασιλείου (Penning-Rowsell and Chatterton 1977), το μοντέλο AGDAM (Agriculture Flood Damage Analysis) του US Army Corps of Engineers (USACE 1985), το μοντέλο FLODSIM (Du Plessis 2001), το μοντέλο MEDIS (Förster et al. 2008) και το μοντέλο EVA (Brémond and Grelot 2010). Επίσης στους Cochrane (1981), KGS (2000), Penning-Rowsell et al. (2005) και Taria-Silva et al. (2011) παρουσιάζονται μοντέλα εκτίμησης ζημιάς για τον αγροτικό τομέα. Πολύ ενδιαφέρουσα είναι και η εκδοχή που παρουσιάζουν οι Pantaleoni et al. (2007), στην οποία εφαρμόζεται μια μέθοδος τηλεπισκόπικης προσέγγισης (remotely sensed approach) για τον προσδιορισμό της σοβαρότητας και της έκτασης της αγροτικής ζημιάς σε μια μεγάλη και προσωρινά μη προσβάσιμη περιοχή (Lillesand et al. 2004). Σε αυτούς τα ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα για την εκτίμηση της ζημιάς στις αγροτικές καλλιέργειες αποκτώνται από εικόνες δορυφόρου.

Μοντέλα εκτίμησης πλημμυρικής ζημιάς για τον αστικό τομέα

Στον αστικό τομέα εντοπίζονται περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές σε μοντέλα εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς και αυτό επειδή υπάρχει μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τον αστικό τομέα, μερικές από τις οποίες αναφέρονται παρακάτω. Ενδεικτικά αναφέρουμε τα μοντέλα URB1 του US Department of Agriculture (USDA), DAMAGE (Das and Lee 1988), υπολογιστικό πρόγραμμα dBASE (McBean et al. 1988), ANUFLOOD του Κέντρου Περιβαλλοντικών Μελετών (CRES) του Australian National University, ESTDAM του Middlesex Polytechnic for UK, TEWA μοντέλο της Νότιας Αφρικής το οποίο συνδυάζεται και με το ANUFLOOD (Viljoen et al. 2001), VISK (Visual Vulnerability and Flooding Risk) (De Risi et al. 2013), HEC-FDA (Hydrologic Engineering Center Flood Damage Analysis) υπολογιστικό πρόγραμμα του US Army Corps of Engineers (USACE 1985), το HAZUS-MH μοντέλο του US, το HAZUS Flood model (Scawthorn et al. 2006), το DISMA (Tsakiris et al. 2007; Pistrika 2010), DAPROG 2 του Baltimore District, Corps of Engineers (Appelbaum 1985), FLEMOs (Flood Loss Estimation Model) μοντέλο (Thieken et al. 2008) το οποίο ενισχύεται με τα μοντέλα FLEMOs και FLEMOs+ (Thieken et al. 2008), το MEDIS (Methods for the Evaluation of the Direct and Indirect Flood Losses) στη Γερμανία (Förster et al. 2008; Thieken et al. 2008). Για την ακρίβεια τα FLEMO μοντέλα ανήκουν στο project MEDIS. Το μοντέλο FLEMO υπερτερεί σε σχέση με

άλλα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στη Γερμανία (Ernst et al. 2010), ωστόσο όταν χρησιμοποιείται για άλλα γεγονότα πλημμύρας δείχνει να υπερεκτιμά τις ζημιές (Thieken et al. 2008). Επίσης στους KGS (2000), Büchele et al. (2006), Luino et al. (2009), Su et al. (2005), Ernst et al. (2010) και Jonkman et al. (2008) παρουσιάζονται μοντέλα που αφορούν στην εκτίμηση της ζημιάς που προκαλείται από μια πλημμύρα.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εργασία των Jongman et al. (2012) στην οποία συγκρίνονται ποσοτικά και ποιοτικά τα αποτελέσματα από επτά μοντέλα ζημιών για δυο διαφορετικά γεγονότα πλημμύρας. Τα μοντέλα είναι: FLEMO (Germany), Damage Scanner (The Netherlands), Rhine Atlas (Rhine basin), Flemish Model (Belgium), Multi-Coloured Manual (United Kingdom), HAZUS-MH (United States) and the JRC Model (European Commission/HKV). Όλα χρησιμοποιούν το ύψος πλημμύρας σαν καθοριστική παράμετρο για τον υπολογισμό της άμεσης ζημιάς και τα περισσότερα έχουν δημιουργηθεί από κυβερνήσεις και ακαδημαϊκά ινστιτούτα, όχι από ασφαλιστικές εταιρίες, πράγμα το οποίο κατοχυρώνει ένα βαθμό συνέπειας στο σκοπό των μοντέλων.

Μοντέλα εκτίμησης πλημμυρικής ζημιάς για τον αστικό τομέα στα οποία δε γίνεται χρήση καμπυλών ζημιάς

Υπάρχει μια επιπρόσθετη εκδοχή μοντέλων ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα στον αστικό τομέα, στην οποία δε γίνεται χρήση καμπυλών ζημιάς, αλλά εξισώσεων οι οποίες καθορίζουν τις δυνάμεις που ασκούνται στα εκτιθέμενα στην πλημμύρα κτίρια και αντικείμενα.

Ενδεικτικά αναφέρουμε τις εργασίες των Nadal et al. (2006), οι οποίοι υπολογίζουν το ύψος και την ταχύτητα του κύματος της πλημμύρας με το υδρολογικό μοντέλο HEC-RAS, υπολογίζοντας στη συνέχεια τις υδροστατικές και υδροδυναμικές δυνάμεις μιας ποτάμιας πλημμύρας, καταλήγοντας στον υπολογισμό της τρωτότητας ενός κτιρίου μετά από σύγκριση των φορτίων που εισάγονται από το νερό της πλημμύρας με τη δύναμη της κύριας κατασκευής του κτηρίου (τοίχοι και κολόνες). Οι Nadal et al. (2010) εξέλιξαν την προηγούμενη μεθοδολογία δημιουργώντας επιφάνειες τρωτότητας για κάθε είδος πλημμύρας, ανάλογα με ποικίλα σενάρια ύψους και ταχύτητας.

Οι Kelman and Spence (2004) υπολογίζουν τη φυσική τρωτότητα μιας κατοικίας σε συνθήκες πλημμύρας, αναλύοντας τις δράσεις μιας πλημμύρας, δηλαδή τις υδροστατικές δυνάμεις (πλευρικές πιέσεις από τη διαφοροποίηση του νερού μέσα και έξω από το κτίριο), τις υδροδυναμικές δυνάμεις (πλευρικές πιέσεις από την ταχύτητα, την τύρβη), τη διάβρωση, την πλευστότητα, τα φερτά υλικά και τις μη φυσικές δυνάμεις (χημικές, πυρηνικές, βιολογικές αντιδράσεις). Οι δράσεις είναι οι ενέργειες που μια πλημμύρα ασκεί άμεσα σε ένα κτίριο, προκαλώντας άμεση ζημιά. Παράλληλα οι Kelman and Spence (2004) παρουσιάζουν μεθόδους για την ποσοτικοποίηση των δράσεων αυτών και κατηγοριοποιούν τη σημαντικότητα των δυνάμεων αυτών για τον υπολογισμό της άμεσης ζημιάς στα κτίρια.

Οι Roos et al. (2003) παρουσιάζουν ένα μοντέλο εκτίμησης της τρωτότητας των κτιρίων σε συνθήκες πλημμύρας. Βασίζεται στη σύγκριση των φορτίων που εφαρμόζει η πλημμύρα πάνω στην κατασκευή του κτιρίου, με τη δύναμη της κατασκευής. Απευθύνεται σε δυο είδη κατοικίας της Ολλανδίας. Λαμβάνει υπόψη την αστοχία των τοίχων και την εκσκαφή των

θεμελίων από τη ροή του νερού, καθώς οι δυο αυτοί μηχανισμοί είναι οι πιο σημαντικοί μηχανισμοί στην Ολλανδία. Το μοντέλο των Roos et al. (2003) υπολογίζει την πιθανότητα μερικής κατάρρευσης της κατασκευής από αυτούς τους δύο μηχανισμούς. Πιο συγκεκριμένα τα φορτία που σχετίζονται με την αστοχία των τοίχων οφείλονται στην υδροστατική και υδροδυναμική πίεση, την δράση των κυμάτων της πλημμύρας και τα φερτά υλικά. Η δύναμη της κατασκευής εξαρτάται από παράγοντες του κτιρίου, όπως ο τύπος της κατασκευής και ο τύπος του κτιρίου. Το μοντέλο χρησιμοποιεί καμπύλες ζημιάς (ταχύτητας-ύψους), οι οποίες ονομάζονται καμπύλες αστοχίας για τον μηχανισμό «αστοχία τοίχων» και στις οποίες αποτυπώνονται σενάρια της μερικής και της ολικής αστοχίας τοίχων για διάφορα ζεύγη τιμών ύψους κύματος και ταχύτητας.

Οι Dale et al. (2004) βασίζονται στον Black (1975) που είχε δημιουργήσει καμπύλες που περιέγραφαν τους συνδυασμούς ύψους και ταχύτητας του κύματος της πλημμύρας που θα μπορούσαν θεωρητικά να μετακινήσουν ένα σπίτι από τα θεμέλια του. Δημιουργούν επομένως καμπύλες που αναφέρονται σε συγκεκριμένα σπίτια συγκεκριμένων υλικών κατασκευής και υπολογίζουν τη ζημιά σε κατοικίες μιας τυπικής Αυστραλιανής κατασκευής. Οι καμπύλες δημιουργήθηκαν με τον υπολογισμό των οριζόντιων δυνάμεων, της πλευστότητας, του βάρους της κατασκευής και των δυναμικών πιέσεων, εξαιτίας του νερού, για ποικίλους συνδυασμούς τιμών ύψους και ταχύτητας.

Οι Pistrika and Jonkman (2010) εκτίμησαν την άμεση οικονομική πλημμυρική ζημιά σε αστικά κτίρια χρησιμοποιώντας μια νέα παράμετρο, το γινόμενο ταχύτητα x ύψος ($d \times v$). Υποστήριξαν ότι το ύψος της πλημμύρας δεν μπορεί να προκαλέσει από μόνο του σημαντική ζημιά εκτός κι αν συνδυάζεται με υψηλές τιμές ταχύτητας. Το γινόμενο ταχύτητα-ύψος ($d \times v$) θεωρείται μια κρίσιμη μεταβλητή για τη κατάρρευση του κτιρίου (Clausen 1989). Τρία επίπεδα πλημμυρικής ζημιάς αντιστοιχίστηκαν σε σενάρια τιμών ταχύτητας και σενάρια γινομένου $d \times v$, δημιουργώντας μια πρωτότυπη μεθοδολογία για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία ικανή να εκτιμήσει τη ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα σε αγροτικό και αστικό περιβάλλον. Ένα πλημμυρικό γεγονός προσομοιώνεται με χρήση του ενιαίου 1D-2D MIKE FLOOD υδρολογικού μοντέλου και εκτιμάται η ζημιά που προκαλείται στους οικονομικούς τομείς μελέτης, με εφαρμογή ενός οικονομικοτεχνικού μοντέλου εκτίμησης απωλειών, το οποίο δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής εργασίας, σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Παρακάτω, παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

3.1 Προσομοίωση πλημμύρας με χρήση του MIKE FLOOD μοντέλου

Το υδρολογικό μοντέλο MIKE FLOOD αποτελεί ένα ενιαίο 1D-2D μοντέλο. Συνδυάζει το μονοδιάστατο υδραυλικό μοντέλο MIKE 11 και το διδιάστατο υδρολογικό μοντέλο MIKE 21, εξασφαλίζοντας έτσι τα πλεονεκτήματα καθενός από τα δύο παραπάνω μοντέλα, κατά τη διαδικασία προσομοίωσης ενός γεγονότος πλημμύρας. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά, οι εξισώσεις που περιγράφουν τις διαδικασίες προσομοίωσης και ο τρόπος επίλυσης των εξισώσεων αυτών στο υπολογιστικό πλέγμα που χρησιμοποιούν.

Μονοδιάστατο υδραυλικό μοντέλο MIKE 11

Το μονοδιάστατο υδραυλικό μοντέλο MIKE 11 είναι ένα σύστημα μοντελοποίησης που εφαρμόζεται σε ποτάμια, κανάλια, πλημμυρικές κοίτες, ταμειευτήρες κλπ. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή χρησιμοποιήθηκε για την υδραυλική προσομοίωση της πλημμυρικής ροής κατά μήκος ενός ποταμού.

Όταν το μοντέλο MIKE 11 εφαρμόζεται με την περιγραφή του πλήρως δυναμικού κύματος (fully dynamic wave description) λύνει τις κατακόρυφα ολοκληρωμένες εξισώσεις της αρχής διατήρησης μάζας και ορμής, γνωστές και ως εξισώσεις Saint Venant (MIKE 11 Reference Manual 2011). Οι εξισώσεις αυτές βασίζονται στις ακόλουθες υποθέσεις:

- ✓ Το νερό είναι ασυμπίεστο και ομογενές, δηλαδή χωρίς σημαντικές διακυμάνσεις στην πυκνότητα
- ✓ Η κλίση του πυθμένα (bottom slope) είναι μικρή
- ✓ Τα μήκη του κύματος είναι μεγάλα σε σύγκριση με το βάθος του νερού. Αυτό συνεπάγεται ότι η ροή οπουδήποτε μπορεί να θεωρηθεί παράλληλη στον πυθμένα, δηλαδή η κατακόρυφη επιτάχυνση αμελείται, ενώ η υδροστατική πίεση μεταβάλλεται κατά τον κατακόρυφο άξονα
- ✓ Η ροή είναι υπό-κρίσιμη (sub-critical flow)
- ✓ Η ροή είναι μονοδιάστατη, δηλαδή ομοιόμορφη ταχύτητα και στάθμη στο κανάλι
- ✓ Μικρή διαμήκης διακύμανση στη γεωμετρία του ποταμού

Εξισώσεις Saint Venant

Σε μια ορθογώνια διατομή με οριζόντια βάση και σταθερό πλάτος, η αρχή διατήρησης της μάζας (Εξ. 3.1) και της ορμής (Εξ. 3.2) μπορούν να εκφραστούν με τις παρακάτω εξισώσεις:

Διατήρηση μάζας

$$\frac{\partial(\rho H b)}{\partial t} = - \frac{\partial(\rho H b \bar{u})}{\partial x} \quad (3.1)$$

Διατήρηση ορμής

$$\frac{\partial(\rho H b \bar{u})}{\partial t} = - \frac{\partial \left(\alpha' \rho H b \bar{u}^2 + \frac{1}{2} \rho g b H^2 \right)}{\partial x} \quad (3.2)$$

όπου ρ η πυκνότητα ($kg \cdot m^{-3}$), H το βάθος (m), b το πλάτος (m), \bar{u} η μέση ταχύτητα ($m \cdot s^{-1}$) κατά μήκος του κατακόρυφου άξονα και α' ο συντελεστής κατανομής της κατακόρυφης ταχύτητας (αδιάστατο).

Η εισαγωγή της κλίσης του πυθμένα, I_b , και η δυνατότητα της αλλαγής του πλάτους του καναλιού, συνεπάγονται την εισαγωγή δυο ακόμη όρων στην εξίσωση της ορμής, οι οποίοι περιγράφουν τις προβολές των δυνάμεων της αντίστασης του πυθμένα και των πλευρικών τοιχωμάτων στην υδροστατική πίεση, κατά τις διευθύνσεις της ροής. Επομένως η εξίσωση διατήρησης της ορμής (Εξ. 3.2) γίνεται:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho H b \bar{u})}{\partial t} &= - \frac{\partial \left(\alpha' \rho H b \bar{u}^2 + \frac{1}{2} \rho g b H^2 \right)}{\partial x} + \frac{\partial b}{\partial x} \frac{\rho g H^2}{2} - \rho g H b I_b \quad \Leftrightarrow \\ \frac{\partial(\rho H b \bar{u})}{\partial t} &= - \frac{\partial(\alpha' \rho H b \bar{u}^2)}{\partial x} - b \frac{\partial \left(\frac{1}{2} \rho g H^2 \right)}{\partial x} - \rho g H b I_b \end{aligned} \quad (3.3)$$

Αντικαθιστώντας στην Εξ. 3.3 το βάθος του νερού H (m), με τη στάθμη του νερού, h (m), μέσω της Εξ. 3.4, και διαιρώντας με την πυκνότητα, ρ , προκύπτουν οι εξισώσεις διατήρησης μάζας και ορμής (Εξ. 3.5 και 3.6).

$$\frac{\partial h}{\partial x} = I_b + \frac{\partial H}{\partial x} \quad (3.4)$$

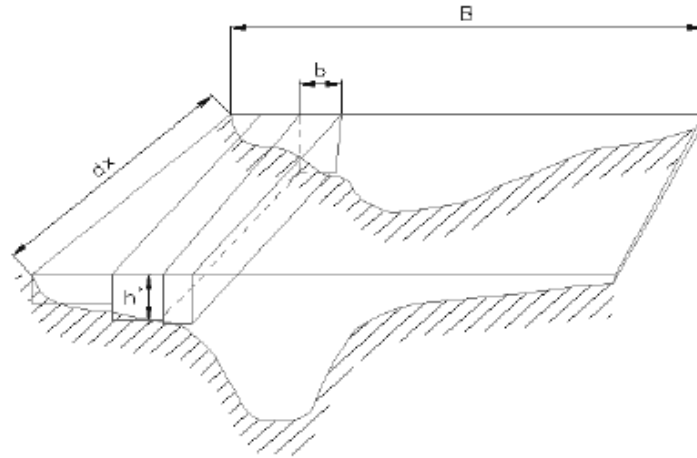
Διατήρηση μάζας

$$\frac{\partial(H b)}{\partial t} = - \frac{\partial(H b \bar{u})}{\partial x} \quad (3.5)$$

Διατήρηση ορμής

$$\frac{\partial(Hb\bar{u})}{\partial t} = -\frac{\partial(\alpha'Hb\bar{u}^2)}{\partial x} - Hbg\frac{\partial h}{\partial x} \quad (3.6)$$

Οι εξισώσεις ολοκληρώνονται ώστε να περιγράψουν τη ροή κατά μήκος μιας διατομής οποιουδήποτε σχήματος. Η διατομή χωρίζεται σε μια σειρά από ορθογώνιες διατομές, όπως φαίνεται στην Εικ. 3.1.



Εικόνα 3.1. Η διατομή χωρίζεται σε μια σειρά από ορθογώνια κανάλια (Πηγή: MIKE 11 Reference Manual 2011)

Σύμφωνα με τις παραπάνω υποθέσεις, η στάθμη είναι ομοιόμορφη (δηλ. ο ρυθμός μεταβολής $\frac{\partial h}{\partial x}$ είναι σταθερός) κατά μήκος του καναλιού, ενώ η ορμή δε μεταβάλλεται μέσα στα υπό-κανάλια. Αν A η ολοκληρωμένη επιφάνεια των διατομών, Q η ολοκληρωμένη εκροή και B το συνολικό πλάτος του καναλιού, τότε:

$$A = \int_0^B Hdb \quad (3.7)$$

$$Q = \int_0^B H\bar{u}db = \bar{u}A \quad (3.8)$$

Μετά από ολοκλήρωση των εξισώσεων διατήρησης μάζας και ορμής και με χρήση των Εξ. 3.7 και 3.8 προκύπτουν οι Εξ. 3.9 και 3.10:

Διατήρηση μάζας

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (3.9)$$

Διατήρηση ορμής

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (3.10)$$

Αν λάβουμε υπόψη μας την υδραυλική αντίσταση (π.χ. με χρήση της περιγραφής Chezy) και την πλευρική εισροή, q , στις παραπάνω εξισώσεις, θα οδηγηθούμε στις βασικές εξισώσεις, Εξ. 3.11 και Εξ. 3.12, που χρησιμοποιεί το MIKE 11 μοντέλο ως εξισώσεις διατήρησης της μάζας και της ορμής, αντίστοιχα, για κάθε ανοιχτή διατομή του καναλιού (MIKE 11 Reference Manual 2011).

Διατήρηση μάζας

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (3.11)$$

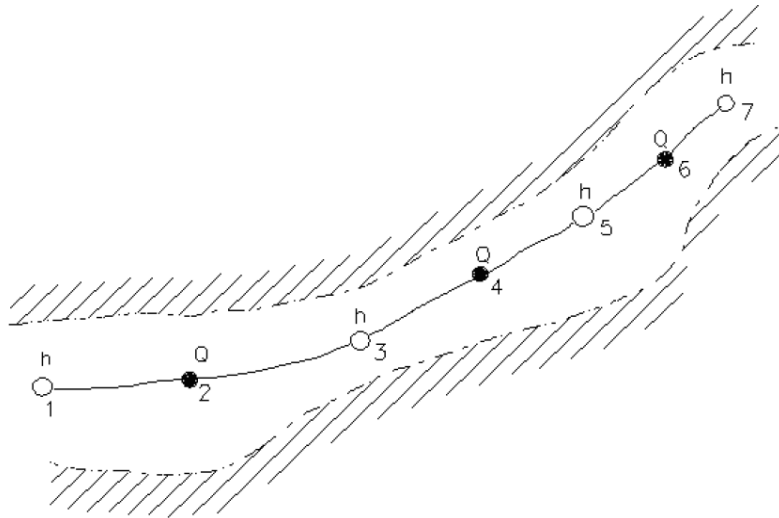
Διατήρηση ορμής

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0 \quad (3.12)$$

Όπου Q είναι η εκροή ($m^3 \cdot s^{-1}$), A η επιφάνεια ροής (m^2), q η πλευρική ροή ($m^2 \cdot s^{-1}$), h η στάθμη πάνω από το σημείο αναφοράς (m), C ο Chezy συντελεστής αντίστασης ($m^{1/2} \cdot s^{-1}$), R η υδραυλική ακτίνα ή ακτίνα αντίστασης (m) και α ο συντελεστής κατανομής της ορμής (αδιάστατο).

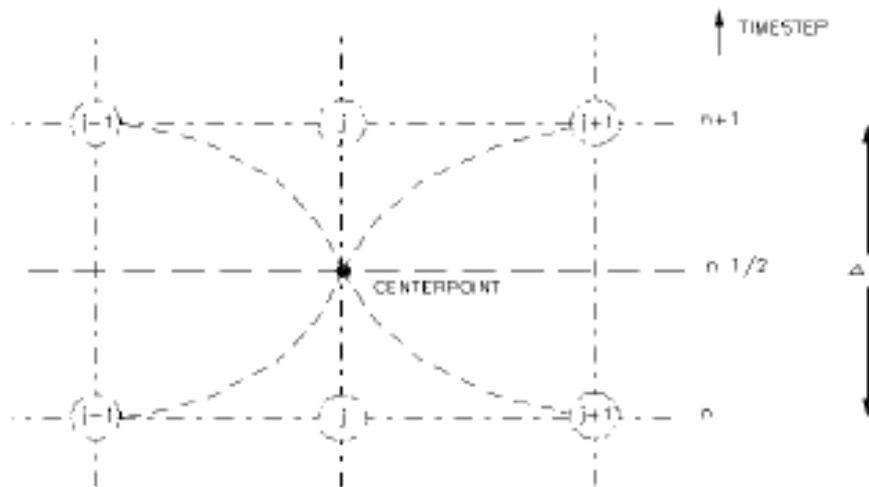
Μέθοδος επίλυσης Saint Venant εξισώσεων

Οι Saint Venant εξισώσεις (Εξ. 3.11 και 3.12) μετατρέπονται σε ένα σύνολο πεπλεγμένων εξισώσεων πεπερασμένων διαφορών και η επίλυσή τους πραγματοποιείται σε ένα υπολογιστικό πλέγμα (computational grid) που αποτελείται από εναλλασσόμενα Q - και h -σημεία, δηλαδή σημεία στα οποία υπολογίζονται σε κάθε χρονικό βήμα η εκροή, Q , και η στάθμη, h , αντίστοιχα (Εικ. 3.2). Το υπολογιστικό πλέγμα παράγεται αυτόματα από το μοντέλο, ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Τα Q -σημεία βρίσκονται πάντα σε ίση απόσταση μεταξύ των γειτονικών h -σημείων (MIKE 11 Reference Manual 2011), ενώ η απόσταση ανάμεσα στα h -σημεία μπορεί να διαφέρει. Η εκροή εξ' ορισμού είναι θετική κατά τη θετική x -φορά.



Εικόνα 3.2. Υπολογιστικό πλέγμα τμήματος καναλιού (Πηγή: MIKE 11 Reference Manual 2011)

Η αριθμητική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την επίλυση των Saint Venant εξισώσεων είναι μια 6-σημείων Abbott μέθοδος (Εικ. 3.3) (MIKE 11 Reference Manual 2011).



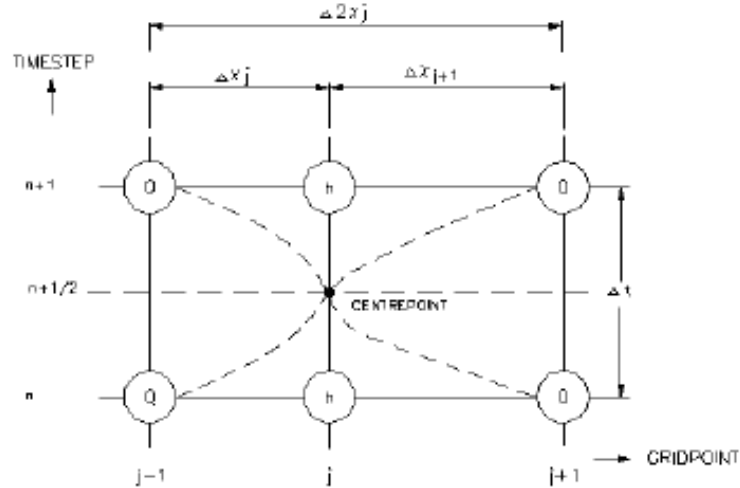
Εικόνα 3.3. Κεντρικό σημείο από την 6-σημείων Abbott μέθοδο (Πηγή: MIKE 11 Reference Manual 2011)

Σε αυτό το σημείο εισάγεται η έννοια του εύρους αποθήκευσης, b_s (Εξ. 3.13) και αντικαθιστώντας το στην εξίσωση διατήρησης της μάζας (Εξ. 3.11), προκύπτει η Εξ. 3.14.

$$\frac{\partial A}{\partial t} = b_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b_s \frac{\partial h}{\partial t} = q \quad (3.14)$$

Η εκροή, Q , παραγωγίζεται μόνο ως προς x και η Εξ. 3.14 εστιάζεται σε ένα h -σημείο (Εικ. 3.4).



Εικόνα 3.4. Εξίσωση διατήρησης της μάζας σε μια 6-σημείων Abbott μέθοδο (MIKE 11 Reference Manual 2011)

Οι παράγωγοι στην Εξ. 3.14 εκφράζονται σε επίπεδο χρόνου, $n + \frac{1}{2}$, ως εξής:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \approx \frac{\frac{(Q_{j+1}^{n+1} + Q_{j+1}^n)}{2} - \frac{(Q_{j-1}^{n+1} + Q_{j-1}^n)}{2}}{\Delta 2x_j} \quad (3.15)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} \approx \frac{(h_j^{n+1} - h_j^n)}{\Delta t} \quad (3.16)$$

Ενώ το εύρος αποθήκευσης, b_s , στην Εξ. 3.14 προσεγγίζεται από την Εξ. 3.17:

$$b_s = \frac{A_{0,j} + A_{0,j+1}}{\Delta 2x_j} \quad (3.17)$$

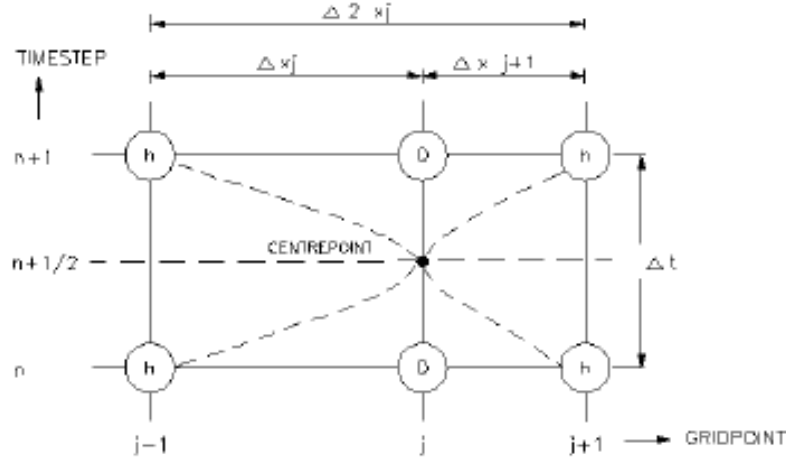
όπου $A_{0,j}$ είναι η επιφάνεια ανάμεσα στα σημεία του πλέγματος $j - 1$ και j , $A_{0,j+1}$ η επιφάνεια ανάμεσα στα σημεία j και $j + 1$, $\Delta 2x_j$ είναι η απόσταση ανάμεσα στα σημεία $j - 1$ και $j + 1$.

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω παραγώγους στην Εξ. 3.14 προκύπτει η Εξ. 3.18.

$$a_j Q_{j-1}^{n+1} + \beta_j h_j^{n+1} + \gamma_j Q_{j+1}^{n+1} = \delta_j \quad (3.18)$$

όπου α, β, γ είναι συναρτήσεις του b και δ και εξαρτώνται από την εκροή, Q , και τη στάθμη, h , στο επίπεδο χρόνου, n , ενώ σε επίπεδο χρόνου $n + \frac{1}{2}$, εξαρτώνται μόνο από την εκροή, Q .

Η εξίσωση διατήρησης της ορμής εστιάζει στα Q -σημεία όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικ. 3.5.



Εικόνα 3.5. Εξίσωση διατήρησης της ορμής σε μια 6-σημείων Abbott μέθοδο (Πηγή: MIKE 11 Reference Manual 2011)

Οι παράγωγοι στην Εξ. 3.12 εκφράζονται ως:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \approx \frac{Q_j^{n+1} - Q_j^n}{\Delta t} \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} \approx \frac{\left[\alpha \frac{Q^2}{A} \right]_{j+1}^{n+\frac{1}{2}} - \left[\alpha \frac{Q^2}{A} \right]_{j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta 2x_j} \quad (3.20)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} \approx \frac{\frac{(h_{j+1}^{n+1} + h_{j+1}^n)}{2} - \frac{(h_{j-1}^{n+1} + h_{j-1}^n)}{2}}{\Delta 2x_j} \quad (3.21)$$

Για τον τετραγωνικό όρο της Εξ. 3.20 χρησιμοποιείται ειδική διατύπωση, που διασφαλίζει το σωστό πρόσημο του όρου αυτού, καθώς η κατεύθυνση της ροής αλλάζει σε κάθε χρονικό βήμα:

$$Q^2 \approx \theta Q_j^{n+1} Q_j^n - (\theta - 1) Q_j^n Q_j^n \quad (3.22)$$

όπου το θ (συντελεστής ΘΗΕΤΑ) είναι μια παράμετρος που χρησιμοποιείται στον όρο αντίστασης, κατά την διακριτοποίηση της εξίσωσης διατήρησης της ορμής. Η παράμετρος αυτή μπορεί να προσδιοριστεί από το χρήστη, ωστόσο η εξ' ορισμού τιμή είναι 1.0.

Αντικαθιστώντας τις παραγώγους (Εξ. 3.19 – 3.21) στην εξίσωση διατήρησης της ορμής (Εξ. 3.12), προκύπτει η Εξ. 3.23:

$$\alpha_j h_{j-1}^{n+1} + \beta_j Q_j^{n+1} + \gamma_j h_{j+1}^{n+1} = \delta_j \quad (3.23)$$

$$\begin{aligned} \text{όπου} \quad \alpha_j &= f(A), & \beta_j &= f(Q_j^n, \Delta t, \Delta x, C, A, R), & \gamma_j &= f(A), \\ \delta_j &= f\left(A, \Delta x, \Delta t, \alpha, q, v, \theta, h_{j-1}^n, Q_{j-1}^{n+\frac{1}{2}}, Q_j^n, h_{j+1}^n, Q_{j+1}^{n+\frac{1}{2}}\right) \end{aligned}$$

Για να αποκτηθεί μια πλήρως εστιασμένη περιγραφή της A_{j+1} , αυτοί οι όροι θα έπρεπε να έχουν ισχύ σε χρονικό επίπεδο $n + \frac{1}{2}$ το οποίο καλύπτεται σε μια επανάληψη. Επομένως, οι εξισώσεις αυτές χρησιμοποιούνται εξ' ορισμού δυο φορές σε κάθε χρονικό βήμα. Η πρώτη επανάληψη ξεκινά μετά από τα αποτελέσματα του προηγούμενου χρονικού βήματος και η δεύτερη επανάληψη χρησιμοποιεί τις κεντρικές τιμές αυτού του υπολογισμού. Ωστόσο, ο αριθμός των επαναλήψεων μπορεί και να αλλάξει (NoITER coefficient).

Διδιάστατο υδροδυναμικό μοντέλο MIKE 21

Το MIKE 21 είναι ένα διδιάστατο αριθμητικό μοντέλο που χρησιμοποιείται σε ποτάμια, πλημμυρικές κοίτες, λίμνες, εκβολές ποταμού, παράκτιες περιοχές και θάλασσες. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της διόδευσης του κύματος πλημμύρας στην πλημμυρική κοίτη ενός ποτάμιου συστήματος.

Εξισώσεις Saint Venant

Το MIKE 21 μοντέλο χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της ροής και της στάθμης του κύματος της πλημμύρας στην περιοχή της πλημμυρικής κοίτης του ποταμού (MIKE 21 Scientific Documentation 2011). Είναι ικανό να προσομοιώσει ασταθείς, διδιάστατες ροές σε ρευστά ενός στρώματος (κατακόρυφα ομογενή). Μπορεί να προσομοιώσει την υδροδυναμική, την κυματική, τα στερεά και την οικολογία ενός συστήματος. Οι γενικές υποθέσεις που χρησιμοποιούνται στο MIKE 21 είναι:

- ✓ Το υγρό είναι ασυμπίεστο και ομογενές
- ✓ Η ροή είναι μονοδιάστατη (ομοιόμορφη ταχύτητα και στάθμη στη διατομή)
- ✓ Κατανομή της υδροστατικής πίεσης

Οι εξισώσεις που περιγράφουν τις διακυμάνσεις της ροής και της στάθμης και αποτελούν τις εξισώσεις της αρχής διατήρησης της μάζας, και της αρχής διατήρησης της ορμής στον οριζόντιο x-άξονα και στον κατακόρυφο y-άξονα είναι οι Εξ. 3.24, Εξ. 3.25, Εξ. 3.26, αντίστοιχα.

Διατήρηση μάζας

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \quad (3.24)$$

Διατήρηση ορμής

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{p^2}{h} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(\frac{pq}{h} \right)}{\partial y} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] \\ - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial(p_\alpha)}{\partial x} = 0 \end{aligned} \quad (3.25)$$

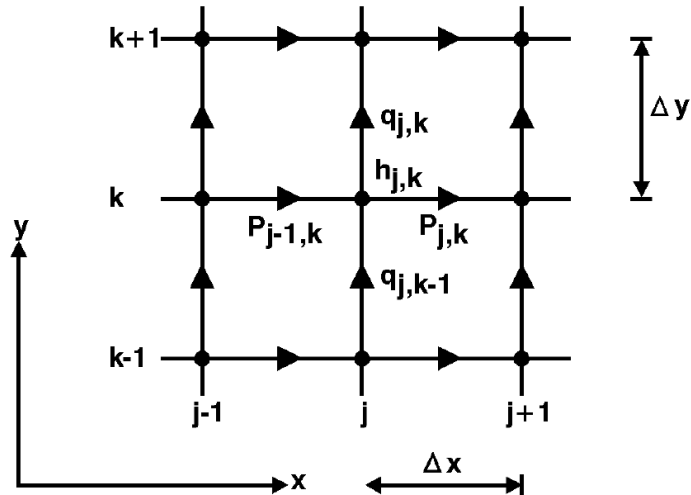
$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{q^2}{h} \right)}{\partial y} + \frac{\partial \left(\frac{pq}{h} \right)}{\partial x} + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial x} \right] \\ + \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial(p_\alpha)}{\partial y} = 0 \end{aligned} \quad (3.26)$$

όπου $\zeta(x, y, t)$ είναι το υψόμετρο της επιφάνειας (m), $d(x, y, t)$ το χρονικά εξαρτώμενο ύψος του νερού (m), $h(x, y, t)$ το βάθος του νερού (m), $p(x, y, t)$ και $q(x, y, t)$ οι πυκνότητες ροής στην x – και y – διεύθυνση αντίστοιχα ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), $C(x, y)$ η αντίσταση Chezy ($\text{m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$), g η επιτάχυνση της βαρύτητας ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$), $V, V_x, V_y(x, y, t)$ η ταχύτητα του ανέμου και οι συνισταμένες κατά τις x – και y – διεύθυνσεις ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), $p_\alpha(x, y, t)$ η ατμοσφαιρική πίεση ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$), $f(V)$ ο συντελεστής τριβής του ανέμου (αδιάστατο), $\Omega(x, y)$ η παράμετρος Coriolis (s^{-1}), ρ_w η πυκνότητα του νερού ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), x, y οι συντεταγμένες του χώρου (m), t ο χρόνος (s) και $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ οι συνισταμένες της ενεργού διατμητικής τάσης ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$).

Μέθοδος επίλυσης Saint Venant εξισώσεων

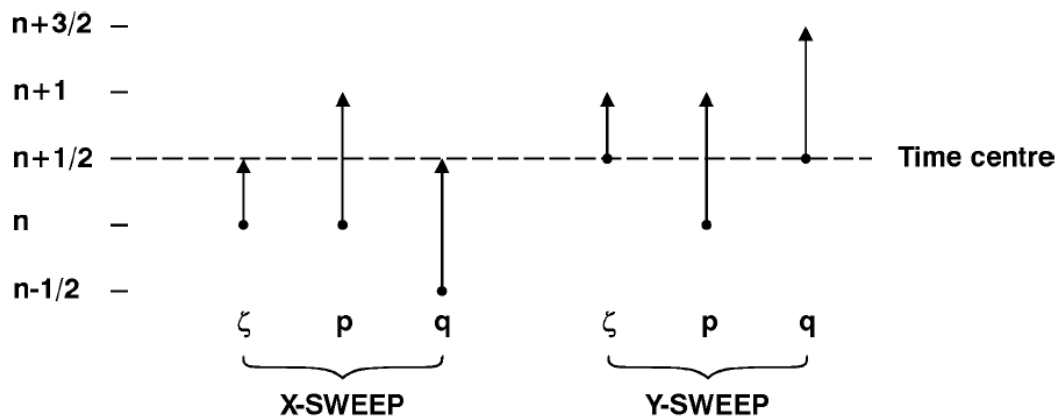
Το MIKE 21 χρησιμοποιεί μια τεχνική κρυφά εναλλασσόμενης κατεύθυνσης (Alternating Direction Implicit (ADI)) για την ολοκλήρωση των εξισώσεων διατήρησης της μάζας και της ορμής στο χωρο-χρονικό πεδίο ορισμού. Οι πίνακες των εξισώσεων που προκύπτουν για κάθε διεύθυνση και κάθε ξεχωριστή γραμμή του πλέγματος λύνονται από έναν αλγόριθμο διπλής σάρωσης (Double Sweep (DS)). Γενικά, το σάρωμα είναι μια τεχνική μοντελοποίησης τριδιάστατων σχημάτων, με κίνηση μιας διδιάστατης οντότητας στο χώρο κατά καθορισμένη διαδρομή.

Το MIKE 21 παρουσιάζει ένα καλά ορισμένο αλγόριθμο επίλυσης ο οποίος παρέχει ακριβή, αξιόπιστη και γρήγορη λειτουργία. Οι όροι διαφοροποίησης εκφράζονται σε ένα κλιμακωτό πλέγμα στον x, y -επίπεδο (Εικ. 3.6).



Εικόνα 3.6. Πλέγμα διαφορών στο x, y –επίπεδο (Πηγή: MIKE 21 Scientific Documentation 2011)

Η χρονική εστίαση των τριών εξισώσεων στο υδροδυναμικό MIKE 21 μοντέλο παρουσιάζεται στην Εικ. 3.7.



Εικόνα 3.7. Χρονική εστίαση (Πηγή: MIKE 21 Scientific Documentation 2011)

Οι εξισώσεις λύνονται σε μονοδιάστατα σαρώματα (sweep), εναλλάσσοντας ανάμεσα στις x και y διευθύνσεις. Στο x –σάρωμα οι εξισώσεις διατήρησης της μάζας και της x -ορμής λύνονται, θεωρώντας το ζ από n στο $n + \frac{1}{2}$ και το p από n στο $n + 1$. Για τους όρους που περιλαμβάνουν το q χρησιμοποιούνται τα δύο επίπεδα των παλιών, γνωστών τιμών, $n - \frac{1}{2}$ και $n + \frac{1}{2}$. Κατά το y -σάρωμα λύνονται οι εξισώσεις διατήρησης της μάζας και της y -ορμής, θεωρώντας το ζ από $n + \frac{1}{2}$ στο $n + 1$ και το q από το $n + \frac{1}{2}$ στο $n + \frac{3}{2}$ ενώ για τους όρους που περιλαμβάνουν το p χρησιμοποιούνται οι τιμές που υπολογίστηκαν κατά το x -σάρωμα στο

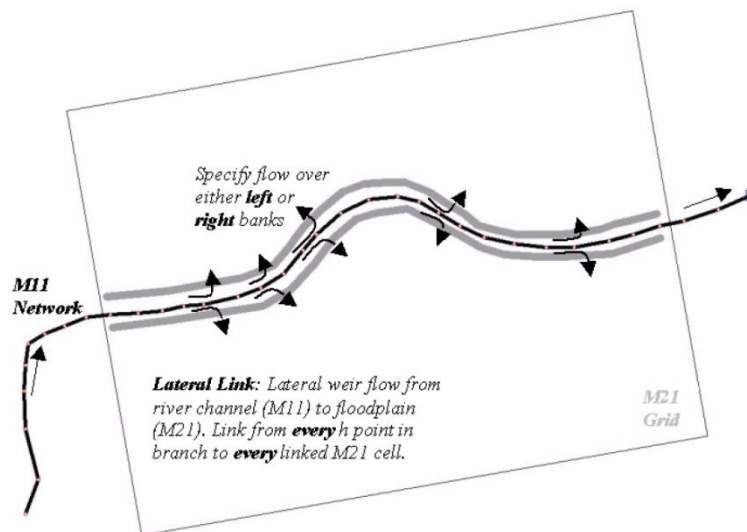
n και $n + 1$. Με την άθροιση των δυο σαρωμάτων προκύπτει μια τέλεια χρονικά εστίαση στο $n + \frac{1}{2}$ δηλαδή η χρονική εστίαση δίνεται από μια εξισορροπημένη αλληλουχία διαδικασιών.

Ενιαίο σύστημα 1D-2D μοντελοποίησης MIKE FLOOD

Το MIKE FLOOD ενοποιεί το μονοδιάστατο μοντέλο MIKE 11 και το διδιάστατο MIKE 21 σε ένα ξεχωριστό και δυναμικό ενιαίο σύστημα μοντέλων (MIKE FLOOD User Manual 2011). Το ενιαίο αυτό εργαλείο συνδυάζει τα καλύτερα από τα χαρακτηριστικά καθενός από τα μοντέλα MIKE 11 και MIKE 21. Για τη σύνδεση των δυο μοντέλων χρησιμοποιεί έναν αριθμό ειδικών συνδέσεων. Παρακάτω παρουσιάζονται οι συνδέσεις που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διδακτορική διατριβή.

Πλευρικές συνδέσεις (lateral links)

Οι πλευρικές συνδέσεις (Εικ. 3.8) επιτρέπουν την προσομοίωση της ροής που υπερχειλίζει από το κανάλι στην πλημμυρική κοίτη του ποταμού σε υψηλές παροχές (overbank flow).



Εικόνα 3.8. Εφαρμογή πλευρικών συνδέσεων (Πηγή: MIKE FLOOD User Manual 2011)

Μια πλευρική σύνδεση επιτρέπει σε μια ακολουθία κελιών του MIKE 21 να συνδεθούν πλευρικά με ένα ευθύγραμμο τμήμα του ποταμού στο MIKE 11, είτε με ένα κομμάτι ενός κλάδου του, είτε με όλο τον κλάδο.

Τυποποιημένες συνδέσεις (standard links)

Στις τυποποιημένες συνδέσεις που χρησιμοποιούνται σε ένα ορθογώνιο πλέγμα, το τέλος ενός MIKE 11 κλάδου συνδέεται με ένα ή περισσότερα MIKE 21 κελιά. Για το λόγο αυτό, η παροχή προέρχεται από το MIKE 11 όριο και επιβάλλεται στο MIKE 21. Η παροχή από το MIKE

11 εστιάζεται στο χρονικό βήμα $n + \frac{1}{2}$ και επιδρά στις εξισώσεις διατήρησης της μάζας και της ορμής του MIKE 21. Το MIKE 11 απαιτεί ένα όριο στάθμης νερού από το MIKE 21 (χρονικό βήμα $n + 1$), ώστε να προχωρήσει από το χρονικό βήμα n στο $n + 1$. Επομένως, το MIKE 21 θα είναι πάντα ένα βήμα μπροστά από το MIKE 11. Επιπλέον, για να παρέχεται παροχή στο MIKE 21 (χρονικό βήμα $n + \frac{1}{2}$), πρέπει να υπάρξει μια πρόβλεψη στο MIKE 11 η οποία εκτιμά την παροχή $Q^{n+\frac{1}{2}}$, δεδομένων των υπολογισμένων παροχών Q^n και σταθμών νερού H^n (χρονικό βήμα n):

$$\frac{\partial Q^{n+\frac{1}{2}}}{\partial t} = - \left(gA \frac{\partial H^n}{\partial x} + \frac{Q^n \cdot |Q^n|}{A \cdot C^2 \cdot R} \right) \quad (3.27)$$

όπου t ο χρόνος (s), x το μήκος (m), A η επιφάνεια της διατομής (m^2), C η Chezy αντίσταση ($m^{1/2} \cdot s^{-1}$) και R η υδραυλική ακτίνα (m).

Προσομοίωση γεγονότος πλημμύρας-υπολογισμός υδρολογικών παραμέτρων

Κατά την προσομοίωση ενός γεγονότος πλημμύρας εκτελούνται ξεχωριστά τα μοντέλα MIKE 11 και MIKE 21 και έπειτα συνδέονται μέσα στο μοντέλο MIKE FLOOD. Το μοντέλο MIKE FLOOD εκτελείται, παρέχοντας ως αποτελέσματα το εύρος της πλημμύρας και τις εκτιμήσεις του ύψους και της ταχύτητας σε κάθε κελί του ορθογώνιου πλέγματος. Τα αποτελέσματα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διδακτορική διατριβή είναι η μέγιστη τιμή ύψους κύματος της πλημμύρας και η αντίστοιχη διανυσματική ταχύτητα, τη χρονική στιγμή όπου το ύψος μεγιστοποιείται, σε κάθε κελί του MIKE FLOOD ορθογώνιου πλέγματος.

3.2 Δημιουργία μεθοδολογίας εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή αναπτύχθηκε ένα οικονομικοτεχνικό μοντέλο εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από συγκεκριμένο γεγονός πλημμύρας σε δυο οικονομικούς τομείς, τον αγροτικό και τον αστικό τομέα. Το μοντέλο αυτό δημιουργήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python και ο σχεδιασμός της μεθοδολογίας για τη δημιουργία του περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω.

Προσδιορισμός πλημμυρικών παραμέτρων επίπτωσης και αντίστασης

Το πιο σημαντικό βήμα για τη δημιουργία ενός ρεαλιστικού και λειτουργικού μοντέλου εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα είναι η επιλογή των κατάλληλων πλημμυρικών παραμέτρων επίπτωσης και αντίστασης, οι οποίες προσδιορίζουν ή/και καθορίζουν την πλημμύρα και τον αποδέκτη της, αντίστοιχα.

Η επιλογή των πλημμυρικών παραμέτρων, στην παρούσα διδακτορική διατριβή, βασίστηκε στο γεγονός ότι οι πλημμύρες που πραγματοποιούνται στην περιοχή μελέτης είναι αιφνίδια πλημμυρικά γεγονότα (flash flood events), δηλαδή γεγονότα μεγάλης έντασης, υψηλής παροχής και μικρής διάρκειας. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά των αντικειμένων που εκτίθενται στην πλημμύρα, έπαιξαν

σημαντικό ρόλο στην επιλογή των πλημμυρικών παραμέτρων για καθένα από τους εξεταζόμενους οικονομικούς τομείς.

Αγροτικός τομέας

Για τον αγροτικό τομέα, η επιλογή των πλημμυρικών παραμέτρων επίπτωσης και αντίστασης βασίστηκε στη γνώμη ειδικών επιστημόνων, πρακτικών γεωπόνων και ερευνητών γεωπόνων από το Πολυτεχνείο Κρήτης, το Ινστιτούτο Ελιάς και Υποτροπικών Φυτών της Κρήτης (ΕΘΙΑΓΕ) και το Κέντρο Ελέγχου και Πιστοποίησης Πολλαπλασιαστικού Υλικού και Ελέγχου Λιπασμάτων (ΚΕΠΠΥΕΛ) στα Χανιά. Αρχικά οργανώθηκαν ατομικές συνεντεύξεις με τους ειδικούς επιστήμονες, ενώ στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν και ομαδικές συναντήσεις, στις οποίες αποφασίστηκαν οι πιο σημαντικές πλημμυρικές παράμετροι, σύμφωνα με το είδος της πλημμύρας μελέτης, τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και τα χαρακτηριστικά των καλλιεργειών που μελετήθηκαν. Οι καλλιέργειες που επιλέχθηκαν προς μελέτη, είναι αυτές που η καλλιέργειά τους είναι πιο εντατική στην περιοχή μελέτης, πιο συγκεκριμένα μελετήθηκαν τα Ελαιόδεντρα, τα Πορτοκαλιόδεντρα και τα Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας στα οποία ανήκουν οι Τοματιές και τα Φυλλώδη λαχανικά.

Το πλημμυρικό γεγονός μελέτης αφορά σε μια αιφνίδια πλημμύρα, η οποία λαμβάνει χώρα σε περιοχή με υψόμετρο από 0 έως 20 m. Η κλίση του εδάφους είναι μικρή (έως 1%), ενώ το νερό της πλημμύρας απομακρύνεται πολύ γρήγορα από το έδαφος είτε επιφανειακά είτε με διήθησή του στο έδαφος. Σύμφωνα με τη γνώμη των ειδικών επιστημόνων, οι πιο σημαντικές πλημμυρικές παράμετροι επίπτωσης θεωρήθηκαν το ύψος, η ταχύτητα του κύματος της πλημμύρας και η εποχή εμφάνισής της, ενώ σημαντική παράμετρο αντίστασης θεωρήθηκε το είδος και η ποικιλία της καλλιέργειας που πλήττεται από την πλημμύρα. Το ύψος του κύματος της πλημμύρας παίζει σημαντικό ρόλο κυρίως για καλλιέργειες φυτών και λαχανικών χαμηλού ύψους. Η ταχύτητα του κύματος της πλημμύρας είναι επίσης σημαντική καθώς υψηλές ταχύτητες νερού μπορούν να ξεριζώσουν δέντρα ή να ξεπλύνουν την αγροτική γη. Τέλος, η εποχή εμφάνισης της πλημμύρας επιδρά άμεσα στο μέγεθος της ζημιάς, που προκαλείται στον αγροτικό τομέα, καθώς η φάση ανάπτυξης μιας καλλιέργειας εξαρτάται κυρίως από την εποχή του χρόνου.

Αστικός τομέας

Για τον αστικό τομέα, η επιλογή των πλημμυρικών παραμέτρων επίπτωσης και αντίστασης βασίστηκε στη βιβλιογραφία και είτε πιστοποιήθηκε, είτε εμπλουτίστηκε από τη γνώμη ειδικών επιστημόνων-ερευνητών, πολιτικών μηχανικών και αρχιτεκτόνων. Μέσα από ατομικές συνεντεύξεις, το ύψος και η ταχύτητα του κύματος θεωρήθηκαν οι πιο σημαντικές παράμετροι επίπτωσης, όπως άλλωστε αναφέρεται και στους Soetanto and Proverbs (2004), Pistrika and Jonkman (2010) και Brémond et al. (2013). Όσο πιο υψηλό το ύψος και η ταχύτητα του κύματος, τόσο πιο ισχυρές είναι οι δυνάμεις άνωσης που ασκούνται στο κτίριο (Kreibich et al. 2009; Merz et al. 2010), οι οποίες μπορούν να κουνήσουν τα κτίρια από τα θεμέλια τους ακόμη και σε σχετικά ρηχά βάθη (Middelmann-Fernandes 2010) και να προκαλέσουν ακόμα και την ολοκληρωτική καταστροφή τους. Επιπλέον ορίστηκαν ως παράμετροι αντίστασης το είδος του κτίσματος, το υλικό κατασκευής του καθώς επίσης και το

είδος θεμελίωσης της κατασκευής. Για την επιλογή του είδους των κτισμάτων που μελετήθηκαν στην παρούσα διδακτορική διατριβή, αναλύθηκαν τα αποτελέσματα της απογραφής οικοδομών και κτιρίων (1^η Δεκεμβρίου 2000), που πραγματοποιήθηκε από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΛΣΤΑΤ), για το υλικό, το έτος κατασκευής και τον αριθμό των ορόφων των κτιρίων του Νομού Χανίων. Συνολικά στο Νομό Χανίων το 52% των κτιρίων είναι από μπετόν, το 39.7% από πέτρα, το 7.6 από τσιμεντότουβλο και το υπόλοιπο 0.7% από άλλα υλικά. Επομένως, στην παρούσα διδακτορική διατριβή μελετήθηκαν

- ✓ κτίσματα με φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα και τοιχοποιία από τούβλο
- ✓ πέτρινα κτίσματα και
- ✓ κτίσματα από τούβλο-τσιμεντότουβλο.

Επιπλέον, σύμφωνα με την παραπάνω απογραφή το 58% των κτιρίων που βρίσκονται στο Νομό Χανίων είναι ισόγεια, το 35% έχουν ένα όροφο, ενώ το υπόλοιπο 7% έχουν από δύο ορόφους και πάνω. Επομένως, στην παρούσα διδακτορική διατριβή μελετήθηκαν ισόγεια σπίτια (έως 3 m), χωρίς υπόγειο. Οι κατηγορίες θεμελίωσης του κτιρίου, ορίστηκαν μέσα από τις συζητήσεις με τους ειδικούς επιστήμονες, οι οποίοι υποστήριξαν ότι τα πέτρινα κτίσματα δε χρειάζονται θεμελίωση, καθώς η πέτρα είναι από μόνη της βαριά κατασκευή. Ομοίως για τα κτίσματα από τσιμεντόλιθο. Αντίθετα, για τα κτίσματα με φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα και τοιχοποιία από τούβλο, χρειάζεται βαθιά θεμελίωση, καθώς η κατασκευή τους είναι λιγότερο ογκώδης. Έτσι τα είδη θεμελίωσης που ορίστηκαν στην παρούσα διδακτορική διατριβή είναι:

- ✓ Βαθιά θεμελίωση για τα κτίσματα με φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα και τοιχοποιία από τούβλο.
- ✓ Επιφανειακή θεμελίωση για τα πέτρινα κτίσματα και τα κτίσματα από τσιμεντόλιθο. Τα κτίσματα αυτά θεωρήθηκε ότι στηρίζονται στο έδαφος ή σε πολύ μικρή βάση στο έδαφος.

Όσον αφορά στην ηλικία του κτιρίου ορίστηκε ότι είναι κτισμένο από το 1960 και έπειτα, καθώς σύμφωνα με την απογραφή της ΕΛΣΤΑΤ, η ηλικία ενός κτίσματος στην Ελλάδα είναι περίπου 50 έτη. Θεωρήθηκε τέλος ότι η υπάρχουσα κατάσταση της κατασκευής είναι καλή.

Σύνδεση πλημμυρικών παραμέτρων με την πλημμυρική ζημιά-χρήση ερωτηματολογίων

Η έλλειψη ιστορικών στοιχείων που να συνδέουν την πλημμυρική ζημιά με τις πλημμυρικές παραμέτρους στην περιοχή μελέτης και σε καθέναν από τους δύο οικονομικούς τομείς μελέτης (αγροτικό και αστικό τομέα), οδήγησε στην εύρεση συνθετικών μεθόδων για τη δημιουργία δεδομένων ζημιάς. Στο πλαίσιο των συνθετικών αυτών μεθόδων δημιουργήθηκαν ερωτηματολόγια, τα οποία βασίστηκαν στην επιστημονική γνώμη, γνώση και εμπειρία ειδικών επιστημόνων και πρακτικών επαγγελματιών.

Αγροτικός τομέας

Ο Ελληνικός Οργανισμός Γεωργικών Ασφαλίσεων (ΕΛΓΑ), υπεύθυνος για τις αποζημιώσεις των αγροτών από τη ζημιά που προκαλείται στις καλλιέργειές τους από μια πλημμύρα, δε διαθέτει δεδομένα που να συνδέουν τη ζημιά που προκλήθηκε από την πλημμύρα με κάποια

πλημμυρική παράμετρο. Δεδομένα ζημιάς συναρτήσει των πλημμυρικών παραμέτρων δε διαθέτουν ούτε οι τοπικές αρχές της περιοχής μελέτης. Γενικότερα τα υπάρχοντα ιστορικά δεδομένα δε συσχετίζουν σε καμία περίπτωση την προκαλούμενη ζημιά με κάποια παράμετρο, με αποτέλεσμα την αναζήτηση συνθετικών μεθόδων, οι οποίες περιλαμβάνουν τη δημιουργία ενός ερωτηματολογίου, με τη βοήθεια των παραπάνω ειδικών επιστημόνων, πρακτικών γεωπόνων και ερευνητών γεωπόνων.

Μέσα από συνεντεύξεις/συζητήσεις μαζί τους, δημιουργήθηκε ερωτηματολόγιο για τον αγροτικό τομέα, το οποίο αποτελείται από τέσσερα ερευνητικά φύλλα εργασίας, ένα για κάθε είδος καλλιέργειας που μελετήθηκε, δηλαδή για τα Ελαιόδεντρα, για τα Πορτοκαλαιόδεντρα και τα Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (Τομάτες και Φυλλώδη λαχανικά). Για την ομαλότερη και ομοιόμορφη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου πραγματοποιήθηκαν κάποιες θεωρήσεις τόσο για το γεγονός πλημμύρας και την περιοχή μελέτης, όσο και για τα είδη καλλιέργειας που μελετήθηκαν, οι οποίες ακολουθούν παρακάτω:

- ✓ Θεωρήθηκαν δύο δενδροειδείς καλλιέργειες (Ελαιόδεντρα και Πορτοκαλαιόδεντρα) και δύο είδη Σύνθετων συστημάτων καλλιέργειας, όπου για λόγους συνέπειας επιλέχθηκε μια καλοκαιρινή καλλιέργεια, η υπαίθρια Τομάτα, και μια ετήσια, το Φυλλώδες λαχανικό.
- ✓ Το ερωτηματολόγιο αναφέρεται σε ένα χωράφι, στο οποίο καλλιεργείται μόνο ένα είδος καλλιέργειας.
- ✓ Λαμβάνεται υπόψη μόνο η άμεση ζημιά που προκαλείται από την πλημμύρα σε κάθε καλλιέργεια μελέτης.
- ✓ Το πλημμυρικό γεγονός μελέτης είναι μια αιφνίδια πλημμύρα, επομένως το νερό της πλημμύρας αποσύρεται γρήγορα από το κατακλυσμένο χωράφι.
- ✓ Η πλημμύρα πραγματοποιείται σε υψόμετρα μέχρι 20 m, ενώ η κλίση του εδάφους είναι περίπου 1%.
- ✓ Το έδαφος της περιοχής μελέτης είναι κυρίως πηλώδες με χαμηλή ή μέτρια διαπερατότητα.
- ✓ Θεωρήθηκε αμελητέα η πιθανότητα πλημμύρας από τον Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο, επομένως οι μήνες αυτοί εξαιρέθηκαν από το ερωτηματολόγιο.

Οι θεωρήσεις για τα είδη καλλιέργειας που μελετήθηκαν και πιο συγκεκριμένα οι θεωρήσεις για τα Ελαιόδεντρα και τα Πορτοκαλαιόδεντρα στηρίχθηκαν στα Εγχειρίδια εκτιμητικής του ΕΛΓΑ για την Ελιά και την Πορτοκαλιά, ενώ ενισχύθηκαν με την επιστημονική γνώμη και εμπειρία των ειδικών γεωπόνων.

- ✓ Ελαιόδεντρα: Εξετάστηκε η ποικιλία ελαιόδεντρων «Κορωνέικη». Τα ελαιόδεντρα θεωρήθηκαν ενήλικα δέντρα (πάνω από 20 χρονών δέντρα). Ο καλλιεργητικός κύκλος της ελιάς περιλάμβανε τα στάδια της άνθησης-καρπόδεσης (Μάης έως Ιούνης), καρποφορίας (Ιουλίου έως Οκτώβριος), συγκομιδής (Νοέμβριος έως Φεβρουάριος) (Εγχειρίδιο Εκτιμητικής για την Ελιά 2003). Επομένως, θωρήθηκε ότι η συγκομιδή πραγματοποιείται μέχρι τον Φλεβάρη. Οι ερωτηθέντες κλήθηκαν να απαντήσουν για την επί τοις εκατό (%) ζημιά που μπορεί να προκληθεί στην παραγωγή ενός ελαιόδεντρου σύμφωνα με συγκεκριμένα σενάρια πλημμυρικών παραμέτρων (Εικ. 3.9), λαμβάνοντας υπόψη τους την παραγωγή από τα τέσσερα τελευταία έτη.

% Ζημιά από πλημμύρα σε Ελαιόδεντρο				
Υψος νερού (m)	Ταχύτητα (m/s)			Χρονική Περίοδος
	Μικρή 0 < v ≤ 0.5	Μεσαία 0.5 < v ≤ 1.5	Μεγάλη 1.5 < v ≤ 4.5	
0 < h ≤ 0.5%%%	Μάρτιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Απρίλιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
Μάιος – Σεπτέμβριος (Θεωρείται μικρή η πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας)				
0 < h ≤ 0.5%%%	Οκτώβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Νοέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Δεκέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Ιανουάριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Φεβρουάριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	

Εικόνα 3.9. Ερωτηματολόγιο για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς σε Ελαιόδεντρο

✓ Πορτοκαλιόδεντρα: Εξετάστηκε η ποικιλία πορτοκαλιόδεντρων «ομφαλοφώρα-Μέρλιν», η οποία αποτελεί πορτοκαλιά χειμερινής ποικιλίας, μια πρώιμη ποικιλία (Εγχειρίδιο Εκτιμητικής για τα Εσπεριδοειδή 2003). Τα Πορτοκαλιόδεντρα θεωρήθηκαν ενήλικα δέντρα (πάνω από 15 χρονών δέντρα). Θεωρήθηκε ότι η συγκομιδή ολοκληρώνεται μέχρι τον Μάρτη. Οι ερωτηθέντες κλήθηκαν να απαντήσουν για την επί τοις εκατό (%) ζημιά που μπορεί να προκληθεί στην παραγωγή ενός Πορτοκαλιόδεντρου σύμφωνα με συγκεκριμένα σενάρια πλημμυρικών παραμέτρων (Εικ. 3.10), λαμβάνοντας υπόψη τους την παραγωγή από τα τέσσερα τελευταία έτη.

✓ Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας: Θεωρήθηκε ότι όταν μια πλημμύρα συμβαίνει Απρίλη, Οκτώβρη ή Νοέμβρη τότε επηρεάζει μόνο τις υπαίθριες Τομάτες, ενώ όταν συμβαίνει τους υπόλοιπους μήνες μελέτης επηρεάζει μόνο τα Φυλλώδη λαχανικά. Πιο αναλυτικά παρουσιάζονται παρακάτω οι θεωρήσεις για καθεμία από τις δυο κατηγορίες Συνθετων συστημάτων καλλιέργειας.

- ✓ Υπαίθριες Τομάτες: Εξετάστηκε ποικιλία πρώιμης τομάτας, η οποία φυτεύεται τον Απρίλιο και θεωρείται ότι έχει συγκομιστεί έως τον Οκτώβρη στο 100% της παραγωγής. Επιπλέον, εξετάστηκε ποικιλία όψιμης τομάτας, η οποία φυτεύεται το καλοκαίρι και τους μήνες Οκτώβρη-Νοέμβρη έχει συγκομιστεί το 70% της παραγωγής. Οι ερωτηθέντες κλήθηκαν να απαντήσουν για την επί τοις εκατό (%) ζημιά που μπορεί να προκληθεί στην παραγωγή μιας τοματιάς σύμφωνα με συγκεκριμένα σενάρια πλημμυρικών παραμέτρων (Εικ. 3.11), λαμβάνοντας υπόψη τους την παραγωγή από τα τέσσερα τελευταία έτη.

% Ζημιά από πλημμύρα σε Πορτοκαλιά				
Υψος νερού σε μέτρα	Ταχύτητα (m/s)			Χρονική Περίοδος
	Μικρή 0 < v ≤ 0.5	Μεσαία 0.5 < v ≤ 1.5	Μεγάλη 1.5 < v ≤ 4.5	
0 < h ≤ 0.5%%%	Μάρτιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Απρίλιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
Μάιος – Σεπτέμβριος (Θεωρείται μικρή η πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας)				
0 < h ≤ 0.5%%%	Οκτώβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Νοέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Δεκέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Ιανουάριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Φεβρουάριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	

Εικόνα 3.10. Ερωτηματολόγιο για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς σε Πορτοκαλαιόδεντρο

- ✓ Φυλλώδη λαχανικά: Επιλέχθηκε το είδος αυτής της καλλιέργειας, διότι αποτελεί ένα λαχανικό το οποίο μπορεί να καρποφορήσει όλο το χρόνο. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή το ερωτηματολόγιο συμπληρώθηκε για όλους τους μήνες μελέτης, ωστόσο

στην πορεία θεωρήθηκε ότι τα Φυλλώδη λαχανικά καρποφορούν από Δεκέμβρη μέχρι Μάρτη (Εικ. 3.12).

% Ζημιά από πλημμύρα σε πρώιμη Τομάτα				
Υψος νερού σε μέτρα	Ταχύτητα (m/s)			Χρονική Περίοδος
	Μικρή 0 < v ≤ 0.5	Μεσαία 0.5 < v ≤ 1.5	Μεγάλη 1.5 < v ≤ 4.5	
0 < h ≤ 0.5%%%	Απρίλιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
Μάιος – Σεπτέμβριος (Θεωρείται μικρή η πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας)				
% Ζημιά από πλημμύρα σε όψιμη Τομάτα				
Μάιος – Σεπτέμβριος (Θεωρείται μικρή η πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας)				
Υψος νερού σε μέτρα	Ταχύτητα (m/s)			Χρονική Περίοδος
	Μικρή 0 < v ≤ 0.5	Μεσαία 0.5 < v ≤ 1.5	Μεγάλη 1.5 < v ≤ 4.5	
0 < h ≤ 0.5%%%	Οκτώβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Νοέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	

Εικόνα 3.11. Ερωτηματολόγιο για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς σε Τοματιά

Στα ερωτηματολόγια διαμορφώνονται σενάρια πλημμύρας, δηλαδή τιμές ύψους και ταχύτητας του κύματος της πλημμύρας, ξεχωριστά σε καθένα από τα κουτάκια που παρουσιάζονται σε κάθε μήνα, στα οποία ο ερωτηθέν καλείται να συμπληρώσει το ποσοστό ζημιάς που εκτιμά ότι θα προκαλέσει το συγκεκριμένο σενάριο πλημμύρας. Η ταχύτητα εμφανίζεται και ως ποσοτική αλλά και ως ποιοτική μεταβλητή και αυτό για να διευκολυνθεί η συμπλήρωση του ερωτηματολογίου για τους υποψήφιους συμμετέχοντες. Οι εκτιμητές συνήθως δεν έχουν αρκετή εμπειρία στο να εκτιμήσουν το μέγεθος της ζημιάς που οφείλεται στην ταχύτητα (Thieken et al. 2005) και επομένως σε αρκετές περιπτώσεις η περιγραφή της περιορίζεται σε περιγραφικές κατηγορίες, όπως για παράδειγμα μικρή, μεσαία, μεγάλη ταχύτητα (Brémond et al. 2013).

Το ερωτηματολόγιο μοιράστηκε σε γεωπόνους πρακτικούς και ερευνητές γεωπόνους από πανεπιστήμια και ερευνητικά ινστιτούτα (Παράρτημα Α). Αρχικά, πενήντα (50) ερωτηματολόγια μοιράστηκαν, από τα οποία τα δεκαπέντε (15) επιστράφηκαν συμπληρωμένα. Οι ειδικοί κλήθηκαν να εκφράσουν την εκτίμησή τους για το ποσοστό της πλημμυρικής ζημιάς που προκαλείται στην καλλιέργεια σε καθένα από τα διαφορετικά σενάρια πλημμυρικών παραμέτρων που διαμορφώνονται στο ερωτηματολόγιο.

% Ζημιά από πλημμύρα σε Φυλλώδες λαχανικό (Μαρούλι)				
Υψος νερού σε μέτρα	Ταχύτητα (m/s)			Χρονική Περίοδος
	Μικρή 0 < v ≤ 0.5	Μεσαία 0.5 < v ≤ 1.5	Μεγάλη 1.5 < v ≤ 4.5	
0 < h ≤ 0.5%%%	Μάρτιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Απρίλιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
Μάιος – Σεπτέμβριος (Θεωρείται μικρή η πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας)				
0 < h ≤ 0.5%%%	Οκτώβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Νοέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Δεκέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Ιανουάριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Φεβρουάριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	

Εικόνα 3.12. Ερωτηματολόγιο για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς σε Φυλλώδες λαχανικό

Ο αριθμός των συμπληρωμένων ερωτηματολογίων (15) δεν ήταν επαρκώς μεγάλος, επομένως το ίδιο ερωτηματολόγιο σχεδιάστηκε σε διαδικτυακή πλατφόρμα, SurveyMonkey (SurveyMonkey 1999-2013), ώστε να δημιουργηθεί μια ηλεκτρονική έρευνα (online survey) στο διαδίκτυο, της οποίας η διανομή θα ήταν ευκολότερη και αμεσότερη. Τα ηλεκτρονικά ερωτηματολόγια που σχεδιάστηκαν για καθεμία από τις καλλιέργειες παρουσιάζονται στις επόμενες ηλεκτρονικές διευθύνσεις:

- ✓ Ελαιόδεντρο (ηλ. διεύθυνση <http://www.surveymonkey.com/s/M8W738W>)
- ✓ Πορτοκαλιόδεντρο (ηλ. διεύθυνση <http://www.surveymonkey.com/s/MLLDLHH>)
- ✓ Τοματιά (ηλ. διεύθυνση <http://www.surveymonkey.com/s/MY2JJG2>)
- ✓ Φυλλώδες λαχανικό (ηλ. διεύθυνση <http://www.surveymonkey.com/s/MYV3FV6>)

ενώ βρίσκονται και στο Παράρτημα Α. Το ηλεκτρονικό ερωτηματολόγιο στάλθηκε σε γεωπόνους πρακτικούς και σε γεωπόνους ερευνητές μέσω διευθύνσεων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (emails), ιστοσελίδων (websites) ή λογαριασμών κοινωνικής δικτύωσης (social

media accounts). Ωστόσο, για να είναι πιο φιλικό στους αποδέκτες, η ζημιά κατατάχθηκε σε πέντε κατηγορίες {1, 2, 3, 4, 5}, με την κατηγορία 1 να αντιστοιχεί σε ασήμαντη ζημιά και την κατηγορία 5 σε ολική ζημιά. Ως εκ τούτου, κρίθηκε ορθό να εξισωθεί η αρχική κατηγοριοποίηση της ζημιάς (ποσοστά), των μη ηλεκτρονικών ερωτηματολογίων, με τη νέα κλίμακα ζημιάς (κατηγορίες 1-5). Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει τη μετατροπή της ποσοστιαίας κατηγοριοποίησης της ζημιάς (στα μη ηλεκτρονικά ερωτηματολόγια) σε κατηγοριοποίηση της κλίμακας ζημιάς 1-5 (στα ηλεκτρονικά ερωτηματολόγια).

Πίνακας 3.1. Εξίσωση κατηγοριοποίησης ζημιάς με ποσοστά και με κλίμακα ζημιάς 1-5

1^{ος} γύρος (μη ηλεκτρονικά ερωτηματολόγια)	2^{ος} γύρος (ηλεκτρονικά ερωτηματολόγια)
Ποσοστιαία κατηγοριοποίηση ζημιάς	Κατηγοριοποίηση με κλίμακα ζημιάς 1-5
0.0 - 20.0%	1
20.1 - 40.0%	2
40.1 - 60.0%	3
60.1 - 80.0%	4
80.1 - 100.0%	5

Συνολικά συλλέχθηκαν είκοσι δύο (22) συμπληρωμένα ερωτηματολόγια (ηλεκτρονικά και μη) για τα Ελαιόδεντρα, είκοσι ένα (21) για τα Πορτοκαλαιόδεντρα, είκοσι έξι (26) για τις Τοματιές και είκοσι (20) για τα Φυλλώδη λαχανικά. Παρατηρήθηκε, επομένως, δυσκολία στη συλλογή δεδομένων ζημιάς μέσα από τα παραπάνω ερωτηματολόγια. Τα ερωτηματολόγια ήταν αρκετά εξειδικευμένα και απαιτούνταν κατά τη συμπλήρωσή τους υψηλή εξειδίκευση και γνώση των υποψήφιων συμμετεχόντων σε θέματα πλημμύρας, πλημμυρικών παραμέτρων και των επιπτώσεών τους στη ζημιά που προκαλείται στις καλλιέργειες.

Αστικός τομέας

Για τον αστικό τομέα, την περιοχή μελέτης και το πλημμυρικό γεγονός μελέτης δε βρέθηκαν ιστορικά δεδομένα που να συνδέουν τη ζημιά που προκλήθηκε στις αστικές κατοικίες με κάποια ή κάποιες πλημμυρικές παραμέτρους επίπτωσης. Επομένως, αναζητήθηκαν συνθετικοί τρόποι για τη σύνδεση της ζημιάς με τις πλημμυρικές παραμέτρους, όπως η δημιουργία ερωτηματολογίου, με τη βοήθεια ειδικών επιστημόνων και ερευνητών, πολιτικών μηχανικών και αρχιτεκτόνων.

Μέσα από συνεντεύξεις που πραγματοποιήθηκαν μαζί τους, σχεδιάστηκε και δημιουργήθηκε στη διαδικτυακή πλατφόρμα, SurveyMonkey (SurveyMonkey 1999-2013), μια ηλεκτρονική έρευνα (online survey) για τον αστικό τομέα. Για την ομαλότερη και πιο ομοιόμορφη συμπλήρωσή του ερωτηματολογίου πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω θεωρήσεις:

✓ Ανάλογα με το υλικό κατασκευής και το είδος θεμελίωσής τους, θεωρήθηκαν τρία είδη κτισμάτων:

- ✓ Κτίσμα με φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα και τοιχοποιία από τούβλο-βαθιά θεμελίωση
- ✓ Πέτρινο κτίσμα-επιφανειακή θεμελίωση
- ✓ Κτίσμα από τούβλο / τσιμεντότουβλο-επιφανειακή θεμελίωση

✓ Κατά την εκτίμηση της ζημιάς, δε λαμβάνεται υπόψη η ζημιά που προκαλείται στα έπιπλα και τις ηλεκτρικές συσκευές, παρά μόνο η ζημιά που αναφέρεται στην κτιριακή κατασκευή, δηλαδή στον φέροντα οργανισμό και στους τοίχους πλήρωσης.

✓ Το κτίσμα θεωρείται ισόγειο, χωρίς υπόγειο και η υπάρχουσα κατάσταση της κατασκευής του κτιρίου θεωρείται καλή. Το κτίσμα θεωρείται ότι έχει κατασκευαστεί μετά το 1960.

Στο ερωτηματολόγιο αυτό (Εικ. 3.13) διαμορφώνονται σενάρια πλημμύρας, δηλαδή τιμές ύψους και ταχύτητας του κύματος της πλημμύρας, ξεχωριστά σε καθένα από τα κουτάκια που παρουσιάζονται, στα οποίο ο ερωτηθέν καλείται να συμπληρώσει την κατηγορία ζημιάς που εκτιμά ότι θα προκαλέσει το συγκεκριμένο σενάριο πλημμύρας. Η κατηγοριοποίηση της ζημιάς πραγματοποιήθηκε με βάση την κλίμακα ζημιάς 1-5, όπου το 1 αντιστοιχεί σε ασήμαντη ζημιά και το 5 σε ολική ζημιά. Και στο συγκεκριμένο σημείο η ταχύτητα εμφανίζεται και ως ποσοτική αλλά και ως ποιοτική μεταβλητή, για την ευκολότερη συμπλήρωσή του. Το ηλεκτρονικό ερωτηματολόγιο βρίσκεται στην ηλεκτρονική διεύθυνση

- ✓ Αστικές χρήσεις γης (ηλ. διεύθυνση <http://www.surveymonkey.com/s/QF6WCDC>)

και στο Παράρτημα Β.

Έρευνα - Ζημιές από πλημμύρα σε αστικές κατοικίες

Οι παρακάτω πίνακες αναφέρονται σε ποτάμια πλημμύρα, μικρής διάρκειας και μεγάλης έντασης, η οποία προκαλεί ζημιές σε κατοικίες που βρίσκονται πλευρικά του ποταμού. Η ζημιά αναφέρεται αποκλειστικά στην κατασκευή του κτιρίου (φέροντα οργανισμό και τοίχους πλήρωσης) με δεδομένο ότι το νερό εισέρχεται στο κτίριο από πάγκες ή παρόδους. Το κτίριο μελέτης έχει κατασκευαστεί μετά το 1960. Η υπάρχουσα κατάσταση της κατασκευής είναι καλή. Το κτίσμα δεν έχει υπόγειο.

Καλό είναι να εκτιμήσετε το ύψος της ζημιάς που μπορεί να προκαλέσει η πλημμύρα στα ακόλουθα είδη κτιρίων ανάλογα με τα δεδομένα σενάρια ύψους και ταχύτητας του νερού της πλημμύρας.

Η ζημιά λαμβάνει τιμές από 1 έως 5 και η κλίμακα έχει ως εξής:

- 1: Ανύψωτη Ζημιά
- 2: Μικρή Ζημιά
- 3: Μέτρια Ζημιά
- 4: Μεγάλη Ζημιά
- 5: Ολική Ζημιά

1. Ζημιά από πλημμύρα σε κατοικία με φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα και τοιχοποιία από τούβλο (βαθιά θεμελίωση)

Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού: Πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού: Πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού: Πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού: Πλημμύρας 2.01 - 3 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού: Πλημμύρας > 3 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>

2. Ζημιά από πλημμύρα σε πέτρινη κατοικία (επιφανειακή θεμελίωση)

Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού: Πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού: Πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού: Πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού: Πλημμύρας 2.01 - 3 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού: Πλημμύρας > 3 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>

3. Ζημιά από πλημμύρα σε κατοικία από τούβλο-τσιμεντότουβλο (επιφανειακή θεμελίωση)

Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού: Πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού: Πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Εικόνα 3.13. Ερωτηματολόγιο για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς στον αστικό τομέα

Το ερωτηματολόγιο στάλθηκε σε πολιτικούς μηχανικούς και αρχιτέκτονες ερευνητές ή ιδιώτες, μέσω διευθύνσεων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (emails), ιστοσελίδων (websites) ή λογαριασμών κοινωνικής δικτύωσης (social media accounts). Συνολικά συλλέχθηκαν προς επεξεργασία σαράντα έξι (46) ερωτηματολόγια για τα κτίσματα με φέροντα οργανισμό από

οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιία από τούβλο, σαράντα έξι (46) για τα πέτρινα κτίσματα και σαράντα έξι (46) για τα κτίσματα από τούβλο-τσιμεντότουβλο.

Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων από τα ερωτηματολόγια

Τα ερωτηματολόγια κατά τη συμπλήρωσή τους απαιτούν υψηλή εξειδίκευση, γνώση και κατάρτιση πάνω σε θέματα πλημμύρας και απώλειας. Παρατηρήθηκε έλλειψη της εξειδίκευσης αυτής, περισσότερο στον αγροτικό και λιγότερο στον αστικό τομέα, με αποτέλεσμα να αναζητηθούν εναλλακτικοί τρόποι απόκτησης δεδομένων που να συνδέουν τις πλημμυρικές παραμέτρους με την προκαλούμενη ζημιά. Οι τρόποι αυτοί παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω και για την υλοποίησή τους προηγήθηκε η στατιστική επεξεργασία των απαντήσεων που δόθηκαν στα συμπληρωμένα ερωτηματολόγια.

Για κάθε οικονομικό τομέα, που μελετήθηκε, υπολογίστηκαν τα ποσοστά εμφάνισης της κάθε κατηγορίας ζημιάς, για καθένα από τα σενάρια πλημμύρας που διαμορφώθηκαν, σύμφωνα με τις απαντήσεις που έδωσαν οι εμπειρογνώμονες, που συμμετείχαν στην παραπάνω έρευνα. Για παράδειγμα, στην περίπτωση όπου η ταχύτητα κύματος ήταν μικρή ($0 \leq v \leq 0.5$ m/s) και το ύψος κύματος επίσης μικρό ($0 \leq h \leq 0.5$ m), αν το 90.91% των συμμετεχόντων απάντησε ότι η ζημιά θα είναι της κατηγορίας 1, ενώ το υπόλοιπο 9.09% αυτών, απάντησε ότι θα είναι της κατηγορίας 2, τότε θεωρήθηκε 0.91 η πιθανότητα εμφάνισης της κατηγορίας ζημιάς 1, 0.09 η πιθανότητα εμφάνισης της κατηγορίας ζημιάς 2 και 0 η πιθανότητα εμφάνισης για καθεμία άλλη κατηγορία ζημιάς. Η πιθανότητα εμφάνισης κάθε κατηγορίας ζημιάς μπορεί αλλιώς να εκφραστεί και ως βάρος (weight).

Ενίσχυση της συνθετικής πληροφορίας ζημιάς με χρήση σταθμισμένης Monte Carlo μεθόδου (Weighted Monte Carlo method)

Monte Carlo μέθοδος

Η μέθοδος Monte Carlo έχει αναγνωριστεί ως μια ισχυρή τεχνική για τη διεκπεραίωση συγκεκριμένων υπολογισμών και κυρίως υπολογισμών που αποδεικνύονται πολύ σύνθετοι αν χρησιμοποιήσουμε μια πιο κλασική μέθοδο (James 1980). Η Monte Carlo μέθοδος χρησιμοποιεί μια τυχαία σειρά αριθμών για να κατασκευάσει ένα δείγμα ενός υποθετικού πληθυσμού, από το οποίο μπορούν να αποκτηθούν στατιστικές εκτιμήσεις μιας παραμέτρου. Επομένως σε μια Monte Carlo μέθοδο γίνεται επαναλαμβανόμενη παραγωγή δείγματος για την απόκτηση αριθμητικών αποτελεσμάτων, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ζητούμενης παραμέτρου. Ένας κώδικας εκτελείται πολλές φορές σύμφωνα με κάποια κατανομή πιθανότητας προκειμένου να εκτιμηθούν οι παράμετροι.

Σταθμισμένη Monte Carlo μέθοδος για την ενίσχυση της συνθετικής πληροφορίας ζημιάς

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, η βάση δεδομένων ζημιάς που αποκτήθηκε από την συνθετική έρευνα των ερωτηματολογίων, ενισχύθηκε με εφαρμογή μιας συνθετικής σταθμισμένης Monte Carlo μαθηματικής μεθόδου. Η μέθοδος αυτή σχεδιάστηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python, στο εξής θα αναφέρεται ως Weighted Monte Carlo μέθοδος (WMC) και το διάγραμμα ροής του εκτελέσιμου κώδικα παρουσιάζεται στο Παράρτημα Γ. Η

μέθοδος αυτή εμπλουτίζει τα συνθετικά δεδομένα ζημιάς χρησιμοποιώντας ως ανατροφοδότηση (feedback) τα συνθετικά δεδομένα των συμπληρωμένων ερωτηματολογίων.

Σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση των ερωτηματολογίων για κάθε οικονομικό τομέα μελέτης, για κάθε κατηγορία αγροτικής χρήσης γης ή για κάθε τύπο αστικού κτίσματος που μελετήθηκε και για κάθε σενάριο πλημμύρας υπολογίστηκε μια πιθανότητα εμφάνισης (βάρος) για κάθε κατηγορίας ζημιάς.

Ο WMC Python κώδικας παράγει μια τυχαία τιμή ύψους κύματος, h , και μια τυχαία τιμή ταχύτητας κύματος, v , στο εύρος των τιμών που έχουν προσδιοριστεί σε καθένα από τα σενάρια των ερωτηματολογίων. Στη συνέχεια, μια κατηγορία ζημιάς $d \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ αντιστοιχίζεται σε κάθε τυχαίο ζεύγος αριθμών που παράγεται (h, v) σύμφωνα με την πιθανότητα εμφάνισης, δηλαδή το βάρος της κάθε κατηγορίας ζημιάς για αυτό το ζευγάρι των πλημμυρικών παραμέτρων. Για παράδειγμα, για το σενάριο μικρής ταχύτητας κύματος ($0 \leq v \leq 0.5$ m/s) και μικρού ύψους κύματος ($0 \leq h \leq 0.5$ m), όπου 0.91 το βάρος της κατηγορίας ζημιάς 1, 0.09 το βάρος της κατηγορίας ζημιάς 2 και 0 το βάρος της κάθε άλλης κατηγορίας ζημιάς, ο WMC κώδικας παράγει μια τυχαία τιμή h από το σύνολο $[0, 0.5)$, μια τυχαία τιμή v από το σύνολο $[0, 0.5)$ και μια τιμή ζημιάς d είτε της κατηγορίας 1 (με βάρος 0.91), είτε της κατηγορίας 2 (με βάρος 0.09). Η Monte Carlo μέθοδος επιτρέπει τη διαδοχική παραγωγή αποτελεσμάτων, με αποτέλεσμα ο Python WMC κώδικας να δύναται να παράγει n ημι-τυχαίες τριάδες (h, v, d) . Η εντολή που χρησιμοποιείται από τον Python κώδικα για την τυχαία παραγωγή των τιμών d και v τιμής είναι η “random.random()”.

Λογιστική παλινδρόμηση

Η λογιστική παλινδρόμηση είναι μια μέθοδος μαθηματικής προσομοίωσης και περιγράφει τη σχέση ανεξάρτητων μεταβλητών με μια διχοτομημένη (dichotomous) εξαρτημένη μεταβλητή (Kleinbaum 2002; Lyon et al. 2006). Το μοντέλο της λογιστικής παλινδρόμησης βασίζεται στη λογιστική συνάρτηση, μια κοινή σιγμοειδή συνάρτηση, η μαθηματική σχέση της οποίας εμφανίζεται στη Εξ. 3.28.

$$p(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)} \quad (3.28)$$

Το γεγονός ότι η λογιστική συνάρτηση $p(x)$ λαμβάνει τιμές ανάμεσα στο 0 και στο 1, είναι ο σημαντικότερος λόγος για τον οποίο χρησιμοποιείται κατά την προσομοίωση πιθανοτήτων (Fatah 2013). Στην περίπτωση της πολυπαραμετρικής λογιστικής παλινδρόμησης (multivariate logistic regression), η λογιστική συνάρτηση εκφράζεται ως:

$$p(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\sum_{k=0}^K a_k x_k)} = \frac{\exp(\sum_{k=0}^K a_k x_k)}{1 + \exp(\sum_{k=0}^K a_k x_k)} \quad (3.29)$$

όπου $p(x)$ είναι η πιθανότητα της εμφάνισης ενός γεγονότος x το οποίο εξαρτάται από K ανεξάρτητες μεταβλητές $\{x_1, x_2, \dots, x_K\}$, $x_0 = 1$, και a_k , $k = 0, \dots, K$, είναι οι άγνωστες λογιστικές παράμετροι, οι οποίες πρέπει να εκτιμηθούν από τις παρατηρήσεις δείγματος (sample observations) (Czepiel 2002; Hosmer et al. 2004).

Ένας εναλλακτικός τρόπος για να εκφράσουμε το μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης είναι χρησιμοποιώντας τον logit μετασχηματισμό της εξαρτημένης μεταβλητής $p(x)$, δηλαδή, τον φυσικό λογάριθμο της πιθανότητας ότι το γεγονός x θα συμβεί:

$$\text{logit}(p(x)) = \ln\left(\frac{p(x)}{1-p(x)}\right) = \sum_{k=0}^K a_k x_k \quad (3.30)$$

Ο στόχος της λογιστικής παλινδρόμησης είναι να παράγει εκτιμήσεις για τις $K + 1$ άγνωστες παραμέτρους a_k μεγιστοποιώντας τη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας που φαίνεται στην Εξ. 3.31.

$$L(\mathbf{a}/y_1, \dots, y_n) = \prod_{i=1}^n (p(x_i))^{y_i} (1 - p(x_i))^{1-y_i} \quad (3.31)$$

όπου n είναι το μέγεθος του δείγματος, δηλαδή ο αριθμός των τριάδων που παράχθηκαν, y_i είναι η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής, που αναφέρεται στη ζημιά, για το i th δείγμα, x_i παριστάνει τις τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών για το i th δείγμα και $p(x_i)$ σχετίζεται με την παράμετρο a_k μέσω της Εξ. 3.30.

Μετά από αναδιάταξη των όρων της Εξ. 3.31 η εξίσωση που πρέπει να μεγιστοποιηθεί γίνεται:

$$L(\mathbf{a}/y_1, \dots, y_n) = \prod_{i=1}^n \left(\frac{p(x_i)}{1-p(x_i)}\right)^{y_i} (1 - p(x_i)) \quad (3.32)$$

Η Εξ. 3.32 σε συνδυασμό με την Εξ. 3.29 συνεπάγονται:

$$L(\mathbf{a}/y_1, \dots, y_n) = \prod_{i=1}^n \left(\exp \left(\sum_{k=0}^K a_k x_k \right) \right)^{y_i} \left(1 - \frac{\exp \left(\sum_{k=0}^K a_k x_k \right)}{1 + \exp \left(\sum_{k=0}^K a_k x_k \right)} \right) \quad (3.33)$$

Η οποία ισοδυναμεί με την:

$$L(\mathbf{a}/y_1, \dots, y_n) = \prod_{i=1}^n \left(\exp \left(y_i \sum_{k=0}^K a_k x_k \right) \right) \left(\frac{1}{1 + \exp \left(\sum_{k=0}^K a_k x_k \right)} \right) \quad (3.34)$$

Η Εξ. 3.34 είναι ο πυρήνας της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας, την οποία και καλούμαστε να μεγιστοποιήσουμε (Czeriel 2002). Καθώς όμως είναι δύσκολο να την παραγωγίσουμε, παίρνουμε τον λογάριθμο της και αφού η λογαριθμική συνάρτηση είναι μονότονη συνάρτηση, το μέγιστο της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας στην Εξ. 3.34 θα είναι και μέγιστο του λογαρίθμου της, και αντίστροφα. Επομένως, παίρνουμε το φυσικό λογάριθμο της συνάρτησης στην Εξ. 3.34:

$$L(\mathbf{a}/y_1, \dots, y_n) = \sum_{i=1}^n \left(y_i \sum_{k=0}^K a_k x_k \right) - \log \left(1 + \exp \left(\sum_{k=0}^K a_k x_k \right) \right) \quad (3.35)$$

και για την εύρεση των κρίσιμων σημείων της συνάρτησης στην Εξ. 3.35, θέτουμε την πρώτη παράγωγο ως προς κάθε μια από τις παραμέτρους a ίση με μηδέν. Παρατηρούμε, ωστόσο, ότι:

$$\frac{\partial}{\partial a_k} \sum_{k=0}^K a_k x_k = x_k \quad (3.36)$$

Οι υπόλοιποι όροι στο παραπάνω άθροισμα δεν εξαρτώνται από την a_k παράμετρο και αντιμετωπίζονται ως σταθερές. Παραγωγίζοντας τη συνάρτηση στην Εξ. 3.35 προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L(\mathbf{a}/y_1, \dots, y_n)}{\partial a_k} &= \sum_{i=1}^n y_i x_k - \frac{1}{1 + \exp \left(\sum_{k=0}^K a_k x_k \right)} \cdot \frac{\partial}{\partial a_k} \left(1 + \exp \left(\sum_{k=0}^K a_k x_k \right) \right) = \\ &= \sum_{i=1}^n y_i x_k - \frac{1}{1 + \exp \left(\sum_{k=0}^K a_k x_k \right)} \cdot \exp \left(\sum_{k=0}^K a_k x_k \right) \cdot \frac{\partial}{\partial a_k} \left(\sum_{k=0}^K a_k x_k \right) = \\ &= \sum_{i=1}^n y_i x_k - \frac{1}{1 + \exp \left(\sum_{k=0}^K a_k x_k \right)} \cdot \exp \left(\sum_{k=0}^K a_k x_k \right) \cdot x_k = \\ &= \sum_{i=1}^n y_i x_k - p(x_i) \cdot x_k \quad (3.37) \end{aligned}$$

Η εκτίμηση της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood estimation) για τις a παραμέτρους προκύπτει θέτοντας κάθε μια από τις $K + 1$ συναρτήσεις της Εξ. 3.37 ίση με μηδέν και λύνοντας στη συνέχεια ως προς a_k .

Κάθε λύση, αν υπάρχει, προσδιορίζει ένα κρίσιμο σημείο, είτε μέγιστο, είτε ελάχιστο. Το κρίσιμο σημείο θα είναι μέγιστο αν ο πίνακας των δεύτερων μερικών παραγώγων είναι αρνητικά ορισμένος, αυτό σημαίνει ότι κάθε διαγώνιο στοιχείο στον πίνακα πρέπει να είναι μικρότερο του μηδενός.

Η γενική μορφή του πίνακα των δεύτερων μερικών παραγώγων είναι:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 L(\mathbf{a}/y_1, \dots, y_n)}{\partial a_k \partial a_{k'}} &= \frac{\partial}{\partial a_{k'}} \sum_{i=1}^n y_i x_k - p(x_i) \cdot x_k \\ \frac{\partial^2 L(\mathbf{a}/y_1, \dots, y_n)}{\partial a_k \partial a_{k'}} &= \frac{\partial}{\partial a_{k'}} \sum_{i=1}^n -p(x_i) \cdot x_k \end{aligned}$$

$$\frac{\partial^2 L(\mathbf{a}/y_1, \dots, y_n)}{\partial a_k \partial a_{k'}} = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot x_k \cdot \frac{\partial}{\partial a_{k'}} \left(\frac{\exp(\sum_{k=0}^K a_k x_k)}{1 + \exp(\sum_{k=0}^K a_k x_k)} \right)$$

$$\frac{\partial^2 L(\mathbf{a}/y_1, \dots, y_n)}{\partial a_k \partial a_{k'}} = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \cdot x_k \cdot (1 - p(x_i)) \cdot x_{k'} \quad (3.38)$$

Η παραγωγή της συνάρτησης στην Εξ. 3.35 συνεπάγεται με ένα σύστημα από $K + 1$ μη γραμμικές εξισώσεις, κάθε μια με $K + 1$ άγνωστες μεταβλητές (Hosmer et al. 2004). Οι εξισώσεις είναι μη γραμμικές, επομένως η λύση του συστήματος, δηλαδή το διάνυσμα των παραμέτρων της παλινδρόμησης, a_k , δε μπορεί να προκύψει αλγεβρικά. Για το λόγο αυτό η λύση υπολογίζεται με την αριθμητική μέθοδο Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS), η οποία αποτελεί έναν αριθμητικό αλγόριθμο που προσεγγίζει τη Newton αριθμητική μέθοδο (Nocedal et al. 1999). Η διαδικασία της λογιστικής παλινδρόμησης που περιγράφεται παραπάνω σχεδιάστηκε, δημιουργήθηκε και εφαρμόστηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Ο κώδικας αυτός θα αναφέρεται στο εξής ως Logistic Regression Python κώδικας (LR) και το διάγραμμα ροής του εκτελέσιμου κώδικα παρουσιάζεται στο Παράρτημα Γ.

Δημιουργία συνθετικών επιφανειών ζημιών

Η δημιουργία των συνθετικών καμπυλών ζημιών είναι η πιο σημαντική διαδικασία κατά τη δημιουργία ενός μοντέλου εκτίμησης πλημμυρικής ζημιάς. Οι καμπύλες ζημιών γενικά δημιουργούνται με τη χρήση μεθόδων ανάλυσης παλινδρόμησης, οι οποίες εφαρμόζονται σε ένα μεγάλο δείγμα δεδομένων ζημιών ή υπολογίζονται από κανονικοποιημένα συνθετικά δεδομένα ζημιών (Yu et al. 2013). Σε εθνικό επίπεδο δεν υπάρχουν ιστορικές καμπύλες ζημιών στις οποίες η ζημιά να εκφράζεται ως συνάρτηση των πλημμυρικών παραμέτρων, ύψος και ταχύτητα κύματος πλημμύρας. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, δημιουργήθηκαν συνθετικές καμπύλες ζημιών, με χρήση των συνθετικών δεδομένων των ερωτηματολογίων και της σταθμισμένης Monte Carlo μεθόδου (WMC). Πιο συγκεκριμένα, οι συνθετικές καμπύλες δημιουργήθηκαν από τις n ημι-τυχαίες τριάδες (h, v, d) , αφού πραγματοποιήθηκε πρώτα η επεξεργασία τους και ανάλυσή τους με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης (LR). Δημιουργήθηκε ένας Python κώδικας, ο Weighted Monte Carlo and Logistic Regression (WMCLR) Python κώδικας, ο οποίος στην ουσία συνέδεσε τους δύο παραπάνω κώδικες, WMC και LR Python κώδικες. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των n τριάδων ζημιών που παράγονται τόσο μεγαλύτερη η ακρίβεια και η συνέπεια των καμπυλών ζημιών που δημιουργούνται από τον WMCLR κώδικα. Στο εξής, ο όρος επιφάνεια ζημιάς (damage surface) θα χρησιμοποιείται στη θέση του όρου καμπύλη ζημιάς (damage curve), καθώς για την οπτικοποίησή τους χρησιμοποιήθηκε μια επιφάνεια. Ο WMCLR Python κώδικας εκτελείται ξεχωριστά για κάθε οικονομικό τομέα και παράγει σε κάθε τρέξιμο μια επιφάνεια ζημιάς για κάθε είδος καλλιέργειας/κτίσματος που μελετάται, αντίστοιχα.

Αγροτικός τομέας

Στον αγροτικό τομέα, ο WMCLR Python κώδικας εκτελείται για κάθε καλλιέργεια μελέτης παράγοντας μια λογιστική επιφάνεια ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για κάθε μήνα εμφάνισης

πλημμύρας. Η επιφάνεια εκφράζει την πλημμυρική ζημιά που προκαλείται στην καλλιέργεια ως συνάρτηση του ύψους και της ταχύτητας του κύματος της πλημμύρας. Ο μήνας του έτους συνδέεται με την φάση ανάπτυξης της καλλιέργειας, τη χρονική στιγμή της πλημμύρας.

Αστικός τομέας

Αντίστοιχα στον αστικό τομέα ο WMCLR Python κώδικας εκτελείται για κάθε κτίσμα μελέτης παράγοντας μια λογιστική επιφάνεια ύψους-ταχύτητας-ζημιάς. Η επιφάνεια εκφράζει την πλημμυρική ζημιά που προκαλείται στην κατασκευή συναρτήσει του ύψους και της ταχύτητας του κύματος της πλημμύρας.

Μοντέλο εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή δημιουργήθηκε ένα τεχνοοικονομικό μοντέλο εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα στον αγροτικό και αστικό τομέα μιας περιοχής, το οποίο σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Δημιουργήθηκαν δυο ξεχωριστά μοντέλα ζημιάς, ένα για τον αγροτικό τομέα, το οποίο αναφέρεται στην πλημμυρική ζημιά που προκαλείται σε αγροτικό περιβάλλον και σε κάθε καλλιέργεια μελέτης, και ένα για τον αστικό τομέα, το οποίο αναφέρεται στην πλημμυρική ζημιά που προκαλείται σε αστικό περιβάλλον και σε κάθε κτίσμα μελέτης. Το τεχνοοικονομικό μοντέλο αλληλεπιδρά με το MIKE FLOOD μοντέλο, με τη βοήθεια του ArcGIS, λαμβάνοντας τα αποτελέσματά του MIKE FLOOD ως δεδομένα εισαγωγής σε κάθε κελί του πλέγματος. Επομένως είναι μοντέλο πλέγματος (grid model), που χρησιμοποιεί τον ίδιο κানাβο με το MIKE FLOOD μοντέλο. Παρακάτω παρουσιάζονται ο τρόπος σχεδιασμού και οι εξισώσεις που περιγράφουν αναλυτικά τα μοντέλα εκτίμησης ζημιάς για τους δυο οικονομικούς τομείς μελέτης, ενώ τα διαγράμματα ροής των δυο εκτελέσιμων κωδίκων παρουσιάζονται στο Παράρτημα Γ.

Αγροτικός τομέας

Το μοντέλο πλέγματος για την εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα στον αγροτικό τομέα, λαμβάνει ως πληροφορία τα αποτελέσματα του MIKE FLOOD μοντέλου, αφού αυτά έχουν μετατραπεί σε δεδομένα καναβου με τη βοήθεια του ArcGIS. Με αυτό τον τρόπο το τεχνοοικονομικό μοντέλο λαμβάνει ως πληροφορία το μέγιστο ύψος του πλημμυρικού κύματος και την αντίστοιχη ταχύτητα στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή όπου το ύψος μεγιστοποιείται, σε κάθε κελί. Παράλληλα, λαμβάνει την πληροφορία για τη χρήση γης από το γεω-χωρικό διανυσματικό αρχείο (shapefile) αγροτικών χρήσεων γης σε ArcGIS περιβάλλον. Στο σημείο αυτό έχει γίνει η υπόθεση ότι η χρήση γης που παρατηρείται στο κέντρο του κάθε κελιού, θεωρείται χρήση γης στο σύνολο του κελιού. Επομένως το τεχνοοικονομικό μοντέλο εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς αλληλεπιδρά άμεσα σε κάθε κελί με τα αποτελέσματα του MIKE FLOOD μοντέλου και του shapefile αρχείου χρήσεων γης. Ο χρήστης εισάγει τον μήνα, στον οποίον πραγματοποιήθηκε η πλημμύρα. Σε κάθε κελί λαμβάνεται άμεσα η πληροφορία για το ποσοστό της ζημιάς που προκαλείται σε αυτό και στην καλλιέργειά του, μέσα από την επιφάνεια ζημιάς του WMCLR κώδικα για τον μήνα αυτό. Σύμφωνα με την Εξ. 3.39 υπολογίζεται η ζημιά ανά μονάδα επιφάνειας σε κάθε κελί του

πλέγματος, ενώ η συνολική αγροτική ζημιά υπολογίζεται σε όλο τον κάναβο αθροίζοντας τις ζημιές σε κάθε κελί με χρήση της Εξ. 3.40.

$$D_{ua}(i, j, m) = C_{uw}(i, j) \cdot Y_{ua}(i, j) \cdot DC(i, j, m) \quad (3.39)$$

$$AD(m) = \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} D_{ua}(i, j, m) \times TA(i, j) \quad (3.40)$$

Η αγροτική ζημιά ανά μονάδα επιφάνειας $D_{ua}(i, j, m)$ σε κάθε κελί (i, j) για τον μήνα m εκφράζεται σε $\text{€} \cdot \text{m}^{-2}$. $C_{uw}(i, j)$ είναι το εκτιμώμενο κόστος ανά μονάδα βάρους της καλλιέργειας ($\text{€} \cdot \text{kg}^{-1}$), $Y_{ua}(i, j)$ είναι η σοδειά που παράγεται ανά μονάδα επιφάνειας της καλλιέργειας σε μια κανονική χρονιά ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) και $DC(i, j, m)$ είναι το ποσοστιαίο μέγεθος της ζημιάς που προκύπτει από τη λογιστική επιφάνεια ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για το κελί (i, j) και τον μήνα m , που δημιουργείται από το WMCLR Python μοντέλο.

Η συνολική αγροτική ζημιά $AD(m)$ για το μήνα m στον οποίο πραγματοποιείται η πλημμύρα (Εξ. 3.40) εκφράζεται σε ευρώ (€). Οι παράμετροι n_i και n_j παριστάνουν τον συνολικό αριθμό των γραμμών και των στηλών του κάναβου, αντίστοιχα, ενώ $TA(i, j)$ είναι η συνολική επιφάνεια του κελιού (i, j) (m^2).

Αστικός τομέας

Το μοντέλο πλέγματος για την εκτίμηση της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα στον αστικό τομέα λαμβάνει ως πληροφορία τα αποτελέσματα του MIKE FLOOD υδρολογικού μοντέλου, αφού έχουν μετατραπεί σε δεδομένα κάναβου με τη βοήθεια του ArcGIS. Με αυτό τον τρόπο το τεχνοοικονομικό μοντέλο λαμβάνει ως πληροφορία το μέγιστο ύψος του πλημμυρικού κύματος και την αντίστοιχη ταχύτητα στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή που το ύψος μεγιστοποιείται, σε κάθε κελί. Παράλληλα, λαμβάνει την πληροφορία για το είδος του κτίσματος από το γεω-χωρικό διανυσματικό αρχείο (shapfile) αστικών χρήσεων γης σε ArcGIS περιβάλλον. Στο σημείο αυτό έχει γίνει η υπόθεση ότι το είδος του κτιρίου που συναντάται στο κέντρο του κελιού, θεωρείται ότι καταλαμβάνει όλο το κελί. Επομένως το τεχνοοικονομικό μοντέλο εκτίμησης της αστικής ζημιάς αλληλεπιδρά άμεσα σε κάθε κελί με τα αποτελέσματα του MIKE FLOOD μοντέλου και του shapfile αρχείου χρήσεων γης. Σε κάθε κελί λαμβάνεται η πληροφορία για το ποσοστό της ζημιάς στο κτίριο του κελιού, μέσα από την επιφάνεια ζημιάς που παρέχει ο WMCLR κώδικας και σύμφωνα με την Εξ. 3.41 υπολογίζεται η συνολική αστική ζημιά του πλέγματος μελέτης.

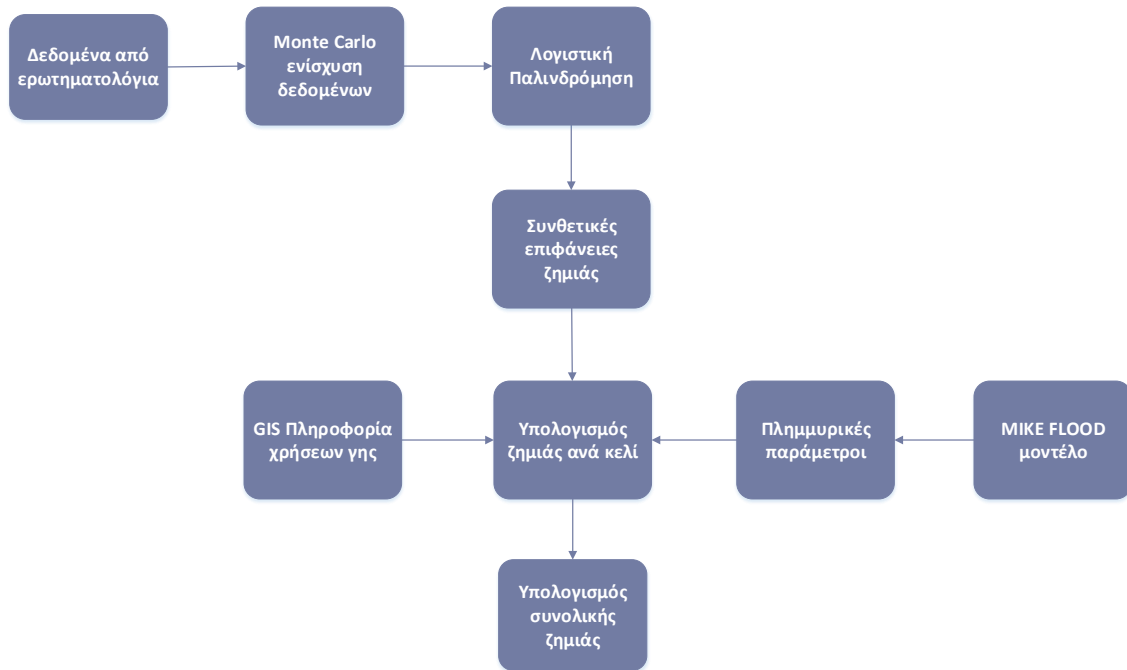
$$UD = \sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^{n_j} EC_{st}(i, j) \cdot TA(i, j) \cdot DC_{st}(i, j) \quad (3.41)$$

Η συνολική αστική ζημιά, UD , εκφράζεται σε ευρώ (€). Οι παράμετροι n_i και n_j παριστάνουν το συνολικό αριθμό των γραμμών και των στηλών του κάναβου, αντίστοιχα, και $TA(i, j)$ είναι η συνολική επιφάνεια του κελιού (i, j) (m^2). Στην Εξ. 3.41, $EC_{st}(i, j)$ είναι το κόστος ανά μονάδα επιφάνειας του κτίσματος ($\text{€} \cdot \text{m}^{-2}$) και $DC_{st}(i, j, k)$ είναι το ποσοστιαίο μέγεθος της

ζημιάς που προκύπτει από την λογιστική επιφάνεια ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για το κελί (i, j) , που δημιουργείται από το WMCLR Python μοντέλο.

Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας

Η παραπάνω μεθοδολογία εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς αποτυπώνεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής (Εικ. 3.14).



Εικόνα 3.14. Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας εκτίμησης πλημμυρικής ζημιάς

Πιστοποίηση μεθοδολογίας εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς

Η πιστοποίηση μιας μεθοδολογίας εκτίμησης της ζημιάς μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση ιστορικών δεδομένων πλημμυρικής ζημιάς. Ωστόσο, σπάνια παρατηρείται η επαλήθευση των μοντέλων εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς και αυτό επειδή είναι σπάνια η συλλογή ιστορικών δεδομένων ζημιάς (Thieken et al. 2008). Υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα δεδομένα είναι διαθέσιμα, ωστόσο, δεν αντιπροσωπεύουν πάντα την πραγματικότητα, καθώς συνδέονται άμεσα με αβεβαιότητες και ασυνέπειες (Taría-Silva et al. 2011). Για παράδειγμα, όπως αναφέρουν σε μια περίπτωση οι Taría-Silva et al. (2011) αποζημιώθηκαν 40 εκτάρια καλλιέργειας που καταστράφηκαν από πλημμύρα, παρόλο που ακόμη 20 εκτάρια καλλιεργειών είχαν επίσης πληγεί από την πλημμύρα αυτή. Γενικά, ο τρόπος συλλογής των δεδομένων ζημιάς και η ποιότητά τους δεν είναι εμφανής (Bubeck and Kreibich 2011), με αποτέλεσμα να υπάρχει σοβαρό πρόβλημα κατά την επαλήθευση ενός μοντέλου ζημιάς.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, δεν υπήρχαν ιστορικά δεδομένα, που να συνδέουν την ζημιά που προκαλείται από μια πλημμύρα με τις παραμέτρους πλημμύρας. Για τον αγροτικό τομέα συγκεκριμένα ο ΕΛΓΑ είναι ο υπεύθυνος οργανισμός για την καταγραφή της ζημιάς που

πραγματοποιείται στις καλλιέργειες και την καταβολή της αντίστοιχης αποζημίωσης που δίνεται στους δικαιούχους αγρότες, επομένως είναι ο μόνος οργανισμός που διαθέτει στοιχεία πλημμυρικής αγροτικής ζημιάς. Η πρώτη προσπάθεια πιστοποίησης του μοντέλου αγροτικής ζημιάς, που παρουσιάζεται στην παρούσα διδακτορική διατριβή, ήταν να συγκριθούν οι εκτιμήσεις του μοντέλου με τα δεδομένα του ΕΛΓΑ που αποτυπώνουν την καταγεγραμμένη πλημμυρική ζημιά. Αποδείχτηκε, ωστόσο, ότι δεν ήταν εφικτή μια τέτοια σύγκριση, καθώς ο ΕΛΓΑ παρέχει πληροφορία μόνο για την οικονομική αποζημίωση που λαμβάνει ο ασφαλισμένος αγρότης για τη ζημιά που προκλήθηκε στις καλλιέργειές του. Επομένως ο ΕΛΓΑ αποζημιώνει μόνο τις ζημιές στα ασφαλισμένα χωράφια και δεν καταγράφει ζημιές στα μη ασφαλισμένα. Επίσης οι εκτιμήσεις του ΕΛΓΑ για τις ζημιές αναφέρονται στο ποσοστό της χαμένης παραγωγής επί της συνολικής παραγωγής και αν αυτό το ποσοστό είναι μικρότερο από το 20% της αναμενόμενης σοδειάς, τότε ο ΕΛΓΑ δεν αποζημιώνει τον ασφαλισμένο αγρότη (Εγχειρίδιο Εκτιμητικής για την Ελιά 2003). Κατά συνέπεια δεν αποζημιώνονται όλοι οι αγρότες, παρόλο που ένα κομμάτι της σοδειάς τους έχει καταστραφεί. Τέλος, για τον αστικό τομέα και το πλημμυρικό γεγονός μελέτης της παρούσας διδακτορικής διατριβής δεν υπάρχει κάποια επίσημη καταγραφή.

Η προσπάθεια πιστοποίησης του μοντέλου εκτίμησης της ζημιάς δεν ήταν εφικτή με τη χρήση ιστορικών δεδομένων. Επομένως, αναζητήθηκε εναλλακτικός τρόπος πιστοποίησης του μοντέλου, με χρήση ανάλυσης αβεβαιότητας. Πιο συγκεκριμένα, μια νέα Monte Carlo διαδικασία δημιουργήθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python, στην οποία ο κώδικας εκτίμησης της ζημιάς εκτελείται διαδοχικές φορές. Οι διαδοχικές εκτιμήσεις ζημιάς που προκύπτουν από τις διαδοχικές εκτελέσεις του κώδικα ζημιάς, αναλύονται στατιστικά ώστε να μελετηθεί και να κατοχυρωθεί η συνέπειά τους.

4.1 Περιγραφή περιοχής μελέτης

Υδρολογική λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αναφέρεται στην υδρολογική λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, η οποία αποτελεί μια Μεσογειακή Κρίσιμη Περιοχή Παρατήρησης (Mediterranean Critical Zone Observatory).

Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη βρίσκεται βορειανατολικά του Νομού Χανίων (Εικ. 4.1) και εκτείνεται από τους πρόποδες των Λευκών Ορέων μέχρι την παράκτια περιοχή του δήμου Αρμένων. Το συνολικό μήκος του υδρογραφικού δικτύου του ποταμού Κοιλιάρη είναι 36 km. Η έκταση της λεκάνης απορροής είναι 130 km². Ο ποταμός Κοιλιάρης τροφοδοτείται από το ασβεστολιθικό καρστικό σύστημα των Λευκών Ορέων, το οποίο εκφορτίζεται μέσω των πηγών του Στύλου στον ποταμό. Ο ποταμός Κοιλιάρης διαθέτει τέσσερεις παραπόταμους από τους οποίους οι δύο είναι προσωρινά υδατορεύματα (Κεραμειανός και Αναβρετή), ενώ οι άλλοι δυο (Μυλαύλακας και Μανταμάς) έχουν μόνιμη ροή από τις πηγές του Στύλου, για όλη τη διάρκεια του έτους και επομένως χαρακτηρίζονται ως μόνιμα υδατορεύματα.

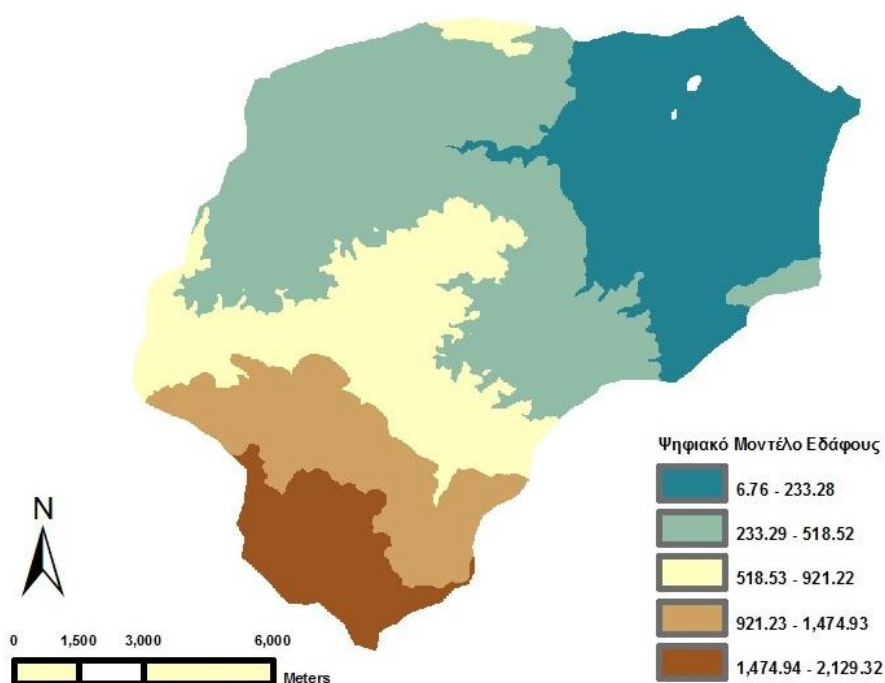


Εικόνα 4.1. Υδρογραφικό δίκτυο και παραπόταμοι Ποταμού Κοιλιάρη

Όλοι οι παραπόταμοι ενώνονται στο σημείο Άγιος Γεώργιος (Εικ. 4.1), ενώ ο παραπόταμος Κεραμιανός ευθύνεται σε πολύ μεγάλο βαθμό για τα πλημμυρικά φαινόμενα στα κατάντη του ποταμού Κοιλιάρη (Κουργιαλάς 2010).

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αναφέρεται στο κομμάτι του ποταμού Κοιλιάρη, το οποίο εκτείνεται από το σημείο ένωσης όλων των παραποτάμων, Άγιος Γεώργιος, (Εικ. 4.1) μέχρι και την εκβολή του ποταμού. Το κομμάτι αυτό έχει μήκος γύρω στα 3.4 km.

Στην υδρολογική λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη το υψόμετρο φτάνει μέχρι και τα 2,041 m. Το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής ποικίλει με μέση κλίση της τάξης του 12%. Στους πρόποδες των Λευκών Ορέων η κλίση προσεγγίζει το 43%, ενώ στην πεδινή έκταση της λεκάνης απορροής, οι κλίσεις είναι σχετικά μικρές, της τάξης του 1%-2%. Το υψόμετρο στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη παρουσιάζεται στην (Εικ. 4.2).



Εικόνα 4.2. Υψόμετρο στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη

Γεωλογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη

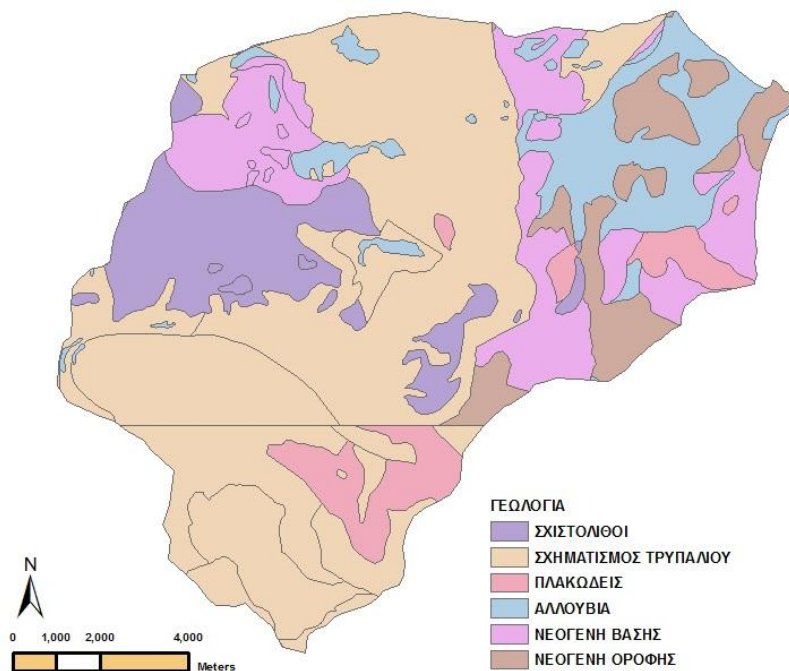
Οι κύριοι γεωλογικοί σχηματισμοί (Εικ. 4.3) που συναντώνται στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη σύμφωνα με τους (Βοζινάκης και Κουγιάννη 2004) είναι:

Ανθρακικά πετρώματα-Μακροπερατά: Στο νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής εντοπίζονται ανθρακικά πετρώματα (νότιο μέρος οικισμών Ραμνής, Κάμπων, Πλατυβόλα, Δρακόνα, Μελιδονίου, Καρών και στο βόρειο-κεντρικό τμήμα της λεκάνης). Τα καρστικά πετρώματα είναι έντονα υδατοπερατά, αποτελούνται από ασβεστολιθικά και δολομιτικά πετρώματα. Με

την επίδραση κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας και το σχηματισμό ανθρακικού οξέος σε συνδυασμό με το νερό, ο ασβεστόλιθος αποσθρώνεται χημικά, διευρύνοντας τις ασυνέχειες και σχηματίζοντας κενά.

Νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα-Μικροπερατά: Παρατηρούνται στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη (οικισμοί Πεμονίων, Παιδοχωρίου, Μαχαιρών, Νέου Χωριού, Καλυβών) και στο βόρειο και βορειοδυτικό τμήμα, παραλιακά της λεκάνης απορροής. Είναι υδατοπερατοί σχηματισμοί.

Φλύσχη-Αδιαπέρατα: Εντοπίζεται στο δυτικό τμήμα της λεκάνης. Τα κύρια πετρώματα της ακολουθίας του φλύσχη είναι ψαμμίτης, αργιλικός σχιστόλιθος, η μάργα και ο ιλυόλιθος. Μπορούν να παρουσιάσουν άργιλοι και ασβεστόλιθοι. Γενικά χαρακτηρίζονται ως σχηματισμοί με μικρή υδατοπερατότητα.



Εικόνα 4.3. Γεωλογία στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη

Υδρογεωλογία της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη

Το γεωλογικό σύστημα του ποταμού Κοιλιάρη τροφοδοτείται κατά κύριο λόγο από τα ανθρακικά πετρώματα της ζώνης Τρυπαλίου και τους πλακώδεις ασβεστόλιθους του Νεογενούς, οι οποίοι βρίσκονται σε τεκτονική επαφή με το παλαιότερο καρστικό σύστημα. Η κυρίως τροφοδοσία των πηγών του ποταμού Κοιλιάρη γίνεται από το καρστικό ασβεστολιθικό σύστημα των Λευκών Ορέων.

Οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι είναι ένα ακόμη σύστημα που τροφοδοτεί τον ποταμό Κοιλιάρη καθώς από τους μαργαϊκούς ασβεστολίθους υπάρχει άμεση απορροή. Οι πηγές που αναβλύζουν στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη εμφανίζονται στην επαφή των αλλουβιακών προσχώσεων με τους μαργαϊκούς ασβεστολίθους.

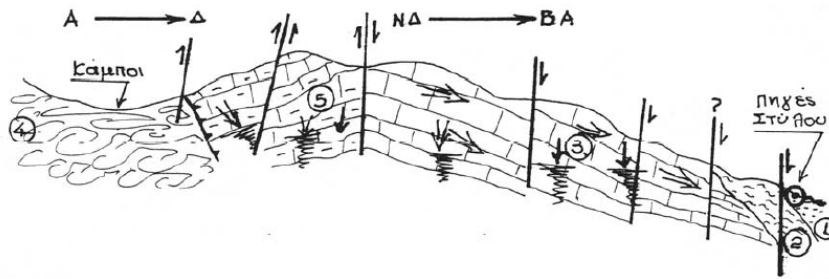
Επιπλέον στην υδροφορία της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη συμβάλλει σημαντικά ο ορεινός όγκος των Λευκών Ορέων, όπου κυριαρχούν τα ανθρακικά πετρώματα που ανήκουν στους δυο βασικούς γεωλογικούς σχηματισμούς: το αυτόχθονο σύστημα (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι) και τα τεκτονικά καλύμματα Τρυπαλίου και Τρίπολης (ασβεστόλιθοι, δολομίτες, ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι) (Βοζινάκης και Κουγιάννη 2004). Η περατότητα των πετρωμάτων σε συνδυασμό με τη γενική δομή των Λευκών Ορέων συντελούν στην ανάπτυξη πληθώρας υπόγειων υδροφοριών με πολύ μεγάλο υδατικό δυναμικό. Επίσης τα κατακρημνίσματα που δέχεται το ορεινό συγκρότημα διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην πλούσια υδροφορία της περιοχής, ενώ δευτερεύοντα ρόλο διαδραματίζουν οι άμεσες απορροές των μετεωρολογικών κατακρημνισμάτων λόγω των μαργαϊκών ασβεστόλιθων. Αποτέλεσμα των παραπάνω υδροφοριών είναι οι αναβλύσεις πηγών σημαντικής παροχής σε ορισμένες ζώνες, στη βάση του ορεινού όγκου. Ανάλογα με τις συνθήκες παροχής των διαφόρων τμημάτων του ορεινού συγκροτήματος διοχετεύεται το νερό σε περιφερειακές υπόγειες υδροφορίες σε χαμηλότερο υψόμετρο και στη συνέχεια τροφοδοτούνται γνωστές πηγές και γεωτρήσεις, μερικές από τις οποίες βρίσκονται στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη.

Στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης απορροής του Κοιλιάρη έχουν καταγραφεί τόσο κύρια γεωλογικά ρήγματα όσο και μικρότερα δευτερεύοντα ρήγματα. Μέσω των ρηγμάτων αυτών η υπόγεια ροή εκφορτίζεται στις πηγές της λεκάνης. Οι πηγές που εκφορτίζουν στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη είναι οι πηγές Στύλου, Αρμένων, Αναβρετής και Ζούρμπου, Βληχάδων και Καλαμίου. Από αυτές μόνο οι πηγές του Στύλου και της Αναβρετής τροφοδοτούν τον ποταμό Κοιλιάρη.

Πηγές Στύλου: Αναβλύζουν σε απόλυτο υψόμετρο 17 m και η εμφάνισή τους οφείλεται στην παρεμπόδιση της ροής του υπόγειου νερού του καρστικού υδροφορέα από τις μαργαϊκές (νεογενείς) αποθέσεις (εξαιτίας τεκτονικής επαφής) (Εικ. 4.4). Οι πηγές του Στύλου θεωρούνται ως τα βασικότερα σημεία εκφόρτισης του καρστικού συστήματος του Δυτικού Αποκόρωνα και μια από τις κυριότερες πηγές τροφοδοσίας του ποταμού Κοιλιάρη. Παρουσιάζουν υψηλές εποχικές διακυμάνσεις στην παροχή τους, η μέση ετήσια εκφόρτισή τους είναι $80 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$ (Υδρολογικά έτη 2005-2009) (Περιφέρεια Κρήτης 2009) και το 90% της συνολικής τους εκροής γίνεται κατά την περίοδο Νοέμβριου-Ιουνίου.

Πηγές Αναβρετής: Είναι περιοδικές πηγές που εκφορτίζουν σε απόλυτο υψόμετρο 24 m, μόνο κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Βρίσκονται στην τοποθεσία Νέο Χωριό. Τα υδρολογικά στοιχεία των πηγών δεν είναι γνωστά.

Πηγές Αρμένων: Είναι οι πιο σημαντικές πηγές στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, ωστόσο δεν τροφοδοτούν τον ποταμό Κοιλιάρη. Βρίσκονται στην τοποθεσία Πλάτανος, Μύλοι και Παναγιά. Η λειτουργία τους είναι όμοια με αυτή των πηγών του Στύλου. Η εκφόρτισή τους πραγματοποιείται σε απόλυτο υψόμετρο 18 m και τροφοδοτούν τον Μεσοπόταμο ποταμό στην περιοχή των Καλυβών.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ:

- 1) Τεταρτογενείς προσχώσεις
- 2) Νεογενή (Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι)
- 3) Ασβεστόλιθοι Δολομίτες του καλύμματος της Τρίπολης
- 4) Φυλλίτες-Χαλαζίτες
- 5) Κρυσταλλικοί πλακώδεις ασβεστόλιθοι

Εικόνα 4.4. Σκαριφηματική γεωλογική τομή ανάντη των πηγών του Στύλου (Πηγή: Χατζηθεοχάρους 2005)

Πηγές Ζούρμπου (ή Ελεωνόρα): Εκφορτίζουν σε πολύ μικρό απόλυτο υψόμετρο, 1-2 m, και βρίσκονται πολύ κοντά στη θάλασσα. Η εκφόρτισή τους είναι σχεδόν ομοιόμορφη όλο το έτος, με πολύ μικρές διακυμάνσεις. Ωστόσο, το νερό της πηγής περιέχει ιόντα χλωρίου και αυτό συμβαίνει εξ' αιτίας του μικρού τους απόλυτου υψομέτρου και της μικρής απόστασής τους από την θάλασσα.

Υφάλμυρες πηγές Βληχάδων: Βρίσκονται 1 km μακριά από την εκβολή του Κοιλιάρη και τροφοδοτούν τον ποταμό Κοιλιάρη. Το νερό των πηγών χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλές συγκεντρώσεις χλωρίου.

Πηγές Καλαμίου: Βρίσκονται στη δυτική άκρη της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, δυτικά της περιοχής Καλάμι. Η εκφόρτισή τους πραγματοποιείται σε απόλυτο υψόμετρο 1 m από την ακτή. Η συγκέντρωση του νερού των πηγών σε χλώριο είναι σταθερή χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις κατά την εκφόρτισή τους.

Κλιματολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη

Το κλίμα στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη είναι ημί-ξηρο. Βροχοπτώσεις και χιονοπτώσεις παρατηρούνται στα μεγάλα υψόμετρα το χειμώνα, ενώ τα καλοκαίρια είναι θερμά και ξηρά. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής είναι 705 mm (χαμηλά υψόμετρα) ενώ στο νότιο τμήμα είναι 2125 mm (ορεινή ζώνη) (Καλογεράκη 2009).

Υδρομετεωρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη

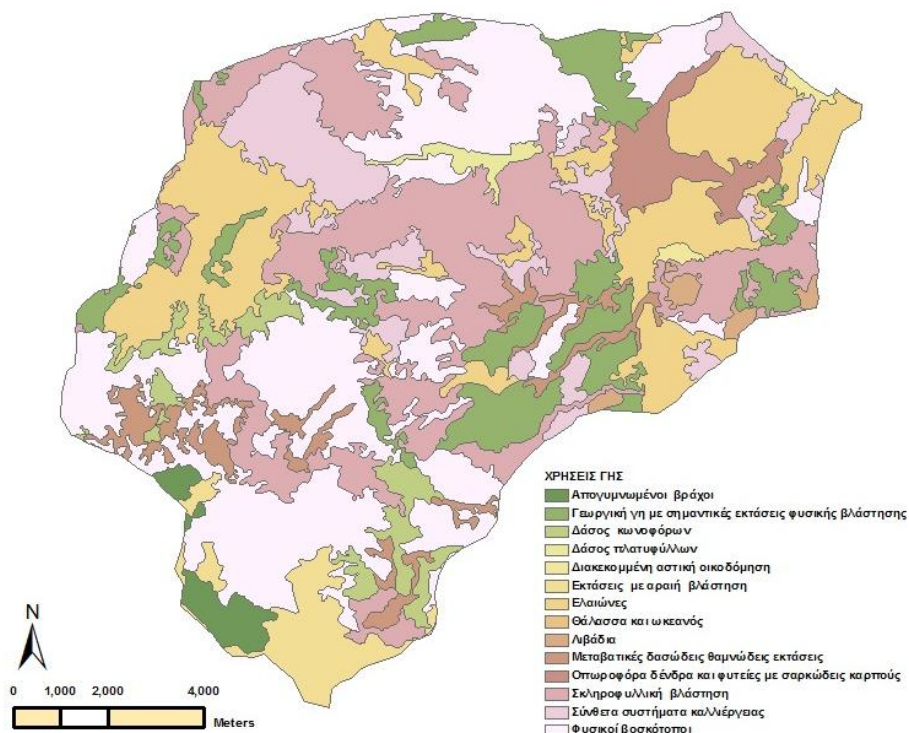
Στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη βρίσκεται σε λειτουργία από το 2005 ο τηλεμετρικός υδρομετρικός σταθμός του Αγίου Γεωργίου (υψόμετρο 20 m) (Εικ. 4.1). Ο τηλεμετρικός αυτός σταθμός καταγράφει την ολική ποσότητα ύδατος που απορρέει στο συγκεκριμένο σημείο της λεκάνης απορροής. Δύο ακόμα τηλεμετρικοί υδρομετρικοί σταθμοί

έχουν εγκατασταθεί από το 2007 στον παραπόταμο Κεραμιανό, ένας στην είσοδο (υδρομετρικός σταθμός Φαράγγι σε απόλυτο υψόμετρο 210 m) και ένας στην έξοδο (υδρομετρικός σταθμός Στύλος σε απόλυτο υψόμετρο 30 m) του καρστικού φαραγγιού του Δικτάμου. Οι δυο αυτοί σταθμοί τοποθετήθηκαν στα στρατηγικά αυτά σημεία καθώς ο παραπόταμος Κεραμιανός ευθύνεται κυρίως για πλημμυρικά φαινόμενα στα κατάντη του ποταμού Κοιλιάρη.

Τα μετεωρολογικά στοιχεία των ετών 1975-2007 για τη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη, έχουν προέλθει από το μετεωρολογικό σταθμό των Καλυβών (υψόμετρο 24 m) και διατίθενται από τη Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων της Νομαρχίας Χανίων. Τον Ιούλιο του 2007 εγκαταστάθηκαν δυο επιπλέον τηλεμετρικοί μετεωρολογικοί σταθμοί, ένας στην περιοχή Σαμωνά (απόλυτο υψόμετρο 385 m) και ένας ακόμη στην περιοχή Ψυχρό Πηγάδι (απόλυτο υψόμετρο 1000 m) (Κουργιαλάς 2010).

Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη

Με βάση τα στοιχεία του Υπουργείου Γεωργίας και του προγράμματος Corine 2000 οι χρήσεις γης που παρατηρούνται στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη παρουσιάζονται στην Εικ. 4.5. Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται περιοχή έντονης αγροτικής δραστηριότητας, καθώς ένα μεγάλο κομμάτι της καλύπτεται από Ελαιώνες, Πορτοκαλαιώνες και Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας.



Εικόνα 4.5. Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη

4.2 Περιγραφή πλημμυρικού γεγονότος μελέτης

Το πλημμυρικό γεγονός που μελετήθηκε στην παρούσα διδακτορική διατριβή ήταν απόρροια της μοντελοποίησης της υδρολογίας του ποταμού Κοιλιάρη, που πραγματοποιήθηκε σε προηγούμενη διδακτορική διατριβή (Κουργιαλάς 2010). Η διατριβή αυτή συνέβαλλε στην πρόβλεψη πλημμυρικού φαινομένου με χρήση μαθηματικών μοντέλων και GIS. Η μοντελοποίηση της υδρολογίας της λεκάνης απορροής του ποταμού Κοιλιάρη πραγματοποιήθηκε με χρήση του υδρολογικού μοντέλου HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran), ενός Matlab-Maillet καρστικού μοντέλου δύο ταμιευτήρων, ενός μοντέλου που βασίζεται στο GIS και αποτελεί ένα ενεργειακό ισοζύγιο του ρυθμού τήξης του χιονιού (GIS-based energy budget snow melt rate model) και ενός εμπειρικού καρστικού μοντέλου ροής σε ανοιχτό αγωγό (empirical karstic channel flow model) (Κουργιαλάς 2010). Το μοντέλο αυτό εφαρμόστηκε σε πολύπλοκες γεωμορφολογικά λεκάνες απορροής, όπως αυτή του ποταμού Κοιλιάρη και αποτέλεσε ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την πρόβλεψη στιγμιαίων πλημμυρικών φαινομένων στην περιοχή μελέτης (Kourgialas et al. 2010; Kourgialas et al. 2012). Το μοντέλο αυτό μπορεί να συμβάλλει στη δημιουργία ενός πλαισίου ορθής διαχείρισης του υδατικού δυναμικού της περιοχής μελέτης με κύριο στόχο την αντιμετώπιση ή την αποφυγή καταστάσεων που σχετίζονται με πλημμύρες. Σύμφωνα με το παραπάνω μοντέλο, προκύπτει η χρονοσειρά της παροχής του πλημμυρικού γεγονότος της 11^{ης}-12^{ης} Φεβρουαρίου 2003 στον ποταμό Κοιλιάρη, στο σημείο ένωσης όλων των παραποτάμων του ποταμού Κοιλιάρη, στον Άγιο Γεώργιο. Σύμφωνα με το παραπάνω μοντέλο το πλημμυρικό γεγονός που μελετήθηκε στην παρούσα διδακτορική διατριβή περιγράφεται από τη χρονοσειρά της πλημμυρικής παροχής (Εικ. 4.6α) καθώς επίσης και τη χρονοσειρά της ισοδύναμης στάθμης (Εικ. 4.6β), η οποία προέκυψε με γραμμική παρεμβολή της στάθμης με την παροχή στην περιοχή του Άγιου Γεωργίου (Κουργιαλάς 2010).

4.3 Προετοιμασία δεδομένων

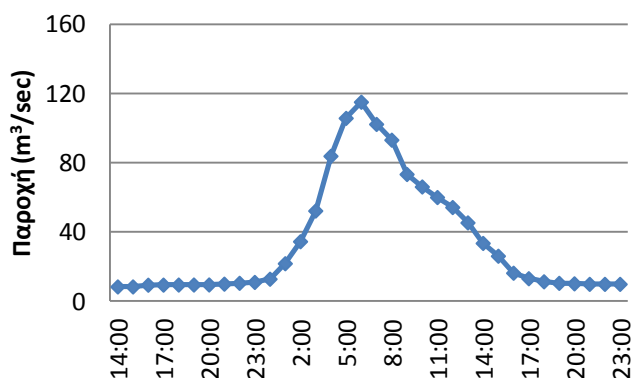
Προετοιμασία δεδομένων για το MIKE FLOOD υδρολογικό μοντέλο

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά η συλλογή των απαιτούμενων χωρικών και χρονικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη μοντελοποίηση της προς μελέτη πλημμύρας της 11^{ης}-12^{ης} Φεβρουαρίου, 2003, με χρήση του MIKE FLOOD υδρολογικού μοντέλου.

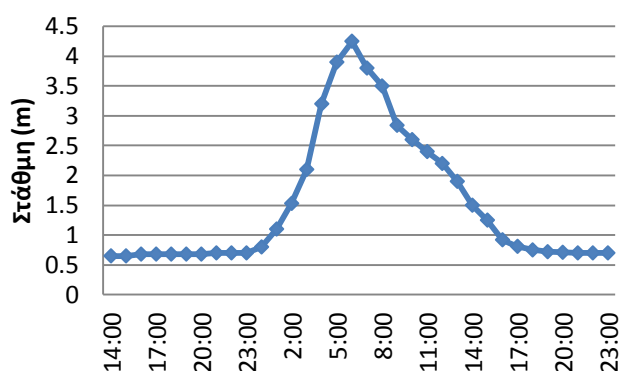
Σημαντικό προβληματισμό κατά τη διδιάστατη προσομοίωση μιας πλημμύρας αποτελεί η επιλογή της διάστασης του κελιού που θα χρησιμοποιηθεί στο πλέγμα του μοντέλου. Η διάσταση του κελιού μπορεί να ποικίλει από 25 m x 25 m (Pistrika 2010), έως και 2 m x 2 m (Ernst et al. 2010) ή ακόμη και 1 m x 1 m (Kreibich et al. 2009). Στην παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματοποιήθηκε η μοντελοποίηση της πλημμύρας μελέτης με χρήση του MIKE FLOOD μοντέλου αρχικά για μοντέλο πλέγματος με κελί διάστασης 10 m x 10 m και στη συνέχεια για πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m. Το πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m δημιουργήθηκε για τις ανάγκες του τεχνοοικονομικού μοντέλου εκτίμησης της αστικής ζημιάς, όπου συνίσταται το κελί να καταλαμβάνει μικρή επιφάνεια και η ροή να αναπαριστάται σε κλίμακα μεμονωμένων κτιρίων.

Time	1:Discharge [m ³ /s]	2:Water Level [meter]
11/2/03 14:00:00	8.4	0.65
11/2/03 15:00:00	8.41	0.65
11/2/03 16:00:00	9.4	0.68
11/2/03 17:00:00	9.45	0.68
11/2/03 18:00:00	9.5	0.68
11/2/03 19:00:00	9.51	0.68
11/2/03 20:00:00	9.55	0.68
11/2/03 21:00:00	10	0.7
11/2/03 22:00:00	10.5	0.7
11/2/03 23:00:00	11	0.7
12/2/03 00:00:00	12.85	0.8
12/2/03 1:00:00	21.8	1.1
12/2/03 2:00:00	34.5	1.53
12/2/03 3:00:00	52.21	2.1
12/2/03 4:00:00	83.81	3.2
12/2/03 5:00:00	105.7	3.9
12/2/03 6:00:00	115	4.25
12/2/03 7:00:00	102.2	3.8
12/2/03 8:00:00	93.1	3.5
12/2/03 9:00:00	73.3	2.84
12/2/03 10:00:00	66.1	2.6
12/2/03 11:00:00	60	2.4
12/2/03 12:00:00	54.22	2.2
12/2/03 13:00:00	45.35	1.9
12/2/03 14:00:00	33.51	1.5
12/2/03 15:00:00	26.12	1.25
12/2/03 16:00:00	16.32	0.92
12/2/03 17:00:00	13.14	0.81
12/2/03 18:00:00	11.36	0.75
12/2/03 19:00:00	10.48	0.72
12/2/03 20:00:00	10.19	0.71
12/2/03 21:00:00	9.9	0.7
12/2/03 22:00:00	9.9	0.7
12/2/03 23:00:00	9.9	0.7

α. Πλημμυρική παροχή (11-12/2/2003)



β. Ισοδύναμη στάθμη (11-12/2/2003)

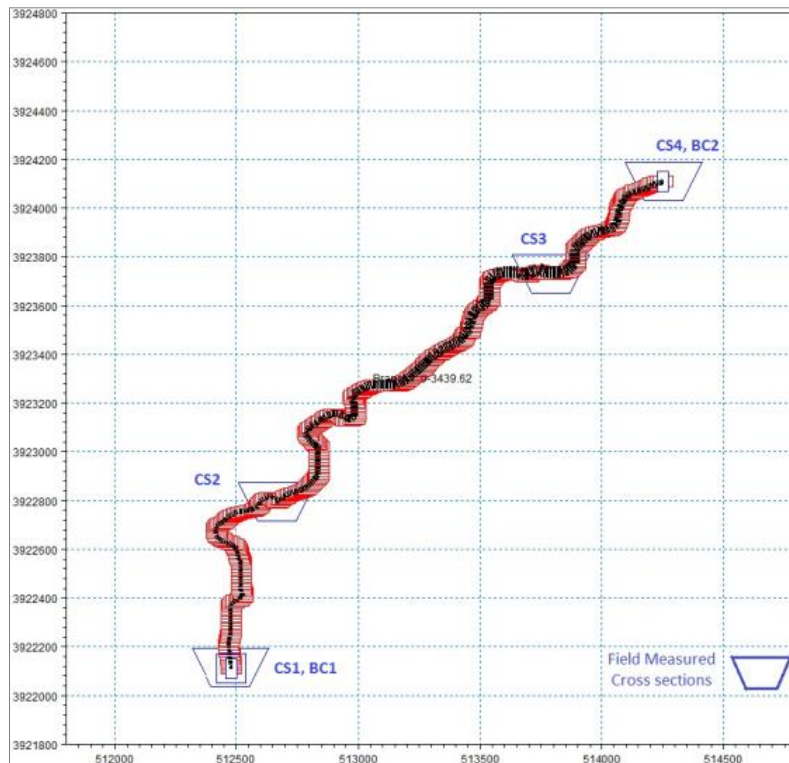


Εικόνα 4.6. Χρονοσειρές πλημμυρικής παροχής και ισοδύναμης στάθμης (11^{ης}-12^{ης} Φεβρουαρίου, 2003)

MIKE 11

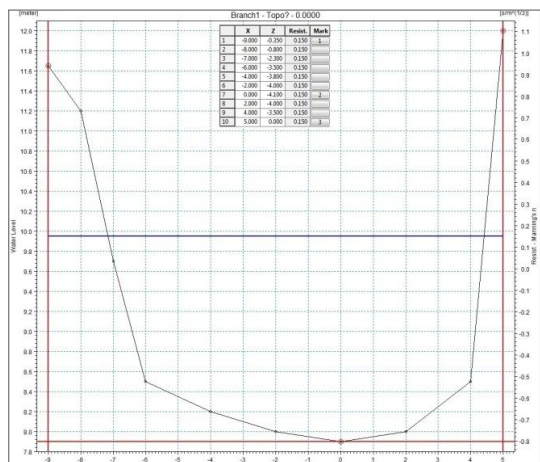
Τα βασικά δεδομένα εισόδου που απαιτούνται κατά τη διαδικασία παραμετροποίησης του MIKE 11 μοντέλου είναι

Το δίκτυο του ποταμού (river network). Το κομμάτι του ποταμού που μοντελοποιήθηκε στην παρούσα διδακτορική διατριβή είναι το κομμάτι που εκτείνεται από το σημείο ένωσης όλων των παραποτάμων του Κουλιάρη μέχρι και την εκβολή του ποταμού, με συνολικό μήκος 3.4 km (Εικ. 4.7).

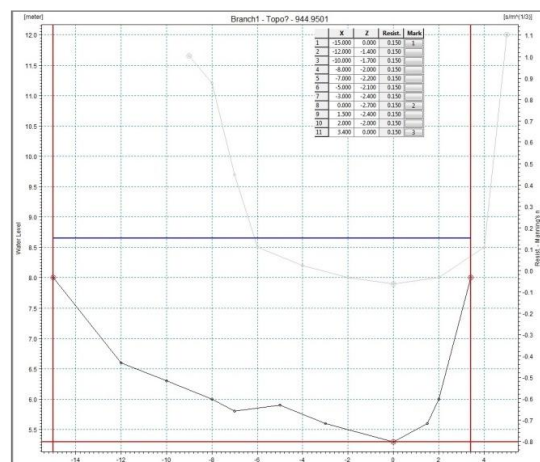


Εικόνα 4.7. Δίκτυο ποταμού Κουλιάρη, θέση μετρημένων διατομών και οριακές συνθήκες

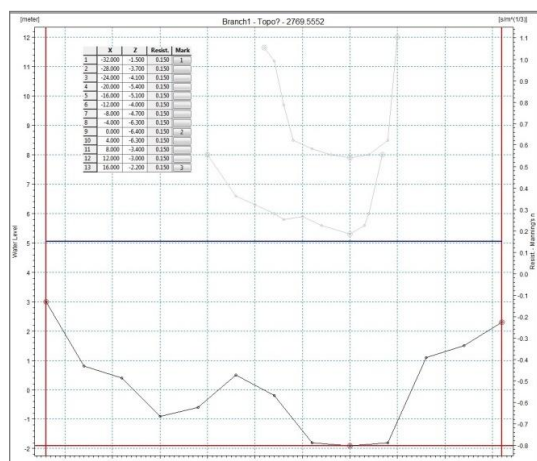
Χωρική πληροφορία για τις διατομές του ποταμού (river channel cross section). Βασικό δεδομένο εισόδου στη μονοδιάστατη μοντελοποίηση ενός ποτάμιου συστήματος είναι η αποτύπωση του γεωμετρικού του υπόβαθρου. Η αποτύπωση της γεωμετρίας της διατομής (εδάφους) πραγματοποιήθηκε με τοπογραφικές μετρήσεις πεδίου σε τέσσερις διατομές του δικτύου, με ονομασία CS1 (Εικ. 4.8α), CS2 (Εικ. 4.8β), CS3 (Εικ. 4.8γ), CS4 (Εικ. 4.8δ), αντίστοιχα, στις οποίες η πρόσβαση ήταν εφικτή. Η θέση των σημείων αυτών αναπαριστάται στην Εικ. 4.7 και η αποτύπωση της γεωμετρίας κάθε διατομής παρουσιάζεται στην Εικ. 4.8.



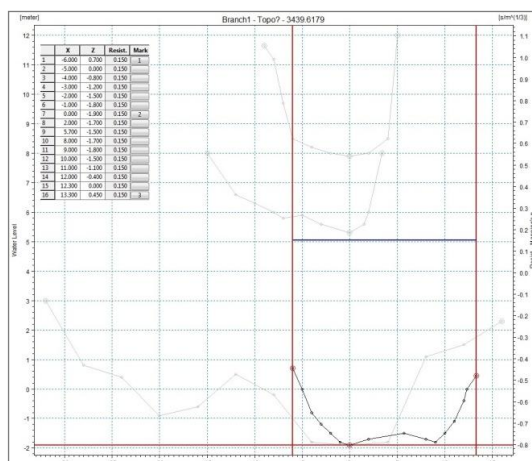
α. Διατομή CS1, Άγιος Γεώργιος



β. Διατομή CS2, 0.95 km από Άγιο Γεώργιο



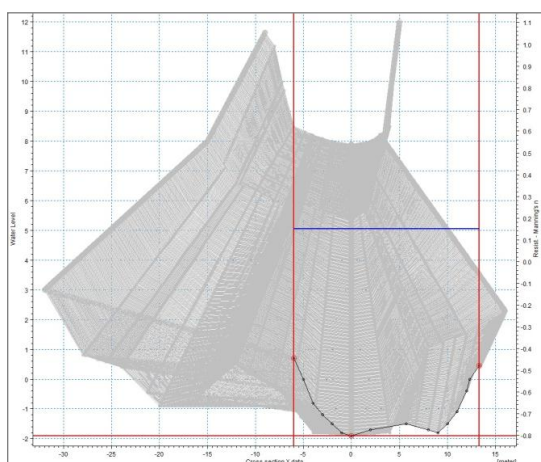
γ. Διατομή CS3, 2.77 km από Άγιο Γεώργιο



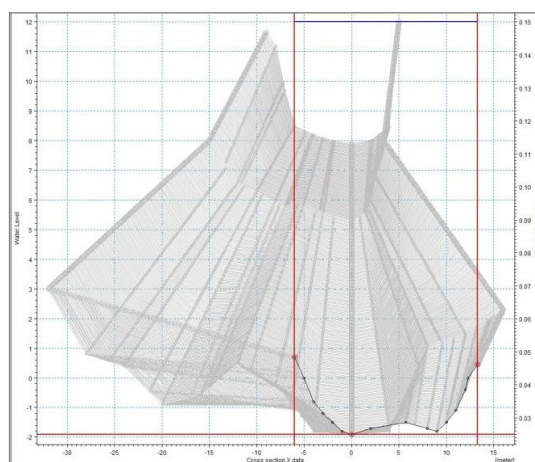
δ. Διατομή CS4, Εκβολή 3.44 km από Άγιο Γεώργιο

Εικόνα 4.8. Γεωμετρία των διατομών που προέκυψαν από τοπογραφικές μετρήσεις πεδίου

Το μοντέλο MIKE 11 παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας ενδιάμεσων διατομών με τη μέθοδο της παρεμβολής (interpolation) από τις μετρημένες διατομές. Η μέθοδος της παρεμβολής που χρησιμοποιείται από το μοντέλο είναι η μέθοδος της μέγιστης απόστασης (max.distance). Στο σημείο αυτό θα έπρεπε να σημειωθεί ότι οι συνθήκες της παρεμβολής που πραγματοποιήθηκε σε καθένα από τα δύο μοντέλα ήταν διαφορετικές, καθώς προτείνεται οι παρεμβαλλόμενες διατομές να έχουν απόσταση μεταξύ τους ίση με αυτή της διάστασης του κελιού. Δηλαδή, για το μοντέλο με κελί 5 m x 5 m, η παρεμβολή των ενδιάμεσων διατομών πραγματοποιήθηκε ανά 5 m (Εικ. 4.9α), ενώ για το μοντέλο με κελί διάστασης 10 m x 10 m, η παρεμβολή των ενδιάμεσων διατομών πραγματοποιήθηκε ανά 10 m (Εικ. 4.9β).



α. Κελί διάστασης 5 m x 5 m

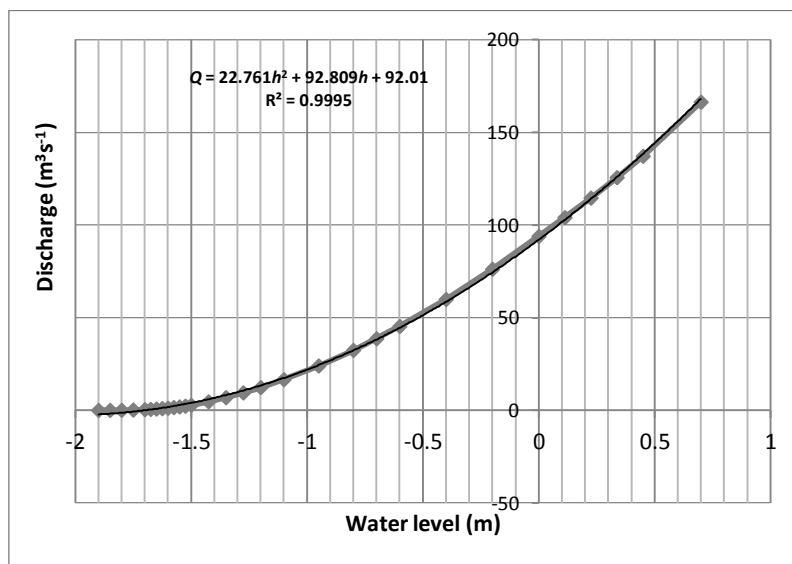


β. Κελί διάστασης 10 m x 10 m

Εικόνα 4.9. Παρεμβολή ενδιάμεσων διατομών

Σε κάθε μια διατομή που μετρήθηκε με τοπογραφικές μετρήσεις πεδίου, ορίστηκε ένας αριθμός που αντιπροσωπεύει τον συντελεστή Manning, n , ή συντελεστή τραχύτητας. Ο συντελεστής Manning περιγράφει τον βαθμό αντίστασης της ροής και επομένως προσδιορίζει την πλημμύρα και την επιφανειακή απορροή που προκύπτει από αυτήν. Είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους του μοντέλου και αποτελεί και παράμετρο βαθμονόμησης. Οι τιμές του συντελεστή Manning που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διδακτορική διατριβή κυμαίνονται από 0.025 έως 0.15. Για τις υπόλοιπες παρεμβλλόμενες διατομές, το μοντέλο πραγματοποίησε παρεμβολή (interpolation) από τις δοσμένες τιμές του συντελεστή τραχύτητας στις μετρημένες διατομές.

Οριακές συνθήκες (Boundary conditions). Ως οριακές συνθήκες θεωρήθηκαν στα ανάντη η χρονοσειρά της παροχής Q από το μοντέλο HSPF που συνδυάστηκε με το Matlab-Maillet καρστικό μοντέλο, με το GIS μοντέλο του ενεργειακού ισοζυγίου για το ρυθμό τήξης χιονιού και το εμπειρικό καρστικό μοντέλο ροής σε ανοιχτό αγωγό (empirical karstic channel flow model) (Κουργιαλάς 2010). Στα κατόντη θεωρήθηκε ως οριακή συνθήκη η καμπύλη στάθμης-παροχής (rating curve) που παρέχει αυτόματα το υδρολογικό μοντέλο MIKE 11 (MIKE 11 User Guide 2011) (Εικ. 4.10).



Εικόνα 4.10. Καμπύλη στάθμης παροχής στην εκβολή, στα κατόντη του ποταμού Κοιλιάρη

MIKE 21

Τα βασικά δεδομένα εισόδου για το MIKE 21 μοντέλο για το υδροδυναμικό κομμάτι που χρησιμοποιήθηκε είναι

Βαθυμετρία. Το αρχείο της βαθυμετρίας είναι το πιο σημαντικό δεδομένο εισόδου σε μια διδιάστατη μοντελοποίηση (Büchle et al. 2006; MIKE 21 Scientific Documentation 2011; Penning-Rowsell et al. 2005). Για τη δημιουργία της βαθυμετρίας χρησιμοποιούνται τα τοπογραφικά δεδομένα, τα οποία περιγράφουν το ανάγλυφο της πλημμυρικής κοίτης (floodplains) ενός ποτάμιου συστήματος, τα οποία μπορεί να προέρχονται από δορυφόρους, από υψομετρικές μετρήσεις πεδίου, από δεδομένα ψηφιακού μοντέλου εδάφους ή από

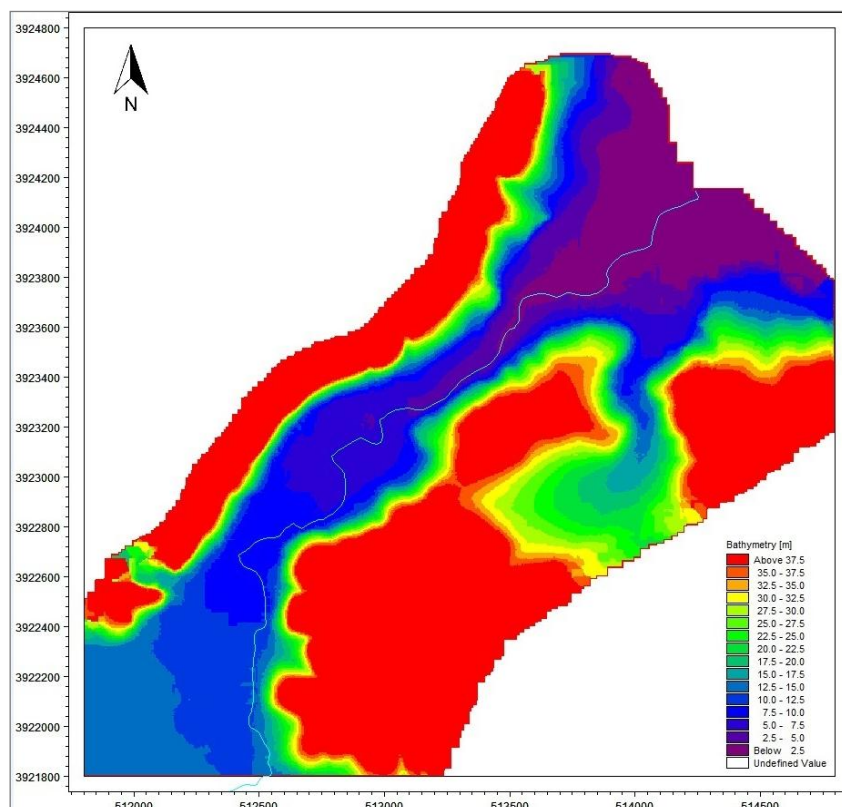
τοπογραφικούς χάρτες. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή η λεπτομερής πληροφορία για την τοπογραφία της περιοχής μελέτης, ψηφιοποιήθηκε σε περιβάλλον ArcGIS με χρήση των δεδομένων των τοπογραφικών χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (κλίμακα ανάλυσης 1:5000), για την περιοχή μελέτης. Με αυτό τον τρόπο δημιουργήθηκε ένα γραμμικό διανυσματικό αρχείο (polyline shapfile) αρχείο της τοπογραφίας της περιοχής μελέτης με χρήση λεπτομερούς κλίμακας ανάλυσης (Εικ. 4.11).

Στη συνέχεια το γραμμικό διανυσματικό αρχείο (polyline shapfile) υψομέτρων μετατράπηκε σε σημειακό διανυσματικό αρχείο (point shapfile), στο οποίο ενσωματώθηκαν και οι σημειακές τιμές των υψομέτρων από στοιχεία των 1:5000 χαρτών της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. Έγινε εισαγωγή του τελικού σημειακού διανυσματικού αρχείου στο μοντέλο MIKE 21 και με τη μέθοδο της διγραμμικής παρεμβολής (bilinear interpolation) δημιουργήθηκε πληροφορία για τα ενδιάμεσα υψόμετρα. Το MIKE 21 παράγει δεδομένα παρεμβολής με ακτίνα (search radius) 5 m για το μοντέλο με το κελί διάστασης 5 m x 5 m κελί, ενώ για το κελί διάστασης 10 m x 10 m κελί παράγει δεδομένα παρεμβολής με ακτίνα (search radius) 10 m.

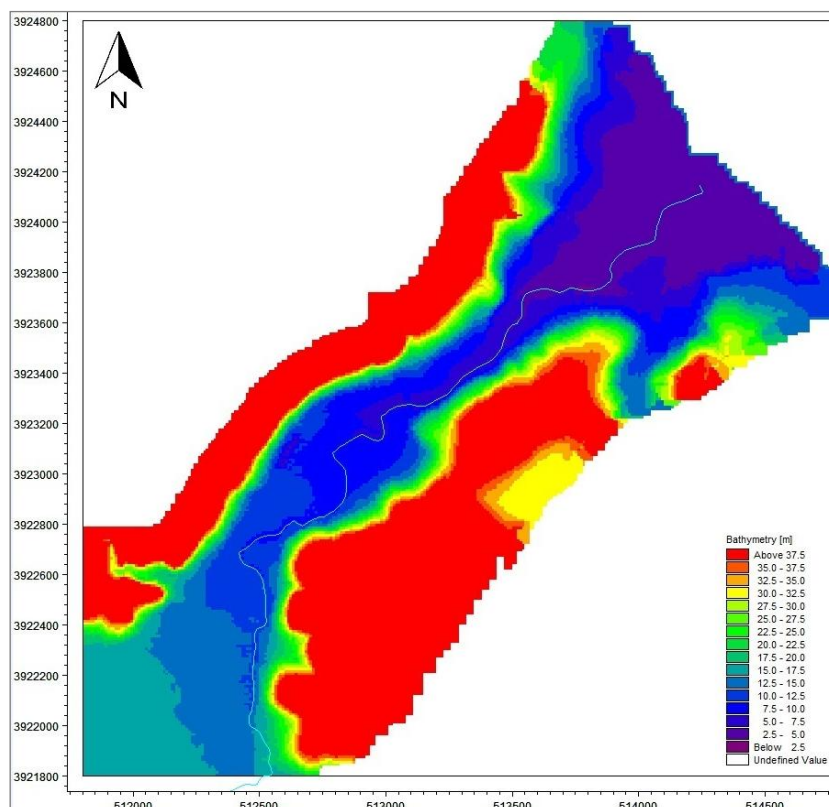


Εικόνα 4.11. Ψηφιοποίηση τοπογραφίας από τοπογραφικούς χάρτες Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού για την περιοχή μελέτης (κλίμακα ανάλυσης 1: 5000)

Τα αρχεία βαθυμετρίας για το μοντέλο με κελί διάστασης 5 m x 5 m και 10 m x 10 m παρουσιάζονται στις Εικ. 4.12 και Εικ. 4.13, αντίστοιχα.



Εικόνα 4.12. Βαθυμετρία περιοχής μελέτης, κελί διάστασης 5 m x 5 m

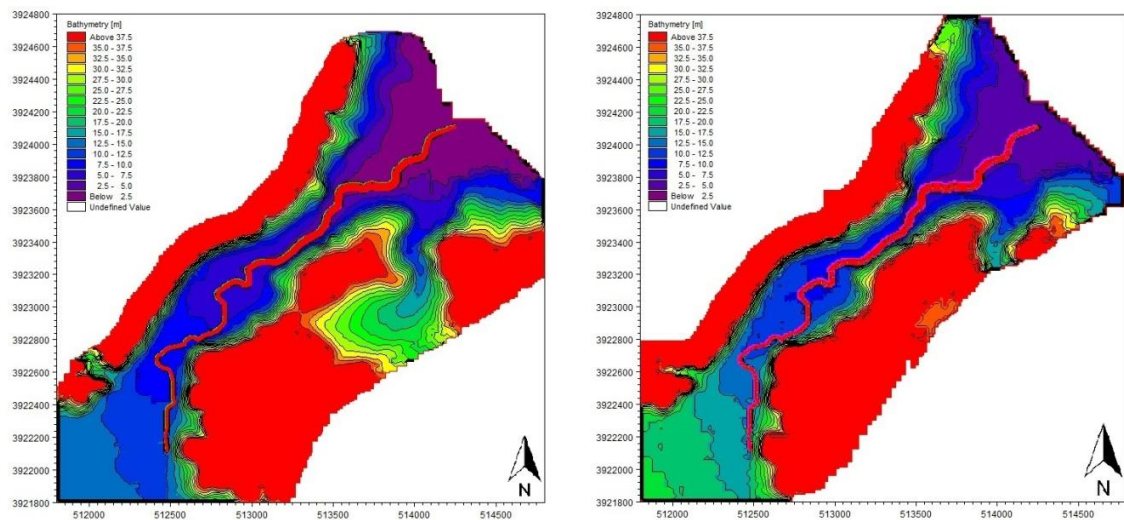


Εικόνα 4.13. Βαθυμετρία περιοχής μελέτης, κελί διάστασης 10 m x 10 m

Οριακές συνθήκες. Ως οριακές συνθήκες ορίζονται υψομετρικές συνθήκες στο αρχείο της βαθυμετρίας. Εισάγεται, επομένως γύρω από το όριο του αρχείου της βαθυμετρίας, μια τιμή υψομέτρου «land value» η οποία εξασφαλίζει ότι δεν υπάρχουν εισροές και εκροές νερού από και προς την περιοχή μελέτης. Επίσης στο ποτάμι του MIKE 11 εισάγεται η ίδια αυτή τιμή «land value», ώστε να αποκλειστεί η μοντελοποίηση του ποταμού από το MIKE 21 και να μην υπάρχει διπλή παροχетеυτικότητα ανάμεσα στα δυο μοντέλα.

MIKE FLOOD

Στο MIKE FLOOD μοντέλο ενώνονται το μονοδιάστατο μοντέλο MIKE 11 και το διδιάστατο MIKE 21. Για τη σύνδεσή τους απαιτείται η πραγματοποίηση πλευρικών συνδέσεων (lateral links) και των τυπικών συνδέσεων (standard links). Όταν χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο με κελί διάστασης 5 m x 5 m οι πλευρικές συνδέσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν 689 (Εικ. 4.14α), ενώ με κελί διάστασης 10 m x 10 m οι συνδέσεις ήταν 346 (Εικ. 4.14β). Ουσιαστικά οι συνδέσεις πραγματοποιούνται στα *h*-σημεία του υπολογιστικού πλέγματος του MIKE 11, ο αριθμός των οποίων είναι ίσος με τις πλευρικές συνδέσεις. Οι συνδέσεις ουσιαστικά χωρίζουν την αριστερή και τη δεξιά όχθη σε τμήματα. Κάθε μια πλευρική σύνδεση αντιστοιχεί σε ένα MIKE 11 *h*-σημείο και με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η καλύτερη κατανομή νερού κατά την αμφίδρομη επικοινωνία του ποταμού με την κατακλυσμένη περιοχή και αντίστροφα.



α. 689 πλευρικές συνδέσεις
(κελί διάστασης 5 m x 5 m)

β. 346 πλευρικές συνδέσεις
(κελί διάστασης 10 m x 10 m)

Εικόνα 4.14. MIKE FLOOD πλευρικές συνδέσεις

Προετοιμασία δεδομένων για το μοντέλο εκτίμησης ζημιάς

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά η συλλογή των απαιτούμενων χωρικών και χρονικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκτίμηση της προκαλούμενης πλημμυρικής

ζημιάς τόσο σε αγροτικό όσο και αστικό περιβάλλον, με χρήση του Python μοντέλου εκτίμησης της ζημιάς.

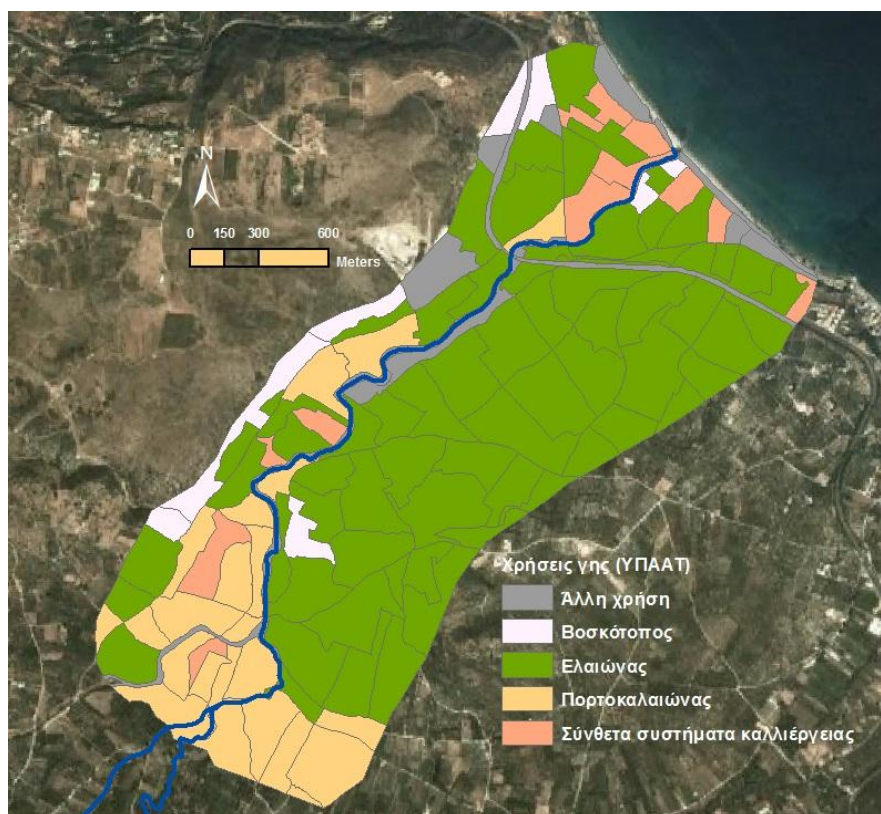
Μοντέλο εκτίμησης πλημμυρικής ζημιάς για τον αγροτικό τομέα

Το πολυγωνικό διανυσματικό αρχείο (polygon shapefile) για τις αγροτικές χρήσεις γης που συναντώνται στην περιοχή μελέτης δημιουργήθηκε από τα δεδομένα του Υπουργείου Ανάπτυξης και Τροφίμων (ΥΠΑΑΤ) και πιο συγκεκριμένα από τη Διεύθυνση Τοπογραφικής (http://gaec.topographiki.gr/gaec_web/, 9/6/2014). Η κατηγοριοποίηση των χρήσεων γης του ΥΠΑΑΤ και ο τρόπος με τον οποίο συνδέθηκαν αυτές με τις χρήσεις γης, που παρουσιάστηκαν στη μεθοδολογία της παρούσας διδακτορικής διατριβής μεθοδολογία παρουσιάζονται στο Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1 Κατηγοριοποίηση χρήσεων γης ΥΠΑΑΤ σύμφωνα με τις χρήσεις γης της παρούσας διατριβής

Χρήσεις γης παρούσας διατριβής	Χρήσεις γης ΥΠΑΑΤ
Ελαιώνες	Ελαιοκαλλιέργεια
	Ελαιοκαλλιέργεια Μικτή
Πορτοκαλαιώνες	Μόνιμη
	Μόνιμη μικτή
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	Αρόσιμη
	Αρόσιμη μικτή
Βοσκότοποι	Βοσκότοποι
	Μικτοί βοσκότοποι
Άλλες χρήσεις	Αστική χρήση γης
	Ποτάμι
	Λατομείο
	Δρόμος

Η ψηφιοποίηση των παραπάνω κατηγοριών αγροτικής χρήσης γης από τα δεδομένα του ΥΠΑΑΤ έγινε σε ArcGIS περιβάλλον και στην Εικ. 4.15 παρουσιάζονται τα ψηφιοποιημένα αποτελέσματα για την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 4.15. Αγροτική χρήση γης στην περιοχή μελέτης

Για το μοντέλο εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς στον αγροτικό τομέα έγινε χρήση των τιμών του εκτιμώμενου κόστους ανά μονάδα βάρους (C_{uw}) και της σοδειάς ανά μονάδα επιφάνειας (Y_{ua}) για κάθε κατηγορία χρήσεως γης που μελετήθηκε (Εξ. 3.39). Τα δεδομένα αυτά αποκτήθηκαν από τα επίσημα δεδομένα του ΕΛΓΑ, τα οποία χρησιμοποιεί κατά τον υπολογισμό της καταβολή των αποζημιώσεων στους αγρότες (ΦΕΚ ΕΛΓΑ 2012) (Πίνακας 4.2).

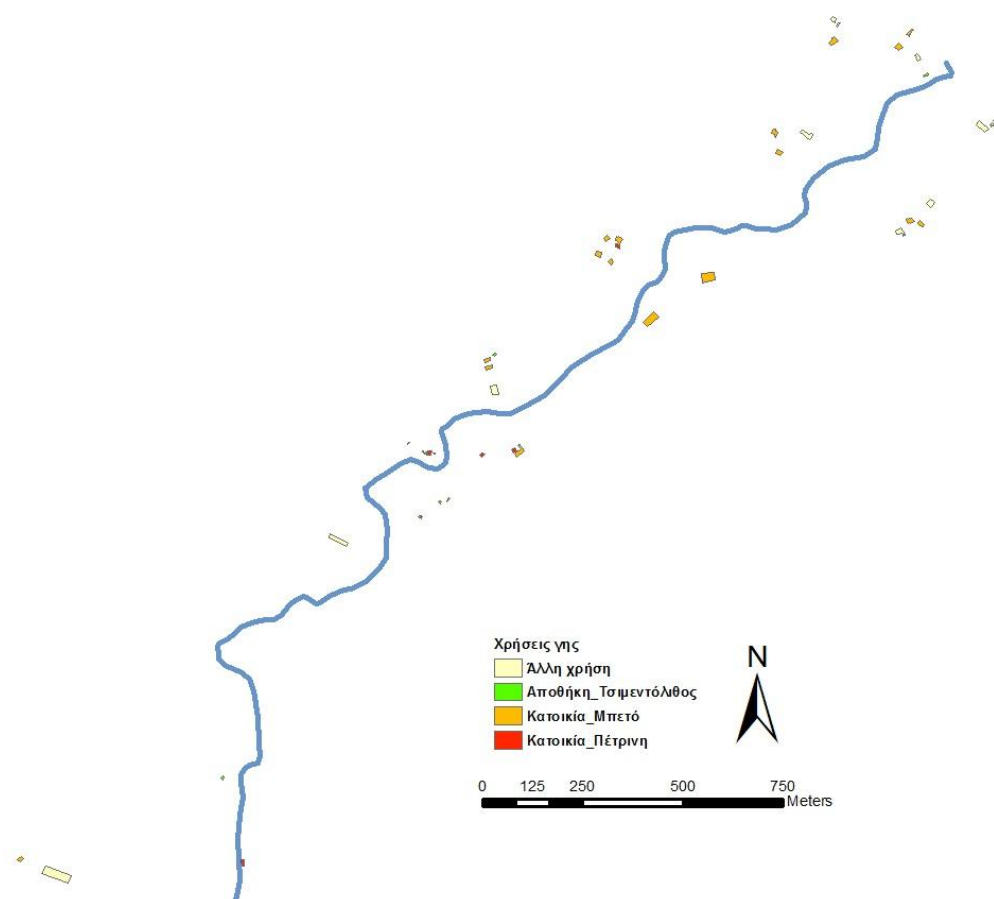
Πίνακας 4.2. Εκτιμώμενο κόστος ανά μονάδα βάρους καλλιέργειας, C_{uw} , και σοδειά ανά μονάδα επιφάνειας καλλιέργειας, Y_{ua} (ΦΕΚ ΕΛΓΑ 2012).

Καλλιέργεια	C_{uw} (€/kg)	Y_{ua} (kg/1000 m ²)
Ελαιόδεντρα	0.48	500
Πορτοκαλιόδεντρα	0.18	3,000
Τοματιές	0.51	4,000
Φυλλώδη λαχανικά	0.37	1,000

Μοντέλο εκτίμησης πλημμυρικής ζημιάς για τον αστικό τομέα

Το πολυγωνικό διανυσματικό αρχείο (polygon shapefile) για τις αστικές χρήσεις γης που συναντώνται στην περιοχή μελέτης δημιουργήθηκε με ψηφιοποίηση από χάρτες οικιστικούς. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν εικόνες δορυφόρου, ενώ έγινε και έρευνα στο πεδίο για την καταχώριση των αστικών κτισμάτων στις κατηγορίες μελέτης (Εικ. 4.16). Θεωρήθηκαν δυο είδη αστικού κτίσματος (κατοικίες και αποθήκες). Οι κατοικίες είναι είτε από μπετόν, είτε από πέτρα, ενώ οι αποθήκες είναι είτε από πέτρα είτε από τσιμεντότουβλο.

Επίσης ήταν χρήσιμο να οριστούν, στο μοντέλο εκτίμησης της αστικής ζημιάς (Εξ. 3.41), οι τιμές για την αντικειμενική αξία κάθε αστικού κτίσματος μελέτης, σύμφωνα με τις οποίες υπολογίζεται η ζημιά. Οι τιμές ζώνης για τον υπολογισμό των αντικειμενικών αξιών προέκυψαν από τους πίνακες του Υπουργείου Οικονομικών για την Περιφέρεια Κρήτης, ενώ οι αντικειμενικές αξίες υπολογίστηκαν με χρήση του εργαλείου που διατίθεται στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://drhouse.gr/drhouse-university/forologia/akiniton/antikeimenikes/apothiki.html> (Πίνακας 4.3).



Εικόνα 4.16. Αστική χρήση γης στην περιοχή μελέτης

Πίνακας 4.3. Αντικειμενικές αξίες αστικών κτισμάτων

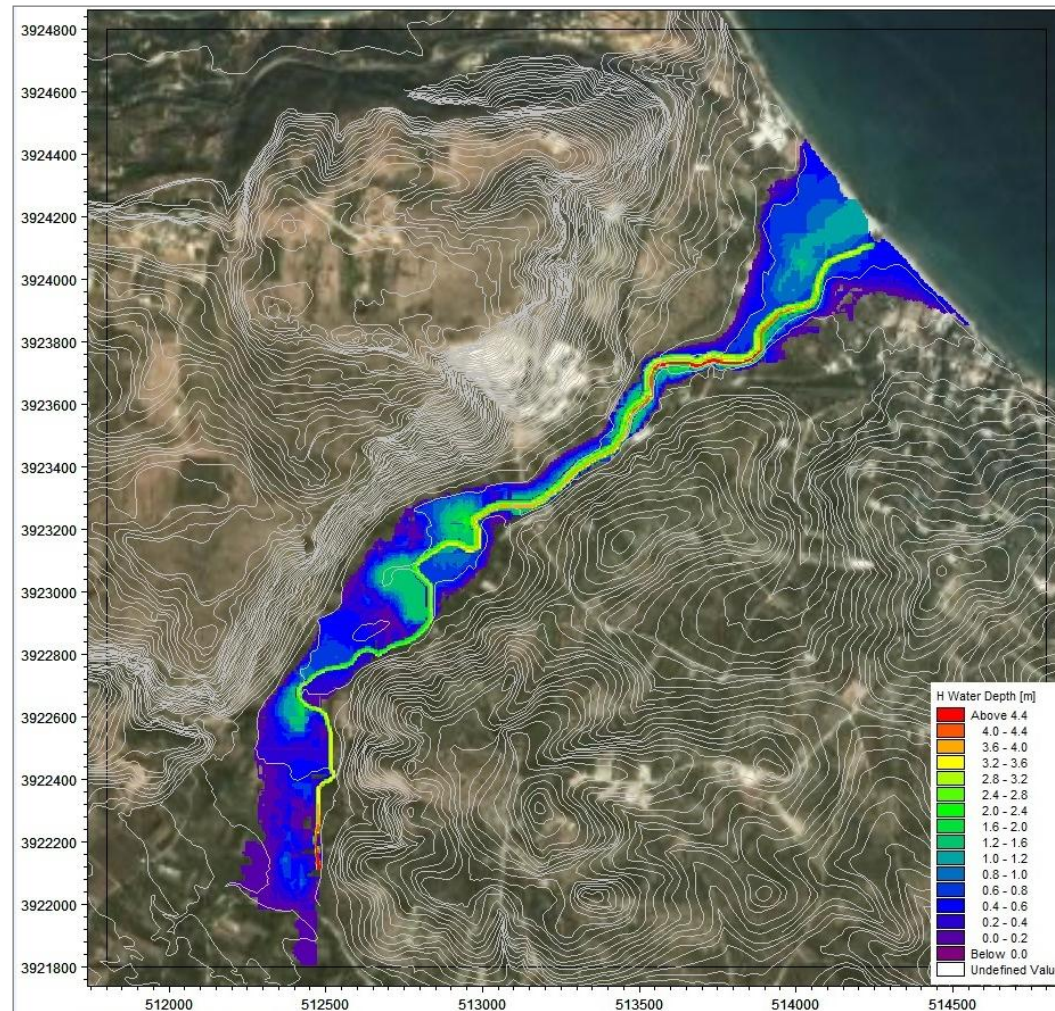
Αστική χρήση γης	€/m ²
Αποθήκη από πέτρα	224.00
Αποθήκη από τσιμεντότουβλο	165.50
Κατοικία από μπετόν	493.00
Κατοικία από πέτρα	467.00

Στο κεφάλαιο αυτό εφαρμόζεται η μεθοδολογία εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα σε αγροτικό και αστικό περιβάλλον. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του συνδυαστικού 1D-2D MIKE FLOOD υδρολογικού μοντέλου για ένα συγκεκριμένο γεγονός πλημμύρας και εκτιμάται η ζημιά που προκαλείται στους οικονομικούς τομείς μελέτης, με εφαρμογή του οικονομικοτεχνικού μοντέλου εκτίμησης απωλειών, το οποίο δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής εργασίας, σε γλώσσα προγραμματισμού Python.

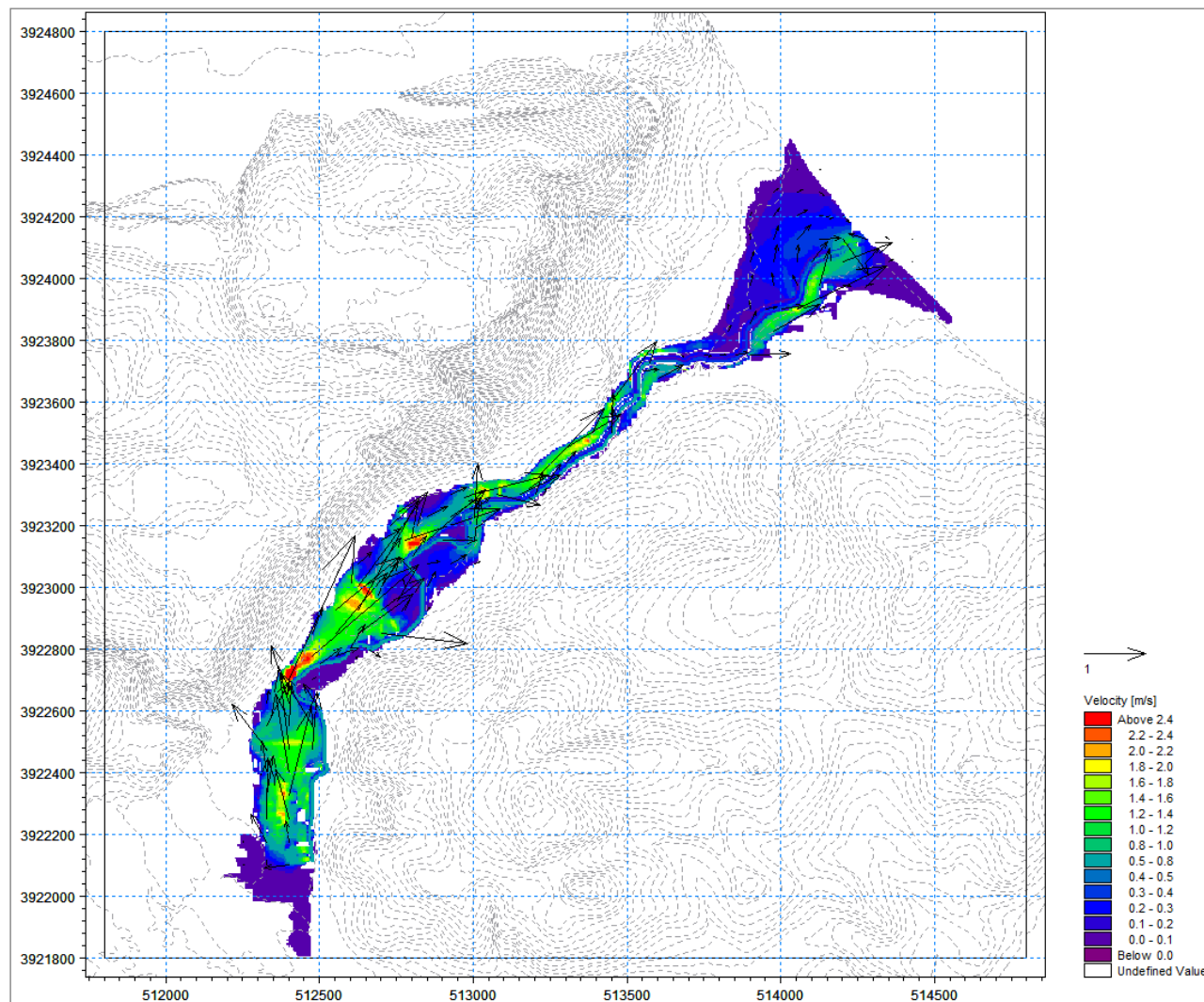
5.1 Προσομοίωση πλημμύρας με χρήση του υδρολογικού 1D-2D MIKE FLOOD μοντέλου

Το 1D-2D MIKE FLOOD υδρολογικό μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της πλημμύρας της 11^{ης}–12^{ης} Φεβρουαρίου 2003 (Vozinaki et al. 2012). Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης του πλημμυρικού γεγονότος για πλέγμα με τετράγωνο κελί διάστασης 5 m x 5 m και 10 m x 10 m.

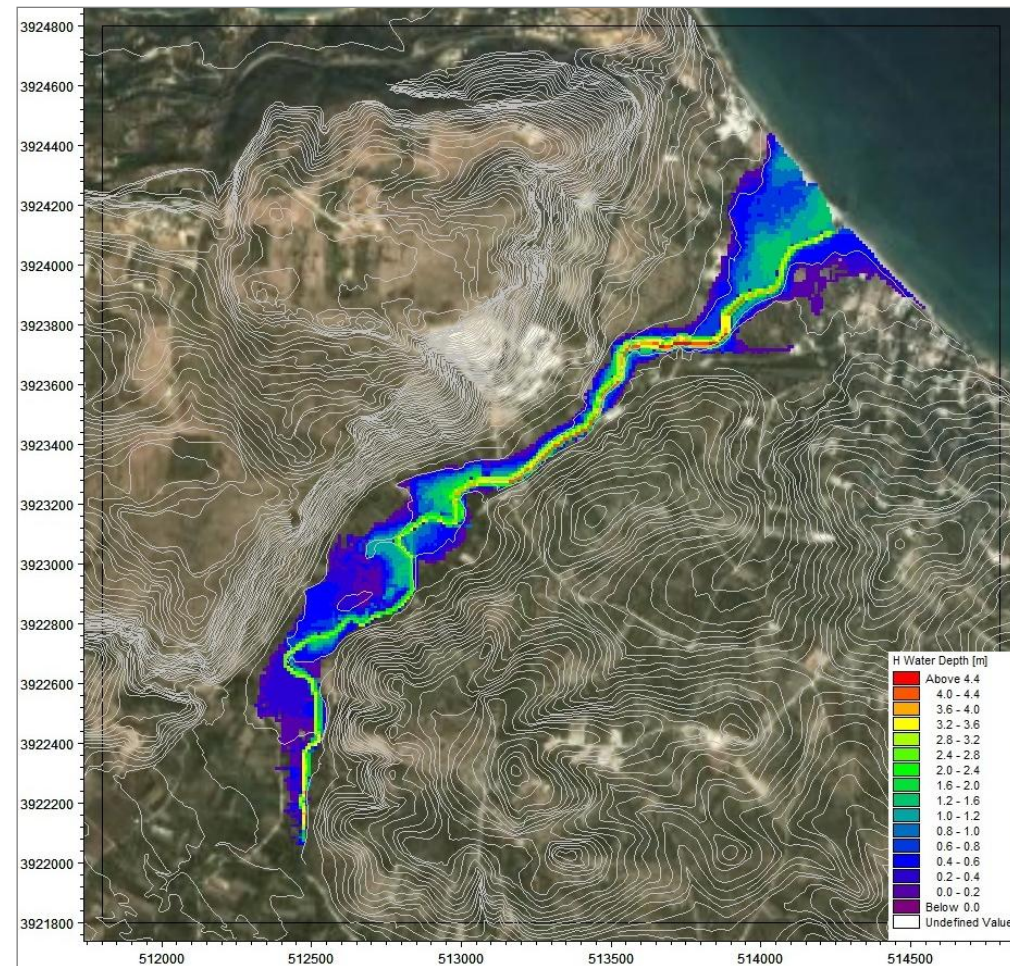
Ως αποτέλεσμα της προσομοίωσης για πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m (600 x 600 κελιά), προκύπτει το μέγιστο ύψος πλημμυρικού κύματος (Εικ. 5.1) και η συνισταμένη ταχύτητα του πλημμυρικού κύματος (Εικ. 5.2), το διανυσματικό δηλαδή άθροισμα των ταχυτήτων του κύματος κατά την διεύθυνση των x και y- αξόνων συντεταγμένων. Ομοίως, για την προσομοίωση για πλέγμα με κελί διάστασης 10 m x 10 m (300 x 300 κελιά), προκύπτει το μέγιστο ύψος πλημμυρικού κύματος (Εικ. 5.3) και η συνισταμένη ταχύτητα του πλημμυρικού κύματος (Εικ. 5.4). Παρατηρούμε ότι οι τιμές του μέγιστου ύψους κύματος και της αντίστοιχης συνισταμένης ταχύτητας κύματος, τη χρονική στιγμή όπου το ύψος μεγιστοποιείται, δε διαφοροποιούνται σημαντικά κατά τις δύο παραπάνω προσομοιώσεις με κελί διάστασης 5 m x 5 m και 10 m x 10 m, αντίστοιχα.



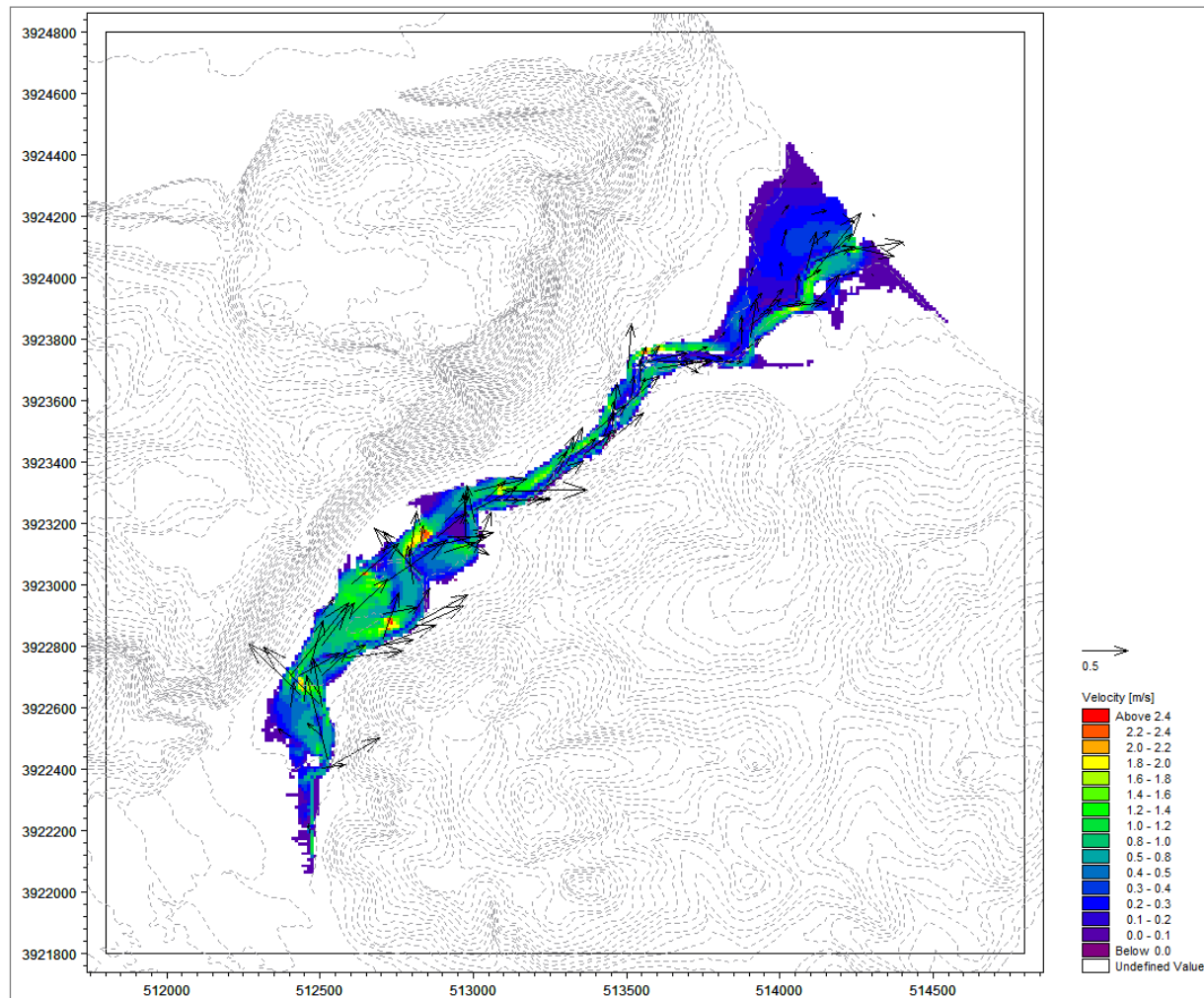
Εικόνα 5.1. Χωρική κατανομή του μέγιστου ύψους κύματος



Εικόνα 5.2. Χωρική κατανομή του διανύσματος της ταχύτητας τη χρονική στιγμή όπου το ύψος κύματος μεγιστοποιείται



Εικόνα 5.3. Χωρική κατανομή του μέγιστου ύψους κύματος

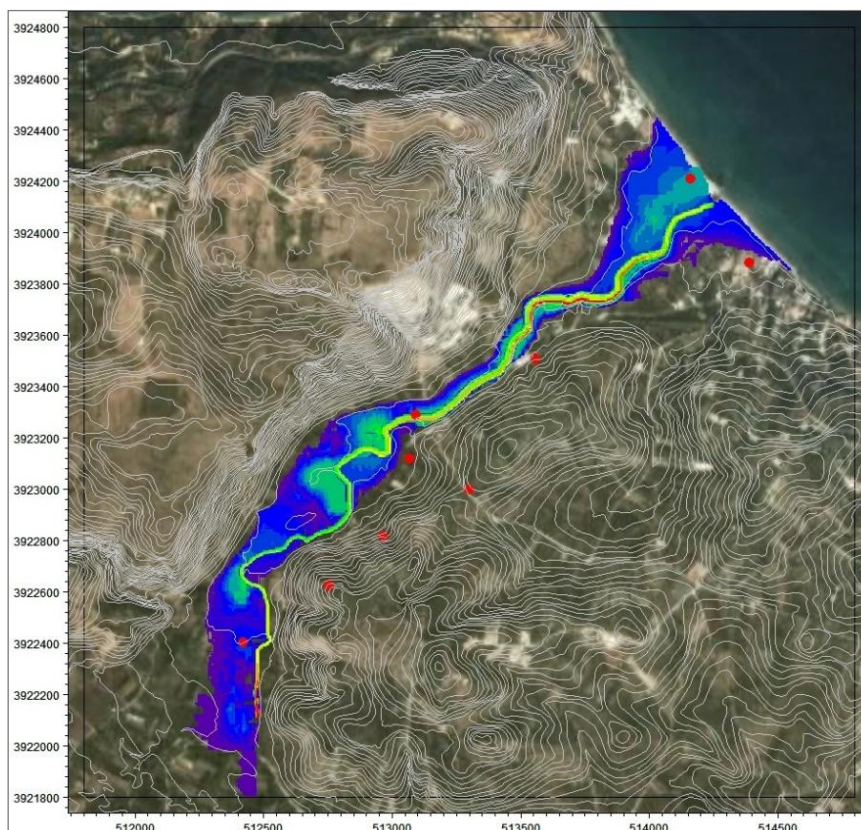


Εικόνα 5.4. Χωρική κατανομή του διανύσματος της ταχύτητας τη χρονική στιγμή όπου το ύψος κύματος μεγιστοποιείται

Βαθμονόμηση του MIKE FLOOD μοντέλου (MIKE FLOOD calibration)

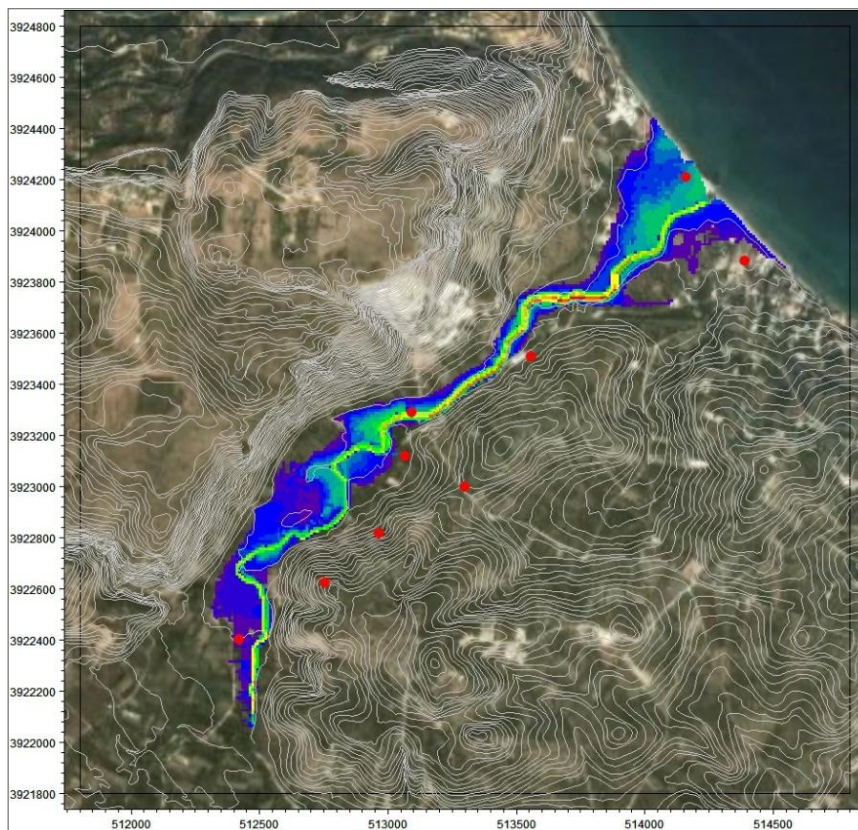
Η βαθμονόμηση ενός μοντέλου αποσκοπεί στο να εξασφαλιστεί ότι το μοντέλο περιγράφει όσο καλύτερα γίνεται την πραγματικότητα. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν δεδομένα βαθμονόμησης, τότε η βαθμονόμηση μπορεί εναλλακτικά να πραγματοποιηθεί με ανάλυση ευαισθησίας. Στη συγκεκριμένη διδακτορική διατριβή, βασικότερη παράμετρος βαθμονόμησης θεωρήθηκε ο συντελεστής τραχύτητας Manning, n . Η διαδικασία βαθμονόμησης περιλάμβανε την αλλαγή του συντελεστή τραχύτητας σε κάθε μια από τις διατομές του MIKE 11 υδραυλικού μοντέλου, οι οποίες προέκυψαν από τοπογραφικές μετρήσεις πεδίου. Κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης, με αλλαγή του Manning συντελεστή, γινόταν έλεγχος για το αν η διόδευση της πλημμύρας προσέγγιζε τα ιστορικά σημεία πλημμύρας, που αποτελούν μαρτυρίες κατοίκων της περιοχής μελέτης για το συγκεκριμένο γεγονός πλημμύρας. Τα ιστορικά δεδομένα πλημμύρας απεικονίζονται στις Εικ. 5.5 και Εικ. 5.6 με κόκκινες βούλες, για το μοντέλο πλέγματος με κελί $5\text{ m} \times 5\text{ m}$ και $10\text{ m} \times 10\text{ m}$, αντίστοιχα. Όσο πιο πολλά σημεία συμπεριλαμβάνονται στην επιφάνεια που καλύπτει η πλημμύρα, τόσο πιο καλή θεωρείται η προσομοίωσή της. Ωστόσο, παρατηρούμε ότι κάποια από τα ιστορικά σημεία δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα καθώς αντιπροσωπεύουν σημεία υψηλού υψόμετρου, σημεία δηλαδή που δε δύναται να δεχτούν ποτάμια πλημμύρα, πράγμα το οποίο μας οδήγησε στο να αγνοήσουμε τα δεδομένα αυτά κατά τη διαδικασία βαθμονόμησης.

Βαθμονόμηση Κελί $5\text{ m} \times 5\text{ m}$



Εικόνα 5.5. Βαθμονόμηση μοντέλου για κελί διάστασης $5\text{ m} \times 5\text{ m}$

Βαθμονόμηση Κελί 10 m x 10 m



Εικόνα 5.6. Βαθμονόμηση μοντέλου για κελί διάστασης 10 m x 10 m

5.2 Δημιουργία μοντέλου εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα

Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων από τα ερωτηματολόγια

Για καθένα από τους οικονομικούς κλάδους μελέτης έγινε επεξεργασία των αποτελεσμάτων των συμπληρωμένων ερωτηματολογίων. Σκοπός ήταν να υπολογιστούν τα ποσοστά εμφάνισης της κάθε κατηγορίας ζημιάς, για καθένα από τα σενάρια πλημμύρας που διαμορφώθηκαν στα ερωτηματολόγια, σύμφωνα με τις απαντήσεις που έδωσαν οι εμπειρογνώμονες που συμμετείχαν στην έρευνα. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για καθένα από τους οικονομικούς τομείς μελέτης.

Αγροτικός τομέας

Για κάθε αγροτική χρήση γης που μελετήθηκε και για κάθε μήνα μελέτης προέκυψαν τα παρακάτω ποσοστά εμφάνισης της κάθε κατηγορίας ζημιάς, για καθένα από τα σενάρια πλημμύρας του ερωτηματολογίου που διαμορφώθηκαν. Θα έπρεπε να σημειωθεί ότι έγινε επεξεργασία είκοσι δύο (22), είκοσι ένα (21), είκοσι έξι (26) και δεκαεννιά (19) ερωτηματολογίων για τα Ελαιόδεντρα (Εικ. 5.7), τα Πορτοκαλαιόδεντρα (Εικ. 5.8), τις Τοματιές (Εικ. 5.9) και τα Φυλλώδη λαχανικά (Εικ. 5.10), αντίστοιχα.

Στατιστική ανάλυση-Ελαιόδεντρο

Ελαιόδεντρο-Ιανουάριος						Ελαιόδεντρο-Φεβρουάριος					
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)						Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	90.91% (20)	9.09% (2)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	95.45% (21)	4.55% (1)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	68.18% (15)	18.18% (4)	13.64% (3)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	77.27% (17)	13.64% (3)	9.09% (2)	0% (0)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	63.64% (14)	13.64% (3)	13.64% (3)	4.55% (1)	4.55% (1)	Υψος 1.01-2.0 m	72.73% (16)	4.55% (1)	13.64% (3)	9.09% (2)	0% (0)
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)						Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	86.36% (19)	4.55% (1)	9.09% (2)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	90.91% (20)	9.09% (2)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	63.64% (14)	13.64% (3)	22.73% (5)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	77.27% (17)	4.55% (1)	18.18% (4)	0% (0)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	54.55% (12)	18.18% (4)	9.09% (2)	13.64% (3)	4.55% (1)	Υψος 1.01-2.0 m	68.18% (15)	9.09% (2)	9.09% (2)	13.64% (3)	0% (0)
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)						Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	77.27% (17)	9.09% (2)	4.55% (1)	9.09% (2)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	81.82% (18)	9.09% (2)	9.09% (2)	0% (0)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	59.09% (13)	13.64% (3)	13.64% (3)	13.64% (3)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	68.18% (15)	18.18% (4)	9.09% (2)	4.55% (1)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	31.82% (7)	31.82% (7)	13.64% (3)	9.09% (2)	13.64% (3)	Υψος 1.01-2.0 m	40.91% (9)	40.91% (9)	4.55% (1)	4.55% (1)	9.09% (2)
Ελαιόδεντρο-Μάρτιος						Ελαιόδεντρο-Απρίλιος					
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)						Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	86.36% (19)	13.64% (3)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	81.82% (18)	9.09% (2)	9.09% (2)	0% (0)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	77.27% (17)	13.64% (3)	9.09% (2)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	68.18% (15)	13.64% (3)	13.64% (3)	4.55% (1)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	72.73% (16)	4.55% (1)	13.64% (3)	4.55% (1)	4.55% (1)	Υψος 1.01-2.0 m	59.09% (13)	9.09% (2)	18.18% (4)	9.09% (2)	4.55% (1)
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)						Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	77.27% (17)	22.73% (5)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	77.27% (17)	9.09% (2)	9.09% (2)	4.55% (1)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	72.73% (16)	9.09% (2)	18.18% (4)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	68.18% (15)	9.09% (2)	4.55% (1)	18.18% (4)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	68.18% (15)	9.09% (2)	9.09% (2)	9.09% (2)	4.55% (1)	Υψος 1.01-2.0 m	45.45% (10)	22.73% (5)	9.09% (2)	13.64% (3)	9.09% (2)
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)						Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	72.73% (16)	27.27% (6)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	72.73% (16)	9.09% (2)	13.64% (3)	0% (0)	4.55% (1)
Υψος 0.51-1.0 m	63.64% (14)	13.64% (3)	18.18% (4)	4.55% (1)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	63.64% (14)	9.09% (2)	9.09% (2)	9.09% (2)	9.09% (2)
Υψος 1.01-2.0 m	40.91% (9)	31.82% (7)	13.64% (3)	0% (0)	13.64% (3)	Υψος 1.01-2.0 m	22.73% (5)	31.82% (7)	9.09% (2)	22.73% (5)	13.64% (3)
Ελαιόδεντρο-Οκτώβριος						Ελαιόδεντρο-Νοέμβριος					
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)						Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	81.82% (18)	4.55% (1)	13.64% (3)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	81.82% (18)	0% (0)	18.18% (4)	0% (0)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	68.18% (17)	4.55% (1)	22.73% (5)	4.55% (1)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	72.73% (16)	0% (0)	22.73% (5)	4.55% (1)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	63.64% (14)	4.55% (1)	13.64% (3)	9.09% (2)	9.09% (2)	Υψος 1.01-2.0 m	59.09% (13)	13.64% (3)	0% (0)	18.18% (4)	9.09% (2)
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)						Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	77.27% (17)	9.09% (2)	9.09% (2)	4.55% (1)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	72.73% (16)	9.09% (2)	4.55% (1)	13.64% (1)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	63.64% (14)	9.09% (2)	13.64% (3)	13.64% (3)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	63.64% (14)	9.09% (2)	13.64% (1)	13.64% (1)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	54.55% (15)	13.64% (3)	4.55% (1)	13.64% (3)	13.64% (3)	Υψος 1.01-2.0 m	36.36% (8)	36.36% (8)	0% (0)	18.18% (4)	9.09% (2)
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)						Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	68.18% (15)	4.55% (1)	18.18% (4)	0% (0)	9.09% (2)	Υψος 0.00-0.5 m	68.18% (15)	0% (0)	13.64% (3)	4.55% (1)	13.64% (3)
Υψος 0.51-1.0 m	45.45% (10)	22.73% (5)	18.18% (4)	4.55% (1)	9.09% (2)	Υψος 0.51-1.0 m	45.45% (10)	18.18% (4)	18.18% (4)	4.55% (1)	13.64% (3)
Υψος 1.01-2.0 m	27.27% (6)	31.82% (7)	13.64% (3)	9.09% (2)	18.18% (4)	Υψος 1.01-2.0 m	9.09% (2)	36.36% (8)	27.27% (6)	9.09% (2)	18.18% (4)
Ελαιόδεντρο-Δεκέμβριος											
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)											
	1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	81.82% (18)	4.55% (1)	4.55% (1)	9.09% (2)	0% (0)						
Υψος 0.51-1.0 m	68.18% (15)	9.09% (2)	13.64% (3)	9.09% (2)	0% (0)						
Υψος 1.01-2.0 m	63.64% (14)	4.55% (1)	13.64% (3)	0% (0)	18.18% (4)						
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)											
	1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	72.73% (16)	9.09% (2)	4.55% (1)	13.64% (3)	0% (0)						
Υψος 0.51-1.0 m	50% (11)	22.73% (5)	4.55% (1)	18.18% (4)	4.55% (1)						
Υψος 1.01-2.0 m	36.36% (8)	27.27% (6)	9.09% (2)	9.09% (2)	18.18% (4)						
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)											
	1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	68.18% (15)	0% (0)	9.09% (2)	18.18% (4)	4.55% (1)						
Υψος 0.51-1.0 m	40.91% (9)	22.73% (5)	13.64% (3)	4.55% (1)	18.18% (4)						
Υψος 1.01-2.0 m	9.09% (2)	31.82% (7)	18.18% (4)	13.64% (3)	27.27% (6)						

Εικόνα 5.7. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων-ερωτηματολόγια Ελαιόδεντρων

Παρατηρείται ομοφωνία στις απαντήσεις των ερωτώμενων και κυρίως για τον Ιανουάριο. Το Φεβρουάριο παρατηρείται ομοφωνία απαντήσεων για μικρές ταχύτητες, ενώ όσο αυξάνονται το ύψος και η ταχύτητα κύματος οι απαντήσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη διασπορά, χωρίς όμως αυτό να δημιουργεί κάποιον έντονο προβληματισμό. Για τους υπόλοιπους μήνες η διασπορά είναι μεγαλύτερη από τις μικρές κιάλας ταχύτητες. Ωστόσο, οι απαντήσεις τείνουν

να συγκεντρώνονται στην κατηγορία «μικρής ζημιάς», το οποίο δικαιολογείται αν λάβουμε υπόψη μας ότι το ερωτηματολόγιο αναφέρεται σε μια δενδρώδη καλλιέργεια.

Στατιστική ανάλυση-Πορτοκαλιόδεντρο

Πορτοκαλιόδεντρο-Ιανουάριος						Πορτοκαλιόδεντρο-Φεβρουάριος					
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)						Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	85.71% (18)	14.29% (2)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	80.95% (17)	19.05% (4)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	66.67% (14)	33.33% (4)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	71.43% (15)	19.05% (4)	9.52% (2)	0% (0)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	71.43% (15)	0% (0)	4.76% (1)	23.81% (5)	0% (0)	Υψος 1.01-2.0 m	57.14% (12)	14.29% (3)	0% (0)	28.57% (6)	0% (0)
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)						Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	76.19% (16)	19.05% (4)	4.76% (1)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	76.19% (16)	19.05% (4)	4.76% (1)	0% (0)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	57.14% (12)	33.33% (4)	4.76% (1)	4.76% (1)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	52.38% (11)	33.33% (7)	9.52% (2)	4.76% (1)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	33.33% (4)	33.33% (4)	4.76% (1)	28.57% (6)	0% (0)	Υψος 1.01-2.0 m	33.33% (7)	19.05% (4)	19.05% (4)	28.57% (6)	0% (0)
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)						Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	61.90% (13)	23.81% (5)	9.52% (2)	4.76% (1)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	61.90% (13)	19.05% (4)	14.29% (3)	4.76% (1)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	42.86% (9)	28.57% (6)	23.81% (5)	0% (0)	4.76% (1)	Υψος 0.51-1.0 m	38.10% (8)	28.57% (6)	23.81% (5)	4.76% (1)	4.76% (1)
Υψος 1.01-2.0 m	4.76% (1)	38.10% (8)	23.81% (5)	33.33% (7)	0% (0)	Υψος 1.01-2.0 m	4.76% (1)	38.10% (8)	9.52% (2)	42.86% (9)	4.76% (1)
Πορτοκαλιόδεντρο-Μάρτιος						Πορτοκαλιόδεντρο-Απρίλιος					
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)						Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	80.95% (17)	14.29% (3)	4.76% (1)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	90% (18)	10% (2)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	76.19% (16)	9.52% (2)	14.29% (3)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	85% (17)	10% (2)	5% (1)	0% (0)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	71.43% (15)	4.76% (1)	0% (0)	23.81% (5)	0% (0)	Υψος 1.01-2.0 m	65% (13)	20% (4)	0% (0)	10% (2)	5% (1)
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)						Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	76.19% (16)	14.29% (3)	9.52% (2)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	80% (16)	20% (4)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	66.67% (14)	14.29% (3)	14.29% (3)	4.76% (1)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	65% (13)	25% (5)	10% (2)	0% (0)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	52.38% (11)	19.05% (4)	4.76% (1)	23.81% (5)	0% (0)	Υψος 1.01-2.0 m	45% (9)	15% (3)	25% (5)	10% (2)	5% (1)
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)						Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	66.67% (14)	14.29% (3)	14.29% (3)	4.76% (1)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	70% (14)	20% (4)	10% (2)	0% (0)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	57.14% (12)	9.52% (2)	23.81% (5)	4.76% (1)	4.76% (1)	Υψος 0.51-1.0 m	55% (11)	15% (3)	25% (5)	5% (1)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	19.05% (4)	42.86% (9)	9.52% (2)	23.81% (5)	4.76% (1)	Υψος 1.01-2.0 m	10% (2)	45% (9)	5% (1)	35% (7)	5% (1)
Πορτοκαλιόδεντρο-Οκτώβριος						Πορτοκαλιόδεντρο-Νοέμβριος					
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)						Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	95% (19)	5% (1)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	90% (18)	10% (2)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	85% (17)	10% (2)	5% (1)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	85% (17)	15% (3)	0% (0)	0% (0)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	80% (16)	5% (1)	5% (1)	10% (2)	0% (0)	Υψος 1.01-2.0 m	80% (16)	5% (1)	5% (1)	10% (2)	0% (0)
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)						Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	85% (17)	15% (3)	0% (0)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	85% (17)	10% (2)	5% (1)	0% (0)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	80% (16)	10% (2)	10% (2)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	75% (15)	20% (4)	0% (0)	5% (1)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	55% (11)	20% (4)	15% (3)	10% (2)	0% (0)	Υψος 1.01-2.0 m	55% (11)	20% (4)	15% (3)	10% (2)	0% (0)
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)						Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	75% (15)	15% (3)	10% (2)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	70% (14)	20% (4)	5% (1)	5% (1)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	60% (12)	20% (4)	15% (3)	5% (1)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	55% (11)	25% (5)	15% (3)	0% (0)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	30% (6)	35% (7)	15% (3)	20% (4)	0% (0)	Υψος 1.01-2.0 m	15% (3)	45% (9)	20% (4)	20% (4)	0% (0)
Πορτοκαλιόδεντρο-Δεκέμβριος											
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)											
	1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	90% (18)	10% (2)	0% (0)	0% (0)	0% (0)						
Υψος 0.51-1.0 m	70% (14)	30% (6)	0% (0)	0% (0)	0% (0)						
Υψος 1.01-2.0 m	70% (14)	10% (2)	5% (1)	15% (3)	0% (0)						
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)											
	1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	80% (16)	15% (3)	5% (1)	0% (0)	0% (0)						
Υψος 0.51-1.0 m	65% (13)	30% (6)	0% (0)	5% (1)	0% (0)						
Υψος 1.01-2.0 m	35% (7)	30% (6)	20% (4)	15% (3)	0% (0)						
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)											
	1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	70% (14)	20% (4)	5% (1)	5% (1)	0% (0)						
Υψος 0.51-1.0 m	45% (9)	35% (7)	15% (3)	0% (0)	5% (1)						
Υψος 1.01-2.0 m	5% (1)	50% (10)	20% (4)	25% (5)	0% (0)						

Εικόνα 5.8. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων-ερωτηματολόγια Πορτοκαλιόδεντρων

Παρατηρείται μια σχετικά ομοιόμορφη διασπορά των απαντήσεων των ερωτώμενων, η οποία μεγαλώνει όσο αυξάνεται το ύψος και η ταχύτητα του κύματος. Το γεγονός αυτό είναι

αναμενόμενο καθώς η ζημιά αυξάνεται όσο αυξάνεται το ύψος και η ταχύτητα του κύματος της πλημμύρας, επομένως οι απαντήσεις θα περιλαμβάνουν και τις πιο μεγάλες κατηγορίες της ζημιάς (π.χ κατηγορίες 3 ή 4 ή 5). Ωστόσο, και στην περίπτωση των Πορτοκαλιόδεντρων οι απαντήσεις τείνουν προς την κατηγορία «μικρής ζημιάς», πράγμα το οποίο επίσης δικαιολογείται αν λάβουμε υπόψη μας ότι το ερωτηματολόγιο αναφέρεται σε μια δενδρώδη καλλιέργεια.

Στατιστική ανάλυση-Τοματιά

Πρώμη Τοματιά-Απρίλιος					
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)					
	1	2	3	4	5
Ύψος 0.00-0.5 m	22.22% (6)	11.11% (3)	14.81% (4)	18.52% (5)	33.33% (9)
Ύψος 0.51-1.0 m	7.69% (2)	15.38% (4)	7.69% (2)	11.54% (3)	57.69% (15)
Ύψος 1.01-2.0 m	0% (0)	3.85% (1)	23.08% (6)	15.38% (4)	57.69% (15)
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)					
	1	2	3	4	5
Ύψος 0.00-0.5 m	3.85% (1)	23.08% (6)	11.54% (3)	23.08% (6)	38.46% (10)
Ύψος 0.51-1.0 m	3.85% (1)	7.69% (2)	15.38% (4)	15.38% (4)	57.69% (15)
Ύψος 1.01-2.0 m	0% (0)	3.85% (1)	3.85% (1)	26.92% (7)	65.38% (17)
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)					
	1	2	3	4	5
Ύψος 0.00-0.5 m	3.85% (1)	3.85% (1)	15.38% (4)	19.23% (5)	57.69% (15)
Ύψος 0.51-1.0 m	0% (0)	0% (0)	19.23% (5)	7.69% (2)	73.08% (19)
Ύψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	7.69% (2)	11.54% (3)	80.77% (21)
Όψιμη Τοματιά-Οκτώβριος					
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)					
	1	2	3	4	5
Ύψος 0.00-0.5 m	30.77% (8)	26.92% (7)	3.85% (1)	7.69% (2)	30.77% (8)
Ύψος 0.51-1.0 m	4% (1)	24% (6)	24% (6)	16% (4)	32% (8)
Ύψος 1.01-2.0 m	4% (1)	4% (1)	20% (5)	24% (6)	48% (12)
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)					
	1	2	3	4	5
Ύψος 0.00-0.5 m	16% (4)	20% (5)	20% (5)	16% (4)	28% (7)
Ύψος 0.51-1.0 m	0% (0)	16% (4)	20% (5)	24% (6)	40% (10)
Ύψος 1.01-2.0 m	0% (0)	8% (2)	12% (3)	16% (4)	64% (16)
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)					
	1	2	3	4	5
Ύψος 0.00-0.5 m	8% (2)	12% (3)	24% (6)	16% (4)	40% (10)
Ύψος 0.51-1.0 m	0% (0)	8% (2)	20% (5)	16% (4)	56% (14)
Ύψος 1.01-2.0 m	0% (0)	4% (1)	8% (2)	28% (7)	60% (15)
Όψιμη Τοματιά-Νοέμβριος					
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)					
	1	2	3	4	5
Ύψος 0.00-0.5 m	40% (10)	8% (2)	12% (3)	12% (3)	28% (7)
Ύψος 0.51-1.0 m	8% (2)	24% (6)	16% (4)	20% (5)	32% (8)
Ύψος 1.01-2.0 m	8% (2)	8% (2)	12% (3)	24% (6)	48% (12)
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)					
	1	2	3	4	5
Ύψος 0.00-0.5 m	16% (4)	16% (4)	20% (5)	20% (5)	28% (7)
Ύψος 0.51-1.0 m	4% (1)	12% (3)	24% (6)	20% (5)	40% (10)
Ύψος 1.01-2.0 m	4% (1)	4% (1)	20% (5)	16% (4)	56% (14)
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)					
	1	2	3	4	5
Ύψος 0.00-0.5 m	8% (2)	20% (5)	16% (4)	12% (3)	44% (11)
Ύψος 0.51-1.0 m	4% (1)	4% (1)	24% (6)	16% (4)	52% (13)
Ύψος 1.01-2.0 m	4% (1)	0% (0)	12% (3)	24% (6)	60% (15)

Εικόνα 5.9. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων-ερωτηματολόγια Τοματιάς

Για τις Τοματιές γενικά παρατηρείται μια σχετικά ομοιόμορφη διασπορά των απαντήσεων των ερωτώμενων με τάση προς τις κατηγορίες «μεγάλη ζημιά» ή «ολοκληρωτική ζημιά», κυρίως στα ακραία πλημμυρικά σενάρια, όπου οι τιμές του ύψους και της ταχύτητας του κύματος της πλημμύρας είναι αυξημένες. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται αν λάβουμε υπόψη μας ότι η Τοματιά ανήκει σε μια καλλιέργεια χαμηλής βλάστησης επομένως ο κίνδυνος καταστροφής αυτής της καλλιέργειας είναι περισσότερο εμφανής.

Στατιστική ανάλυση-Φυλλώδες λαχανικό

Φυλλώδες λαχανικό-Ιανουάριος						Φυλλώδες λαχανικό-Φεβρουάριος											
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)						Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)											
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	10% (2)	15% (3)	0% (0)	20% (4)	55% (11)	Υψος 0.00-0.5 m	5% (1)	20% (4)	0% (0)	20% (4)	55% (11)						
Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	10.53% (2)	10.53% (2)	15.79% (3)	63.16% (12)	Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	10.53% (2)	15.79% (3)	15.79% (3)	63.16% (12)						
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	15.79% (3)	73.68% (14)	Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	15.79% (3)	73.68% (14)						
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)						Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)											
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	10.53% (2)	21.05% (4)	63.16% (12)	Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	10.53% (2)	21.05% (4)	63.16% (12)						
Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	0% (0)	10.53% (2)	10.53% (2)	78.95% (15)	Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	10.53% (2)	78.95% (15)						
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	10.53% (2)	0% (0)	89.47% (17)	Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	89.47% (17)						
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)						Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)											
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	5.26% (1)	15.79% (3)	73.68% (14)	Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	5.26% (1)	15.79% (3)	73.68% (14)						
Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	0% (0)	5.26% (1)	10.53% (2)	84.21% (16)	Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	0% (0)	5.26% (1)	10.53% (2)	84.21% (16)						
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	89.47% (17)	Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	5.26% (1)	0% (0)	94.74% (18)						
Φυλλώδες λαχανικό-Μάρτιος						Φυλλώδες λαχανικό-Απρίλιος											
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)						Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)											
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	5% (1)	15% (3)	5% (1)	20% (4)	55% (11)	Υψος 0.00-0.5 m	5% (1)	15% (3)	5% (1)	20% (4)	55% (11)						
Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	10.53% (2)	5.26% (1)	15.79% (3)	68.42% (13)	Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	10.53% (2)	5.26% (1)	15.79% (3)	68.42% (13)						
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	10.53% (2)	78.95% (15)	Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	10.53% (2)	78.95% (15)						
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)						Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)											
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	10.53% (2)	21.05% (4)	63.16% (12)	Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	10.53% (2)	26.32% (5)	57.89% (11)						
Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	5.26% (1)	84.21% (16)	Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	10.53% (2)	78.95% (15)						
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	89.47% (17)	Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	10.53% (2)	5.26% (1)	84.21% (16)						
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)						Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)											
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	0% (0)	26.32% (5)	68.42% (13)	Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	0% (0)	26.32% (5)	68.42% (13)						
Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	5.26% (1)	0% (0)	5.26% (1)	89.47% (17)	Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	5.26% (1)	0% (0)	5.26% (1)	89.47% (17)						
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	5.26% (1)	0% (0)	94.74% (18)	Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	5.26% (1)	0% (0)	94.74% (18)						
Φυλλώδες λαχανικό-Οκτώβριος						Φυλλώδες λαχανικό-Νοέμβριος											
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)						Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)											
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	10% (2)	10% (2)	5% (1)	25% (5)	50% (10)	Υψος 0.00-0.5 m	5% (1)	15% (3)	5% (1)	25% (5)	50% (10)						
Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	10.53% (2)	5.26% (1)	21.05% (4)	63.16% (12)	Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	5.26% (1)	15.79% (3)	15.79% (3)	63.16% (12)						
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	10.53% (2)	78.95% (15)	Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	10.53% (2)	78.95% (15)						
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)						Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)											
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	10.53% (2)	26.32% (5)	57.89% (11)	Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	10.53% (2)	26.32% (5)	57.89% (11)						
Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	10.53% (2)	78.95% (15)	Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	15.79% (3)	73.68% (14)						
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	10.53% (2)	5.26% (1)	84.21% (16)	Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	10.53% (2)	5.26% (1)	84.21% (16)						
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)						Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)											
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	0% (0)	21.05% (4)	73.68% (14)	Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	5.26% (1)	15.79% (3)	73.68% (14)						
Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	5.26% (1)	0% (0)	5.26% (1)	89.47% (17)	Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	5.26% (1)	0% (0)	10.53% (2)	84.21% (16)						
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	5.26% (1)	0% (0)	94.74% (18)	Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	5.26% (1)	0% (0)	94.74% (18)						
Φυλλώδες λαχανικό-Δεκέμβριος																	
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)																	
	1	2	3	4	5												
Υψος 0.00-0.5 m	10% (2)	15% (3)	0% (0)	25% (5)	50% (10)												
Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	10.53% (2)	10.53% (2)	15.79% (3)	63.16% (12)												
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	10.53% (2)	15.79% (3)	73.68% (14)												
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)																	
	1	2	3	4	5												
Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	10.53% (2)	21.05% (4)	63.16% (12)												
Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	10.53% (2)	78.95% (15)												
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	5.26% (1)	5.26% (1)	89.47% (17)												
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)																	
	1	2	3	4	5												
Υψος 0.00-0.5 m	5.26% (1)	0% (0)	5.26% (1)	15.79% (3)	73.68% (14)												
Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	5.26% (1)	0% (0)	10.53% (2)	84.21% (16)												
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	0% (0)	5.26% (1)	0% (0)	94.74% (18)												

Εικόνα 5.10. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων-ερωτηματολόγια Φυλλωδών λαχανικών

Παρατηρείται μια σχετικά ομοιόμορφη διασπορά των απαντήσεων των ερωτώμενων για τα Φυλλώδη λαχανικά. Τα Φυλλώδη λαχανικά επίσης αποτελούν μια καλλιέργεια χαμηλής βλάστησης και επομένως η ζημιά που προκαλείται σε αυτά αναμένεται να είναι ανάμεσα στις κατηγορίες «μεγάλη ζημιά» και «ολοκληρωτική ζημιά» κυρίως στα ακραία σενάρια πλημμύρας, όπως παρατηρείται και στις απαντήσεις των ερωτηθέντων.

Αστικές τομέας

Για κάθε αστική χρήση γης που μελετήθηκε προέκυψαν τα παρακάτω ποσοστά εμφάνισης της κάθε κατηγορίας ζημιάς, για καθένα από τα σενάρια πλημμύρας του ερωτηματολογίου (Εικ. 5.11). Θα έπρεπε να σημειωθεί ότι έγινε επεξεργασία σαράντα έξι (46) ερωτηματολογίων για κάθε μια κατηγορία μελέτης, δηλαδή για κτίσματα με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιία από τούβλο (βαθιά θεμελίωση), για πέτρινα κτίσματα (επιφανειακή θεμελίωση) και για κτίσματα από τούβλο-τσιμεντότουβλο (επιφανειακή θεμελίωση).

Στατιστική ανάλυση-κτίσματα μελέτης

Κτίσμα-φέροντα οργανισμό-οπλισμένο σκυρόδεμα-τοιχοποιία από τούβλο						Πέτρινο κτίσμα					
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)						Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	78.26% (36)	19.57% (9)	2.17% (1)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	73.91% (34)	19.57% (9)	6.52% (3)	0% (0)	0% (0)
Υψος 0.51-1.0 m	45.65% (21)	36.96% (17)	15.22% (7)	2.17% (1)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	39.13% (18)	41.30% (19)	17.39% (8)	2.17% (1)	0% (0)
Υψος 1.01-2.0 m	19.57% (9)	34.78% (16)	39.13% (18)	6.52% (2)	0% (0)	Υψος 1.01-2.0 m	13.04% (6)	45.65% (21)	23.91% (11)	17.39% (8)	0% (0)
Υψος 2.01-3.0 m	6.52% (2)	30.43% (14)	26.09% (12)	36.96% (17)	0% (0)	Υψος 2.01-3.0 m	8.70% (4)	17.39% (8)	30.43% (14)	36.96% (17)	6.52% (3)
Υψος > 3.0 m	0% (0)	21.74% (10)	23.91% (11)	50% (23)	4.35% (2)	Υψος > 3.0 m	2.17% (1)	15.22% (7)	19.57% (9)	41.30% (19)	21.74% (10)
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)						Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	60.87% (28)	30.43% (14)	8.70% (4)	0% (0)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	50% (23)	41.30% (19)	6.52% (3)	0% (0)	2.17% (1)
Υψος 0.51-1.0 m	32.61% (15)	41.30% (19)	21.74% (10)	4.35% (2)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	13.04% (6)	47.83% (22)	32.61% (15)	4.35% (2)	2.17% (1)
Υψος 1.01-2.0 m	8.70% (4)	34.78% (16)	41.30% (19)	15.22% (7)	0% (0)	Υψος 1.01-2.0 m	4.35% (2)	39.13% (18)	34.78% (16)	19.57% (9)	2.17% (1)
Υψος 2.01-3.0 m	2.17% (1)	19.57% (9)	32.61% (15)	45.65% (21)	0% (0)	Υψος 2.01-3.0 m	4.35% (2)	10.87% (5)	26.09% (12)	43.48% (20)	15.22% (7)
Υψος > 3.0 m	0% (0)	13.04% (6)	23.91% (11)	54.35% (25)	8.70% (4)	Υψος > 3.0 m	0% (0)	10.87% (5)	8.70% (4)	41.30% (19)	39.13% (18)
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)						Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)					
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Υψος 0.00-0.5 m	39.13% (18)	50% (23)	8.70% (4)	2.17% (1)	0% (0)	Υψος 0.00-0.5 m	28.26% (13)	45.65% (21)	19.57% (9)	4.35% (2)	2.17% (1)
Υψος 0.51-1.0 m	19.57% (9)	34.78% (16)	36.96% (17)	8.70% (4)	0% (0)	Υψος 0.51-1.0 m	10.87% (5)	30.43% (14)	41.30% (19)	15.22% (7)	2.17% (1)
Υψος 1.01-2.0 m	4.35% (2)	15.22% (7)	54.35% (25)	26.09% (12)	0% (0)	Υψος 1.01-2.0 m	4.35% (2)	10.87% (5)	43.48% (20)	34.78% (16)	6.52% (3)
Υψος 2.01-3.0 m	0% (0)	6.52% (2)	26.09% (12)	60.87% (28)	6.52% (2)	Υψος 2.01-3.0 m	2.17% (1)	4.35% (2)	15.22% (7)	56.52% (26)	21.74% (10)
Υψος > 3.0 m	0% (0)	6.52% (2)	15.22% (7)	47.83% (22)	30.43% (14)	Υψος > 3.0 m	0% (0)	2.17% (1)	10.87% (5)	26.09% (12)	60.87% (28)
Κτίσμα από τούβλο-τσιμεντότουβλο											
Μικρή ταχύτητα (< 0.5 m/s)											
	1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	54.35% (25)	36.96% (17)	4.35% (2)	4.35% (2)	0% (0)						
Υψος 0.51-1.0 m	19.57% (9)	47.83% (22)	23.91% (11)	6.52% (3)	2.17% (1)						
Υψος 1.01-2.0 m	4.35% (2)	26.09% (12)	41.30% (19)	19.57% (9)	8.70% (4)						
Υψος 2.01-3.0 m	0% (0)	6.52% (3)	30.43% (14)	43.48% (20)	19.57% (9)						
Υψος > 3.0 m	0% (0)	4.35% (2)	17.39% (8)	34.78% (16)	43.48% (20)						
Μεσαία ταχύτητα (0.51-1.5 m/s)											
	1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	34.78% (16)	47.83% (22)	10.87% (5)	4.35% (2)	2.17% (1)						
Υψος 0.51-1.0 m	6.52% (3)	39.13% (18)	39.96% (17)	13.04% (6)	4.35% (2)						
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	13.04% (6)	54.35% (25)	17.39% (8)	15.22% (7)						
Υψος 2.01-3.0 m	0% (0)	2.17% (1)	17.39% (8)	54.35% (25)	26.09% (12)						
Υψος > 3.0 m	0% (0)	0% (0)	4.35% (2)	34.78% (16)	60.87% (28)						
Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)											
	1	2	3	4	5						
Υψος 0.00-0.5 m	15.22% (7)	43.48% (20)	28.26% (13)	6.52% (3)	6.52% (3)						
Υψος 0.51-1.0 m	0% (0)	19.57% (9)	54.35% (25)	17.39% (8)	8.70% (4)						
Υψος 1.01-2.0 m	0% (0)	2.17% (1)	21.74% (10)	54.35% (25)	21.74% (10)						
Υψος 2.01-3.0 m	0% (0)	0% (0)	0% (0)	39.13% (18)	60.87% (28)						
Υψος > 3.0 m	0% (0)	0% (0)	0% (0)	10.87% (5)	89.13% (41)						

Εικόνα 5.11. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων από τα ερωτηματολόγια για τα αστικά κτίσματα

Για το κτίσμα με φέροντα οργανισμό από σκυρόδεμα και τοιχοποιία από τούβλο, υπάρχει μια τάση των απαντήσεων γύρω από τη κατηγορία «μεσαία ζημιά». Στα πιο ακραία όμως σενάρια πλημμύρας η γενική αυτή τάση των απαντήσεων μετακινείται προς την κατηγορία «μεγάλη ζημιά». Για τα πέτρινα κτίσματα, υπάρχει επίσης μια τάση των απαντήσεων γύρω από την

κατηγορία «μεσαία ζημιά». Ωστόσο, στα πιο ακραία σενάρια πλημμύρας η τάση αυτή μετακινείται προς την κατηγορία τόσο της «μεγάλης ζημιάς», όσο και της «ολοκληρωτικής ζημιάς», καθιστώντας τα πιο ευάλωτα κτίσματα σε σχέση με τα κτίσματα της προηγούμενης κατηγορίας. Τέλος για τα κτίσματα από τούβλο-τσιμεντότουβλο παρατηρείται μεγαλύτερη τάση των απαντήσεων προς την κατηγορία «ολοκληρωτικής ζημιάς» κυρίως στα ακραία σενάρια πλημμύρας, πράγμα αναμενόμενο καθώς αυτή η κατηγορία κτίσματος είναι η πιο ευάλωτη από όλες τις υπόλοιπες.

Ενίσχυση της συνθετικής πληροφορίας ζημιάς με χρήση σταθμισμένης Monte Carlo μεθόδου (Weighted Monte Carlo method)

Η σταθμισμένη Weighted Monte Carlo μαθηματική μέθοδος (WMC) για την ενίσχυση των δεδομένων ζημιάς των συμπληρωμένων ερωτηματολογίων, στηρίζεται στα βάρη που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα για την κάθε κατηγορία ζημιάς. Πιο συγκεκριμένα, ο WMC Python κώδικας παράγει μια τυχαία τιμή ύψους κύματος, h , και μια τυχαία τιμή ταχύτητας κύματος, v , στο εύρος των τιμών που έχουν καθοριστεί στα πλημμυρικά σενάρια τιμών των ερωτηματολογίων. Στη συνέχεια, μια κατηγορία ζημιάς $d \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$ αντιστοιχίζεται σε κάθε τυχαίο ζεύγος αριθμών (h, v) που παράγεται, σύμφωνα με το υπολογισμένο βάρος της κάθε κατηγορίας ζημιάς.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων της WMC μεθόδου με χρήση λογιστικής παλινδρόμησης για τη δημιουργία συνθετικών επιφανειών ζημιάς οδήγησε στο να γίνει μια σημαντική υπόθεση που αφορά στην κατηγοριοποίηση της ζημιάς. Η λογιστική παλινδρόμηση αναφέρεται σε διχοτομημένη μεταβλητή, που μπορεί να λάβει τιμές μόνο από δύο κατηγορίες. Έτσι σύμφωνα με την υπόθεση για την κατηγοριοποίηση της ζημιάς, όταν ο WMC κώδικας παράγει τιμή από την κατηγορία ζημιάς 1 ή 2 ή 3 (περιπτώσεις μηδενικής μικρής ή μεσαίας ζημιάς) τότε άμεσα η ζημιά αυτή αντιστοιχίζεται σε αριθμό ζημιάς 0, ενώ όταν παράγει τιμή από την κατηγορία ζημιάς 4 ή 5 (περιπτώσεις μεγάλης ή ολοκληρωτικής ζημιάς), αντιστοιχίζεται άμεσα σε αριθμό ζημιάς 1. Με αυτό τον τρόπο η ζημιά μετατράπηκε σε διχοτομημένη μεταβλητή, ενώ τα υπολογισμένα ποσοστά εμφάνισης για τις πέντε κατηγορίες ζημιάς, ενοποιήθηκαν σε δυο κατηγορίες. Τα νέα ποσοστά εμφάνισης των κατηγοριών ζημιάς, 0 ή 1, εξισώθηκαν με τους αντίστοιχους αριθμούς βαρύτητας, σύμφωνα με τους οποίους παράγεται η κατηγορία ζημιάς στον κώδικα WMC. Ο κώδικας WMC παράγει τυχαία αριθμούς ύψους κύματος, h , και ταχύτητας, v , ανάμεσα στα όρια τιμών που καθορίζονται από τα ερωτηματολόγια, ενώ η κατηγορία ζημιάς $d \in \{0, 1\}$ παράγεται ελεγχόμενα, σύμφωνα με τους νέους αριθμούς βαρύτητας. Με αυτόν τρόπο ο WMC κώδικας παράγει n ημι-τυχαίες τριάδες (h, v, d) δεδομένων ύψους, ταχύτητας και ζημιάς, αντίστοιχα. Παρατηρήθηκε μέσα από αλληπάλληλες δοκιμές ότι όσο πιο μεγάλος ο αριθμός των τριάδων, n , τόσο πιο καλά αποκρινόταν η μέθοδος Monte Carlo στην διαδικασία λογιστικής παλινδρόμησης του επόμενου βήματος.

Δημιουργία συνθετικών επιφανειών ζημιάς

Η σταθμισμένη Monte Carlo μέθοδος συνδυάστηκε με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης (LR) με αποτέλεσμα τη δημιουργία του Python κώδικα Weighted Monte Carlo

and Logistic Regression (WMCLR). Για κάθε οικονομικό τομέα μελέτης και για κάθε είδος καλλιέργειας ή κτίσματος που μελετήθηκε, οι n ημι-τυχαίες τριάδες ζημιάς (h, v, d) , αναλύονταν με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης για τον υπολογισμό των λογιστικών παραμέτρων, οι οποίες αποτελούν τις βασικές παραμέτρους για τη δημιουργία των ζητούμενων επιφανειών ύψους-ταχύτητας-ζημιάς.

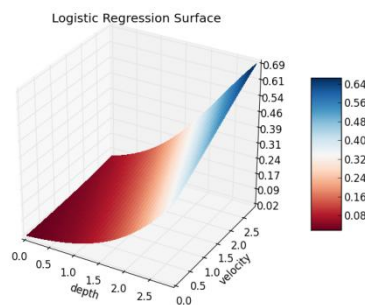
Αγροτικός τομέας

Σύμφωνα με την πληροφορία από τα συμπληρωμένα ερωτηματολόγια, δημιουργήθηκαν για κάθε μήνα μελέτης από το WMCLR Python μοντέλο, 1800 τριάδες ζημιάς (h, v, d) για τα Ελαιόδεντρα, τα Πορτοκαλαιόδεντρα και τις Τοματιές και 3600 τριάδες για τα Φυλλώδη λαχανικά. Το ύψος, h , και η ταχύτητά, v , του κύματος της πλημμύρας είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές, ενώ η ζημιά, d , η εξαρτημένη διχοτομημένη μεταβλητή. Η λογιστική συνάρτηση (Εξ. 5.1) χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει τη συνάρτηση απώλειας για κάθε καλλιέργεια που μελετήθηκε και για κάθε μήνα του έτους ξεχωριστά.

$$DC = \frac{1}{1 + \exp [-(a_0 + a_1 h + a_2 v)]} \quad (5.1)$$

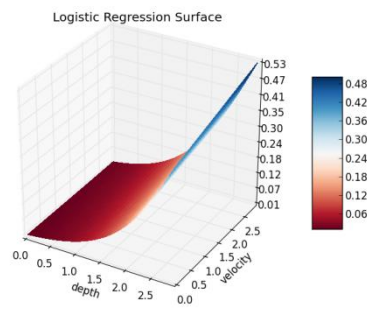
DC είναι η επιφάνεια ζημιάς (ποσοστιαίο μέγεθος), h (m), v ($m \cdot s^{-1}$) το ύψος και η ταχύτητα του κύματος της πλημμύρας, αντίστοιχα, ενώ a_0 , a_1 , a_2 οι άγνωστες λογιστικές παράμετροι. Σε κάθε εκτέλεση του WMCLR Python κώδικα, γίνεται εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων της λογιστικής παλινδρόμησης για κάθε καλλιέργεια που μελετήθηκε και για κάθε μήνα μελέτης. Αντικαθιστώντας τις τιμές των παραμέτρων στην Εξ. 5.1, προέκυπτουν συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τα Ελαιόδεντρα (Εικ. 5.12α-ζ), τα Πορτοκαλαιόδεντρα (Εικ. 5.13α-ζ), τις Τοματιές (Εικ. 5.14α-γ) και τα Φυλλώδη λαχανικά (Εικ. 5.15α-ζ) για κάθε μήνα μελέτης, ξεχωριστά. Οι επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς συνοδεύονται από τις εξισώσεις που παριστάνουν τις αντίστοιχες συναρτήσεις ζημιάς για κάθε καλλιέργεια μελέτης και για κάθε μήνα ξεχωριστά.

Ελαιόδεντρο



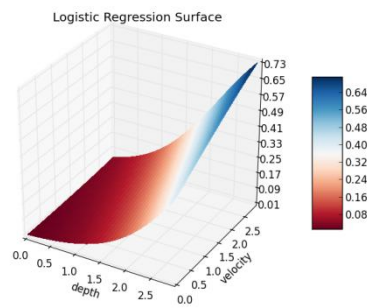
$$DC = \frac{1}{1 + \exp (4.05 - 1.22h - 0.45v)}$$

α. Ιανουάριος



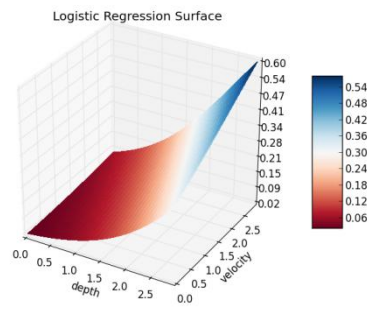
$$DC = \frac{1}{1 + \exp (4.56 - 1.45h - 0.16v)}$$

β. Φεβρουάριος



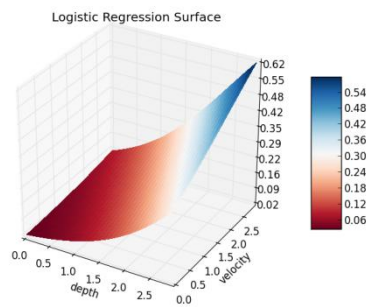
$$DC = \frac{1}{1 + \exp (4.14 - 1.40h - 0.47v)}$$

γ. Μάρτιος



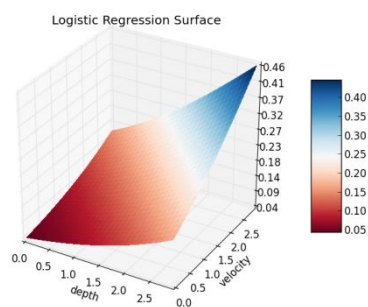
$$DC = \frac{1}{1 + \exp (3.85 - 1.05h - 0.41v)}$$

δ. Απρίλιος



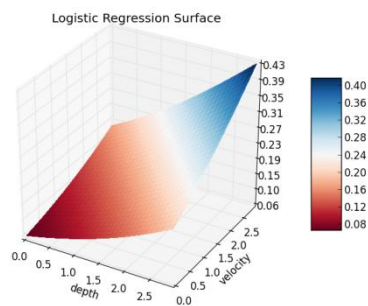
$$DC = \frac{1}{1 + \exp(3.70 - 1.00h - 0.44v)}$$

ε. Οκτώβριος



$$DC = \frac{1}{1 + \exp(3.12 - 0.53h - 0.49v)}$$

στ. Νοέμβριος



$$DC = \frac{1}{1 + \exp(2.69 - 0.45h - 0.38v)}$$

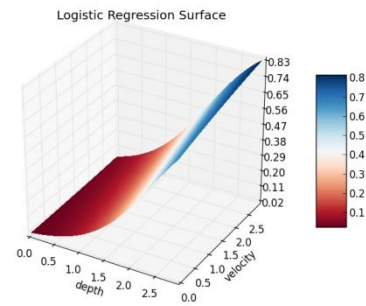
ζ. Δεκέμβριος

Εικόνα 5.12. Συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τα Ελαιόδεντρα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των επιφανειών ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τα Ελαιόδεντρα οι μήνες Ιανουάριος, Φεβρουάριος και Μάρτιος φαίνεται να είναι περισσότερο επιζήμιοι μήνες κυρίως σε συνθήκες ακραίων πλημμυρικών σεναρίων. Τα Ελαιόδεντρα παρουσιάζουν γενικά μεγαλύτερη ευαισθησία κατά τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο ακόμα και στα πλημμυρικά σενάρια μέτριας επικινδυνότητας.

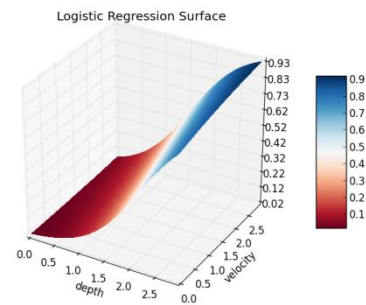
Πορτοκαλαιόδεντρο

$$DC = \frac{1}{1 + \exp (3.74 - 1.56h - 0.28v)}$$



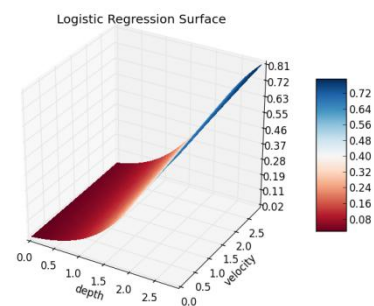
α. Ιανουάριος

$$DC = \frac{1}{1 + \exp (4.06 - 1.88h - 0.40v)}$$



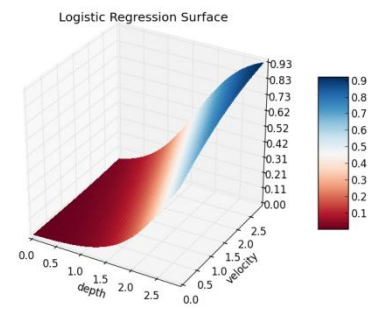
β. Φεβρουάριος

$$DC = \frac{1}{1 + \exp (3.94 - 1.67h - 0.19v)}$$



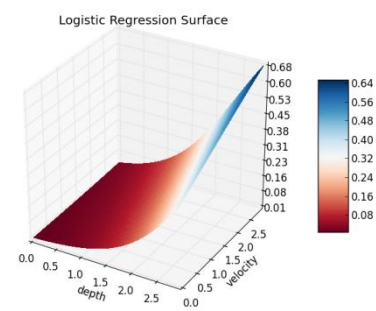
γ. Μάρτιος

$$DC = \frac{1}{1 + \exp (5.44 - 2.03h - 0.75v)}$$



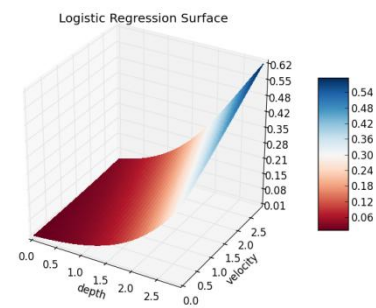
δ. Απρίλιος

$$DC = \frac{1}{1 + \exp (4.84 - 1.49h - 0.43v)}$$



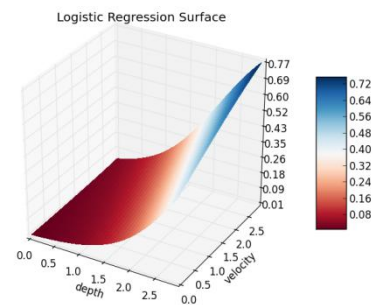
ε. Οκτώβριος

$$DC = \frac{1}{1 + \exp (4.49 - 1.29h - 0.43v)}$$



στ. Νοέμβριος

$$DC = \frac{1}{1 + \exp (4.72 - 1.56h - 0.49v)}$$



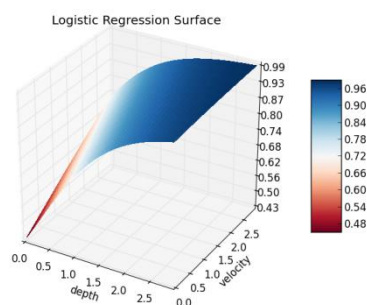
ζ. Δεκέμβριος

Εικόνα 5.13. Συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τα Πορτοκαλαιόδεντρα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των επιφανειών ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τα Πορτοκαλαιόδεντρα οι μήνες από τον Ιανουάριο μέχρι και τον Απρίλιο δείχνουν να είναι πιο επιζήμιοι μήνες κυρίως σε συνθήκες ακραίων πλημμυρικών σεναρίων. Για τους υπόλοιπους μήνες μελέτης (Οκτώβριος έως Δεκέμβριος) παρατηρείται μείωση του κινδύνου της καταστροφής σε ακραία σενάρια πλημμύρας.

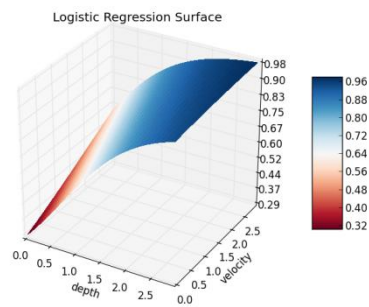
Στο σημείο αυτό θα έπρεπε να παρατηρηθεί ότι οι επιφάνειες που αντιστοιχούν στις δενδροειδείς καλλιέργειες χαρακτηρίζονται κυρτές επιφάνειες πράγμα το οποίο υποδηλώνει ότι αύξηση του ύψους και της ταχύτητας του πλημμυρικού κύματος συνεπάγεται μια σχετικά ομαλή αύξηση και της ζημιάς, πράγμα το οποίο δικαιολογείται από το είδος των δυο καλλιεργειών (δενδρώδεις καλλιέργειες).

Τοματιά



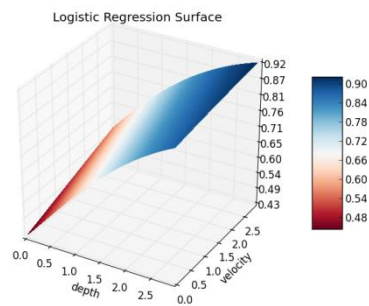
$$DC = \frac{1}{1 + \exp (0.27 - 1.28h - 0.43v)}$$

α. Απρίλιος



$$DC = \frac{1}{1 + \exp(0.89 - 1.27h - 0.40v)}$$

β. Οκτώβριος



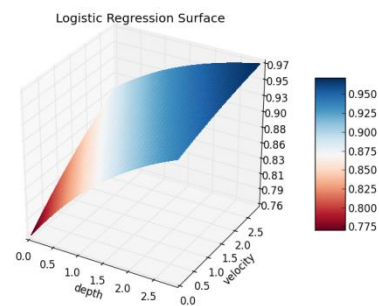
$$DC = \frac{1}{1 + \exp(0.26 - 0.77h - 0.18v)}$$

γ. Νοέμβριος

Εικόνα 5.14. Συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τις Τοματιές

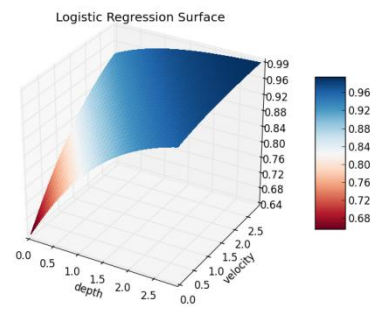
Φυλλώδη λαχανικά

$$DC = \frac{1}{1 + \exp(-1.18 - 0.53h - 0.29v)}$$



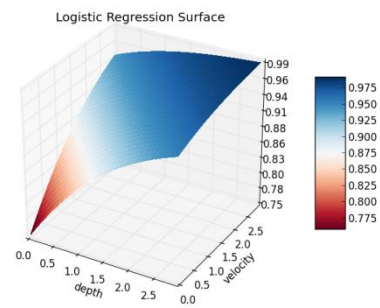
α. Ιανουάριος

$$DC = \frac{1}{1 + \exp(-0.58 - 0.92h - 0.68v)}$$



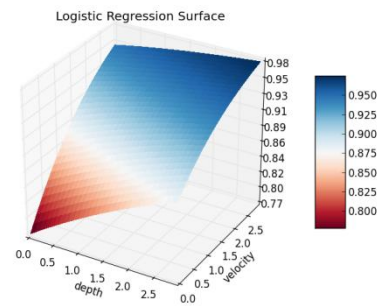
β. Φεβρουάριος

$$DC = \frac{1}{1 + \exp(-1.09 - 0.67h - 0.59v)}$$



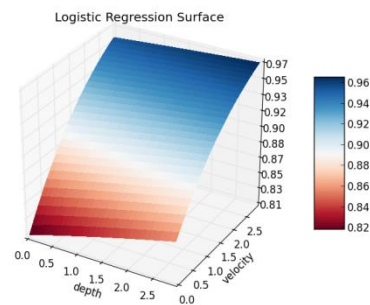
γ. Μάρτιος

$$DC = \frac{1}{1 + \exp(-1.22 - 0.27h - 0.58v)}$$



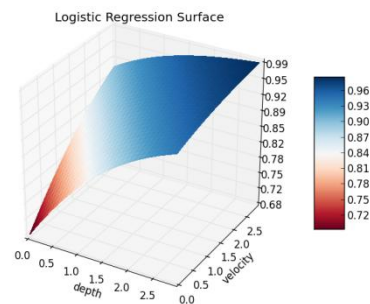
δ. Απρίλιος

$$DC = \frac{1}{1 + \exp(-1.48 - 0.11h - 0.54v)}$$



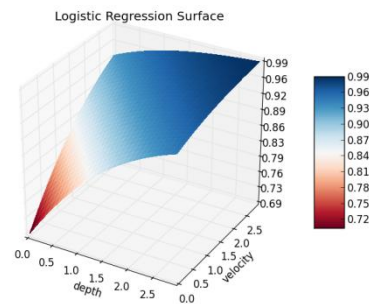
ε. Οκτώβριος

$$DC = \frac{1}{1 + \exp(-0.77 - 0.72h - 0.50v)}$$



στ. Νοέμβριος

$$DC = \frac{1}{1 + \exp(-0.81 - 0.72h - 0.60v)}$$



ζ. Δεκέμβριος

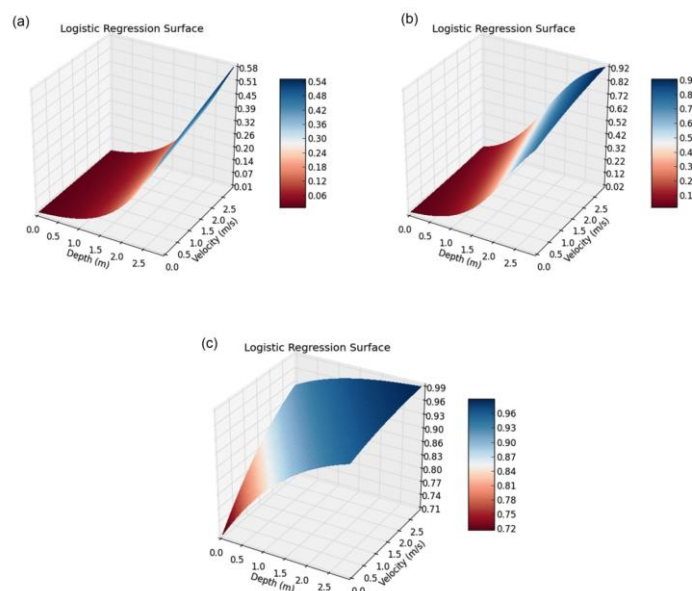
Εικόνα 5.15. Συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τα Φυλλώδη λαχανικά

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των επιφανειών ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τις Τοματιές ο κίνδυνος καταστροφής είναι αυξημένος ακόμη και για τα σενάρια πλημμύρας μέτριας επικινδυνότητας. Ομοίως για τα αποτελέσματα των επιφανειών ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τα Φυλλώδη λαχανικά ο κίνδυνος καταστροφής είναι αυξημένος για τα σενάρια πλημμύρας μέτριας, ακόμα και μικρής επικινδυνότητας. Τα παραπάνω συμπεράσματα είναι αναμενόμενα

αν λάβουμε υπόψη ότι οι καλλιέργειες αυτές εντάσσονται σε καλλιέργειες χαμηλής βλάστησης. Στο σημείο αυτό θα έπρεπε να παρατηρηθεί ότι οι επιφάνειες που αντιστοιχούν στις παραπάνω δυο καλλιέργειες χαρακτηρίζονται κοίλες επιφάνειες, πράγμα το οποίο υποδηλώνει ότι αύξηση του ύψους και της ταχύτητας του πλημμυρικού κύματος συνεπάγεται μια απότομη και σημαντική αύξηση και της ζημιάς, πράγμα το οποίο δικαιολογείται από το είδος των δυο καλλιεργειών (καλλιέργειες χαμηλής βλάστησης).

Επομένως τα Φυλλώδη λαχανικά και οι Τομάτες αναμένεται να παρουσιάζουν μεγαλύτερη ζημιά από ότι οι δενδροειδείς καλλιέργειες, πράγμα αναμενόμενο καθώς ανήκουν σε χαμηλής βλάστησης καλλιέργειες και καταλαμβάνουν μικρό ύψος πάνω από το έδαφος. Οι δενδροειδείς καλλιέργειες άλλωστε είναι γενικά πιο ανθεκτικές στη ζημιά, λόγω του χοντρού κορμού που διαθέτουν. Είναι άξιο να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν πολλές εργασίες που αναφέρονται στη ζημιά που προκαλείται από πλημμύρα στις δενδροειδείς καλλιέργειες (Brémond et al. 2013) καθώς είναι δύσκολο να δημιουργηθούν καμπύλες ζημιάς που αναφέρονται σε δενδροειδείς καλλιέργειες. Το παραπάνω προσδίδει στην παρούσα διδακτορική διατριβή ένα καινοτόμο χαρακτήρα. Επίσης το γεγονός ότι η παράμετρος της ταχύτητας έχει εισαχθεί στις επιφάνειες ζημιάς αποτελεί μια ακόμη καινοτομία για την παρούσα διδακτορική διατριβή.

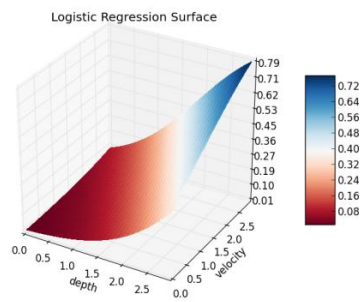
Για την πλημμύρα μελέτης στην παρούσα διδακτορική διατριβή χρησιμοποιήθηκαν οι επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς (Εικ. 5.16), οι οποίες αντιστοιχούν στις επιφάνειες ζημιάς για κάθε καλλιέργεια που εξετάζεται στην παρούσα διδακτορική διατριβή και για το μήνα Φεβρουάριο, το μήνα εμφάνισης της πλημμύρας μελέτης. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία, το Φεβρουάριο δεν καρποφορούν τομάτες, επομένως στην αγροτική χρήση γης, σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, αντιστοιχίζονται μόνο τα Φυλλώδη λαχανικά.



Εικόνα 5.16. Συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για το Ελαιόδεντρο (α), Πορτοκαλιόδεντρο (b) και τα Φυλλώδη λαχανικά (c) τον Φεβρουάριο

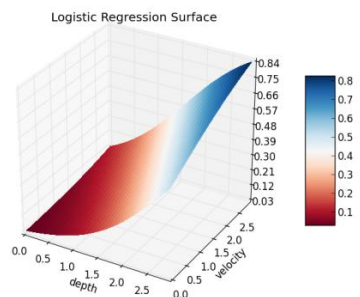
Αστικός τομέας

Σύμφωνα με την πληροφορία από τα συμπληρωμένα ερωτηματολόγια, δημιουργήθηκαν από το WMCLR Python μοντέλο, 5400 τριάδες ζημιάς (h, v, d) για κάθε είδος κτίσματος που μελετήθηκε. Το ύψος, h , και η ταχύτητα, v , του κύματος της πλημμύρας είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές, ενώ η ζημιά, d , η εξαρτημένη διχοτομημένη μεταβλητή. Η λογιστική συνάρτηση (Εξ. 5.1) χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει τη συνάρτηση απώλειας για κάθε κτίσμα που μελετήθηκε. Σε κάθε εκτέλεση του κώδικα του WMCLR Python μοντέλου, γίνεται εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων της λογιστικής παλινδρόμησης για κάθε κατηγορία κτίσματος που μελετήθηκε. Αντικαθιστώντας τις τιμές των παραμέτρων στην Εξ. 5.1, προέκυψαν οι συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για τα κτίσματα με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιία από τούβλο (βαθιά θεμελίωση) (Εικ. 5.17), για τα πέτρινα κτίσματα (επιφανειακή θεμελίωση) (Εικ. 5.18) και για τα κτίσματα από τούβλο-τσιμεντότουβλο (επιφανειακή θεμελίωση) (Εικ. 5.19). Οι επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς στις παρακάτω εικόνες συνοδεύονται από τις εξισώσεις που παριστάνουν τις αντίστοιχες συναρτήσεις ζημιάς για κάθε κτίσμα μελέτης ξεχωριστά.



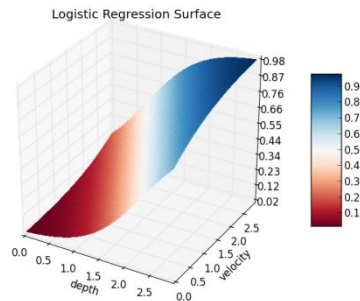
$$DC = \frac{1}{1 + \exp(4.28 - 1.27h - 0.67v)}$$

Εικόνα 5.17. Συνθετική λογιστική επιφάνεια ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για κτίσμα με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιία από τούβλο (βαθιά θεμελίωση)



$$DC = \frac{1}{1 + \exp(3.56 - 1.27h - 0.53v)}$$

Εικόνα 5.18. Συνθετική λογιστική επιφάνεια ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για πέτρινο κτίσμα (επιφανειακή θεμελίωση)



$$DC = \frac{1}{1 + \exp(4.12 - 1.78h - 0.97v)}$$

Εικόνα 5.19. Συνθετική λογιστική επιφάνεια ύψους-ταχύτητας-ζημιάς για κτίσμα από τούβλο-τσιμεντότουβλο (επιφανειακή θεμελίωση)

Παρατηρείται ότι οι επιφάνειες ζημιάς που αντιστοιχούν στις δυο πρώτες κατηγορίες κτίσματος είναι κυρτές, σε αντίθεση με την επιφάνεια ζημιάς που αντιστοιχεί στο κτίσμα από τσιμεντόλιθο. Η τελευταία επιφάνεια είναι κοίλη και παρουσιάζει μια απότομη αύξηση της ζημιάς κυρίως για τα ακραία σενάρια πλημμύρας. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει το μεγάλο κίνδυνο πλημμυρικής ζημιάς, στον οποίο είναι εκτεθειμένο ένα τέτοιο κτίριο, όπως και ήταν αναμενόμενο.

Μεθοδολογία εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα

Στην παρούσα διδακτορική εργασία παρουσιάζεται ένα τεχνοοικονομικό μοντέλο εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από πλημμύρα στον αγροτικό και αστικό τομέα της περιοχής μελέτης, το οποίο σχεδιάστηκε, αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Δημιουργήθηκαν δύο ξεχωριστά μοντέλα ζημιάς, ένα για τον αγροτικό τομέα, το οποίο αναφέρεται στην πλημμυρική ζημιά που προκαλείται σε αγροτικό περιβάλλον και σε κάθε καλλιέργεια μελέτης, και ένα για τον αστικό τομέα, το οποίο αναφέρεται στην πλημμυρική ζημιά που προκαλείται σε αστικό περιβάλλον και σε κάθε κτίσμα μελέτης. Το μοντέλο αυτό αλληλεπιδρά άμεσα με τα αποτελέσματα του MIKE FLOOD υδρολογικού μοντέλου, με τη βοήθεια του ArcGIS. Είναι μοντέλο πλέγματος και κατασκευάστηκε με στόχο να χρησιμοποιεί το ίδιο πλέγμα με το MIKE FLOOD μοντέλο. Στη συγκεκριμένη διδακτορική διατριβή έχουν εφαρμοστεί δυο εκδοχές του. Η μία εκδοχή αναφέρεται σε πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m, η οποία εφαρμόστηκε στον αγροτικό και αστικό τομέα. Η δεύτερη εκδοχή αποτελεί εκδοχή πλέγματος με κελί διάστασης 10 m x 10 m, η οποία εφαρμόστηκε μόνο για τον αγροτικό τομέα. Το τεχνοοικονομικό μοντέλο λαμβάνει ως δεδομένα εισαγωγής σε κάθε κελί του πλέγματος την πληροφορία από τα αποτελέσματα του MIKE FLOOD μοντέλου για το μέγιστο ύψος κύματος και την αντίστοιχη ταχύτητα κύματος, τη χρονική στιγμή όπου το ύψος μεγιστοποιείται. Στη συνέχεια εκτιμά σε κάθε κελί την πλημμυρική

ζημιά, σύμφωνα με τις εξισώσεις και την μεθοδολογία που παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης της ζημιάς που υπολογίζει το τεχνοοικονομικό μοντέλο, για καθένα από τους οικονομικούς τομείς μελέτης.

Αγροτικός τομέας

Για τον αγροτικό τομέα, η οικονομική ζημιά ανά κελί, υπολογίστηκε με χρήση της Εξ. 3.39. Οι τιμές για το εκτιμώμενο κόστος ανά μονάδα βάρους (C_{uw}) και της σοδειάς ανά μονάδα επιφάνειας (Y_{ua}) για κάθε κατηγορία καλλιέργειας, που μελετήθηκε, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2 από τα επίσημα δεδομένα του ΕΛΓΑ. Με χρήση της Εξ. 3.40 υπολογίζεται η ζημιά σε όλο το πλέγμα μελέτης και για κάθε κατηγορία καλλιέργειας ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα της εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς σε κάθε μια περίπτωση κελιού πλέγματος (κελί διάστασης 5 m x 5 m και κελί διάστασης 10 m x 10 m), παρουσιάζονται παρακάτω, ενώ ακολουθεί η σύγκρισή τους.

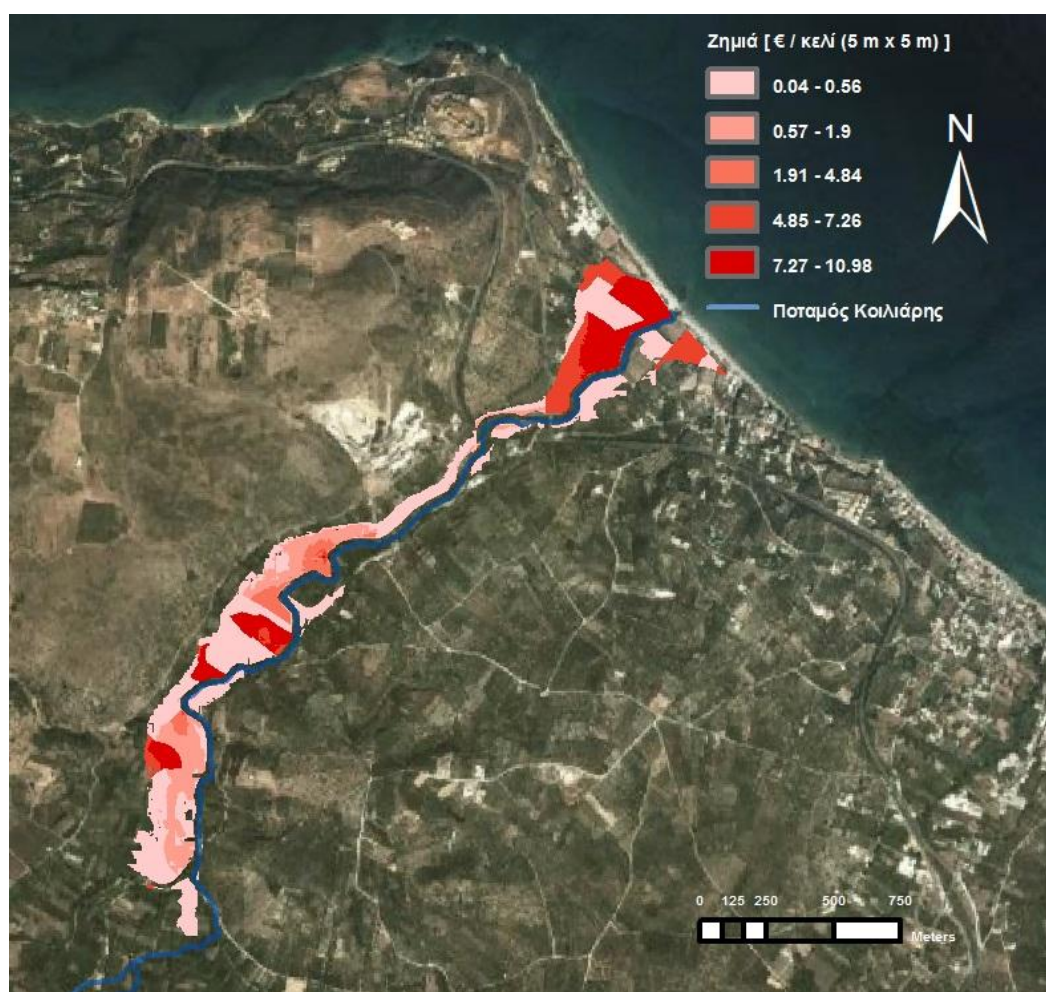
Κελί 5 m x 5 m

Το μοντέλο πλέγματος με κελί διάστασης 5 m x 5 m έλαβε ως πληροφορία τα αποτελέσματα του MIKE FLOOD μοντέλου, το οποίο χρησιμοποιεί επίσης κελί διάστασης 5 m x 5 m, αφού αυτά είχαν μετατραπεί σε δεδομένα κানাβου με τη βοήθεια του ArcGIS. Σε κάθε κελί διάστασης 5 m x 5 m λήφθηκαν ως δεδομένα εισαγωγής το μέγιστο ύψος του πλημμυρικού κύματος και η αντίστοιχη ταχύτητά του στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή όπου το ύψος μεγιστοποιείται. Παράλληλα, λήφθηκε η πληροφορία για τη χρήση γης από το γεω-χωρικό διανυσματικό αρχείο (shapefile) αγροτικών χρήσεων γης σε ArcGIS περιβάλλον. Η χρήση γης που παρατηρήθηκε στο κέντρο του κάθε 5 m x 5 m κελιού, θεωρήθηκε χρήση γης στο σύνολο του κελιού. Για το μήνα Φεβρουάριο, όπου πραγματοποιήθηκε η πλημμύρα μελέτης, σε κάθε κελί του πλέγματος ο WMCLR κώδικας αντιστοιχίζει την κατάλληλη επιφάνεια ζημιάς ανάλογα με την καλλιέργεια που συναντούσε στο κελί, ενώ ο Pythou κώδικας εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς υπολόγιζε τη ζημιά ανά μονάδα επιφάνειας του κελιού (Εξ. 3.39). Η συνολική αγροτική ζημιά σε όλο τον κানাβο υπολογίστηκε από τον Pythou κώδικα εκτίμησης της ζημιάς αθροίζοντας τις ζημιές ανά κελί μελέτης (Εξ. 3.40). Οι εκτιμήσεις ζημιάς για το πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m παρουσιάζονται αναλυτικά για κάθε καλλιέργεια μελέτης και για τη συνολική αγροτική ζημιά στον Πίνακα 5.1. Στην Εικ. 5.20 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της εκτιμώμενης ζημιάς, ανά 5 m x 5 m κελί, που προκλήθηκε από την πλημμύρα μελέτης.

Το μοντέλο πλέγματος για την εκτίμηση της ζημιάς με κελί 5 m x 5 m, υπολόγισε για την πλημμύρα της 11^{ης}-12^{ης} Φεβρουαρίου 2003 συνολική αγροτική ζημιά 49,360.8 €. Η επιφάνεια που πλημμύρισε υπολογίστηκε σε 49.1 εκτάρια από τα οποία το 32% ήταν Ελαιόδεντρα, 40% Πορτοκαλαιόδεντρα και 28% Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (Πίνακας 5.1). Παρόλο που η επιφάνεια κατάκλισης κάλυψε μεγαλύτερη έκταση Πορτοκαλαιόδεντρων, η ζημιά που προκλήθηκε στα Σύνθετα Συστήματα Καλλιέργειας ήταν μεγαλύτερης σημαντικότητας. Επίσης ο κίνδυνος της πλημμυρικής ζημιάς είναι περισσότερο εμφανής στην κατάντη περιοχή.

Πίνακας 5.1. Εκτιμώμενη αγροτική ζημιά για κάθε καλλιέργεια μελέτης και για τη συνολική αγροτική ζημιά (5 m x 5 m διάσταση κελιού)

Χρήση γης	Ζημιά (€)	Επιφάνεια πλημμύρας (ha)
Ελαιόδεντρα	1,196.6	15.6 (32.0%)
Πορτοκαλιόδεντρα	7,340.8	19.7 (40.0%)
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	40,823.4	13.8 (28.0%)
Συνολική ζημιά	49,360.8	49.1 (100%)



Εικόνα 5.20. Χωρική κατανομή εκτιμώμενης αγροτικής ζημιάς ανά 5 m x 5 m κελί

Κελί 10 m x 10 m

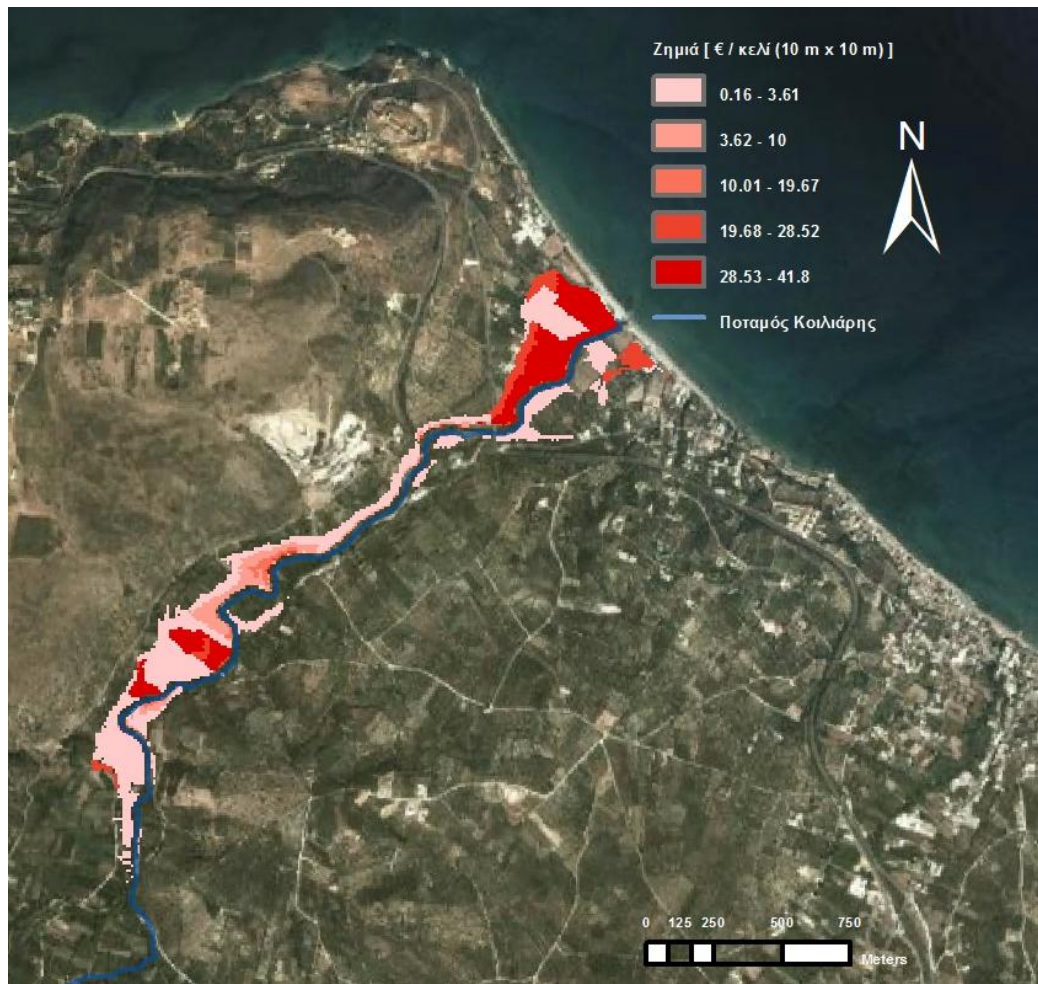
Το μοντέλο πλέγματος με κελί διάστασης 10 m x 10 m έλαβε ως πληροφορία τα αποτελέσματα του μοντέλου MIKE FLOOD που χρησιμοποιεί επίσης κελί διάστασης 10 m x 10 m, αφού αυτά είχαν μετατραπεί σε δεδομένα κανάβου με τη βοήθεια του ArcGIS. Σε κάθε κελί διάστασης 10 m x 10 m λήφθηκαν ως δεδομένα εισαγωγής το μέγιστο ύψος του πλημμυρικού κύματος και η αντίστοιχη ταχύτητά του στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή όπου το ύψος μεγιστοποιείται. Παράλληλα, λήφθηκε η πληροφορία για τη χρήση γης από το γεωχωρικό διανυσματικό αρχείο (shapefile) αγροτικών χρήσεων γης σε ArcGIS περιβάλλον. Η χρήση γης που παρατηρήθηκε στο κέντρο του κάθε 10 m x 10 m κελιού, θεωρήθηκε χρήση γης στο σύνολο του κελιού. Για το μήνα Φεβρουάριο, όπου πραγματοποιήθηκε η πλημμύρα μελέτης, σε κάθε κελί του πλέγματος ο WMCLR κώδικας αντιστοιχίζει την κατάλληλη επιφάνεια ζημιάς ανάλογα με την καλλιέργεια που συναντούσε στο κελί, ενώ ο Python κώδικας εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς υπολόγιζε τη ζημιά ανά μονάδα επιφάνειας του κελιού (Εξ. 3.39). Η συνολική αγροτική ζημιά σε όλο τον κάναβο υπολογίστηκε από τον Python κώδικα εκτίμησης της ζημιάς αθροίζοντας τις ζημιές ανά κελί μελέτης (Εξ. 3.40). Οι εκτιμήσεις ζημιάς για το πλέγμα με κελί διάστασης 10 m x 10 m παρουσιάζονται αναλυτικά για κάθε καλλιέργεια μελέτης και για τη συνολική αγροτική ζημιά στον Πίνακα 5.2. Στην Εικ. 5.21 απεικονίζεται η χωρική κατανομή της εκτιμώμενης ζημιάς, ανά 10 m x 10 m κελί, που προκλήθηκε από την πλημμύρα μελέτης.

Πίνακας 5.2. Εκτιμώμενη αγροτική ζημιά για κάθε καλλιέργεια μελέτης και για τη συνολική αγροτική ζημιά (10 m x 10 m διάσταση κελιού)

Χρήση γης	Ζημιά (€)	Επιφάνεια πλημμύρας (ha)
Ελαιόδεντρα	1,072.1	14.5 (39.0%)
Πορτοκαλαιόδεντρα	4,959.9	10.7 (28.0%)
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	36,277.2	12.3 (33.0%)
Συνολική ζημιά	42,309.2	37.5 (100%)

Το μοντέλο πλέγματος για την εκτίμηση της ζημιάς με κελί 10 m x 10 m, υπολόγισε για την πλημμύρα της 11^{ης}-12^{ης} Φεβρουαρίου 2003 συνολική αγροτική ζημιά 42,309.2 €. Η επιφάνεια που πλημμύρισε υπολογίστηκε σε 37.5 εκτάρια από τα οποία το 39% ήταν Ελαιόδεντρα, 28% Πορτοκαλαιόδεντρα και 33% Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας (Πίνακας 5.2). Παρόλο που η επιφάνεια κατάκλισης κάλυψε μεγαλύτερη έκταση Ελαιόδεντρων, η ζημιά που προκλήθηκε

στα Σύνθετα Συστήματα Καλλιέργειας ήταν μεγαλύτερης σημαντικότητας και σε αυτήν την περίπτωση. Ο κίνδυνος της πλημμυρικής ζημιάς διατηρείται περισσότερο εμφανής στην κατάντη περιοχή.



Εικόνα 5.21. Χωρική κατανομή εκτιμώμενης αγροτικής ζημιάς ανά 10 m x 10 m κελί

Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι στην περίπτωση του πλέγματος με κελί διάστασης 10 m x 10 m, η μέγιστη τιμή ζημιάς που υπολογίστηκε σε κελί του κανάβου είναι 41.8 €, ενώ στην περίπτωση του κελιού διάστασης 5 m x 5 m είναι γύρω στα 10.9 €. Επομένως το μοντέλο με κελί 10 m x 10 m δείχνει να εκτιμά μεγαλύτερες τιμές σε κάθε κελί, και πιο συγκεκριμένα σχεδόν τετραπλάσιες τιμές, πράγμα αναμενόμενο καθώς το 10 m x 10 m κελί καλύπτει επιφάνεια τετραπλάσια σε σχέση με την επιφάνεια που καλύπτει το κελί 5 m x 5 m.

Επιπλέον, το μοντέλο με κελί 5 m x 5 m εκτιμά πιο μεγάλες συνολικές ζημιές σε σχέση με το μοντέλο κελιού 10 m x 10 m, ενώ η επιφάνεια κατάκλισης είναι επίσης μεγαλύτερη σε αυτό. Τα δύο μοντέλα παρουσιάζουν σχεδόν ίδια συμπεριφορά για τις αγροτικές κατηγορίες καλλιέργειας, Ελαιόδεντρα και Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας, ενώ διαφοροποιούνται στην καλλιέργεια Πορτοκαλαιόδεντρα. Πιο συγκεκριμένα το 5 m x 5 m μοντέλο εκτιμά για τα Πορτοκαλαιόδεντρα περίπου 2,000 € παραπάνω ζημιά, ενώ η επιφάνεια κατάκλισης για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια είναι κατά 9 εκτάρια μεγαλύτερη. Αυτό ίσως να οφείλεται στο

γεγονός ότι όσο πιο μικρή είναι η διάσταση του κελιού του μοντέλου, τόσο πιο λεπτομερείς θα είναι οι εκτιμήσεις του.

Αστικός τομέας

Για τον αστικό τομέα, η οικονομική ζημιά υπολογίστηκε με χρήση της Εξ. 3.41. Οι τιμές για το κόστος ανά μονάδα επιφάνειας για κάθε κατηγορία κτίσματος που μελετήθηκε (EC_{str}), παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3 και προκύπτουν από επίσημα δεδομένα του Υπουργείου Οικονομικών. Τα αποτελέσματα της εκτίμησης της αστικής ζημιάς για την περίπτωση του 5 m x 5 m κελιού που μελετήθηκε, παρουσιάζονται παρακάτω. Στο σημείο αυτό θα έπρεπε να αναφερθεί ότι το μοντέλο εκτίμησης της ζημιάς για τον αστικό τομέα έχει εφαρμοστεί μόνο σε πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m διότι στον αστικό τομέα η κλίμακα που χρησιμοποιείται παίζει σημαντικό ρόλο. Όσο πιο μικρή η κλίμακα τόσο πιο λεπτομερής είναι και η κατανομή των χαρακτηριστικών της πλημμύρας που παρέχονται από το υδρολογικό μοντέλο (Ernst et al. 2010). Στην παρούσα διδακτορική διατριβή η χρήση κελιού διάστασης 5 m x 5 m για τον αστικό τομέα, προσδίδει ένα χαρακτηριστικό καινοτομίας, τουλάχιστον σε εθνικό επίπεδο. Βιβλιογραφικά οι Ernst et al. (2010) παρουσιάζουν μια πιο καινοτόμο μέθοδο εκτίμησης της ζημιάς στον αστικό τομέα με χρήση πλέγματος με κελί διάστασης 2 m x 2 m.

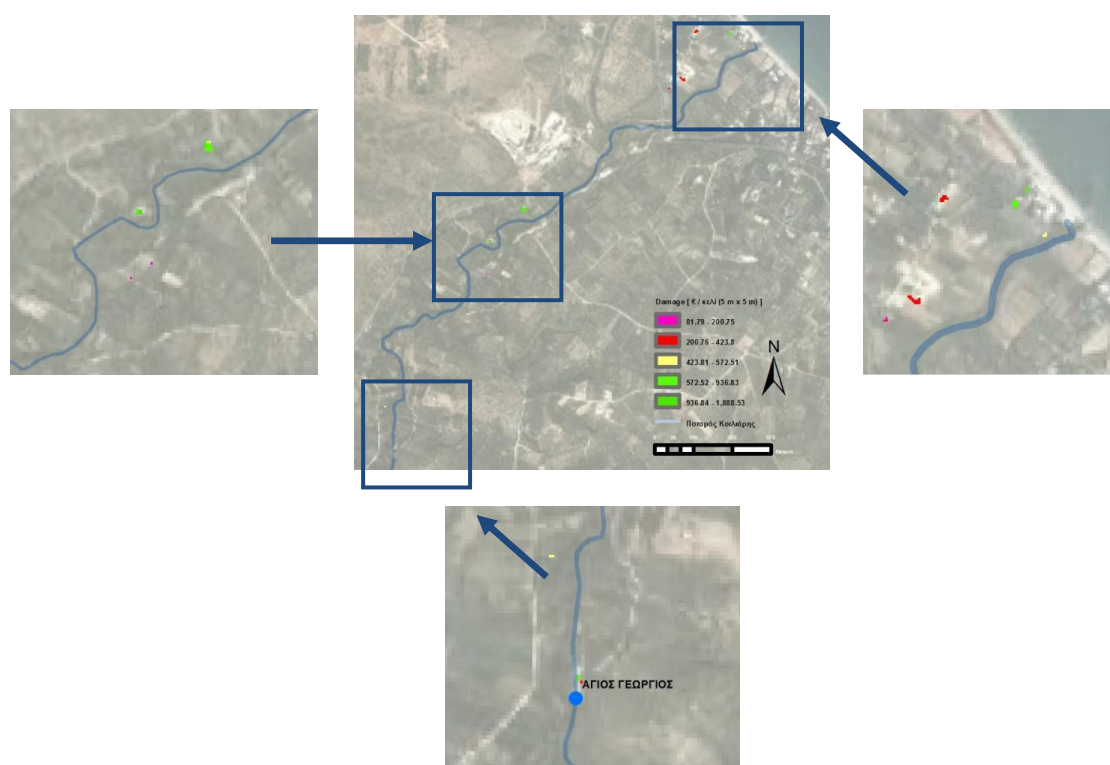
Κελί 5 m x 5 m

Το μοντέλο πλέγματος με κελί διάστασης 5 m x 5 m έλαβε ως πληροφορία τα αποτελέσματα του MIKE FLOOD μοντέλου, το οποίο χρησιμοποιεί επίσης κελί διάστασης 5 m x 5 m αφού αυτά είχαν μετατραπεί σε δεδομένα κανάβου με τη βοήθεια του ArcGIS. Σε κάθε κελί διάστασης 5 m x 5 m λήφθηκαν ως δεδομένα εισαγωγής το μέγιστο ύψος του πλημμυρικού κύματος και η αντίστοιχη ταχύτητά του στη συγκεκριμένη χρονική στιγμή όπου το ύψος μεγιστοποιείται. Παράλληλα, λήφθηκε η πληροφορία για τη χρήσης γης από το γεω-χωρικό διανυσματικό αρχείο (shapefile) αστικών χρήσεων γης σε ArcGIS περιβάλλον. Το είδος του κτίσματος που παρατηρήθηκε στο κέντρο του κάθε 5 m x 5 m κελιού, θεωρήθηκε ότι καταλαμβάνει την επιφάνεια όλου του κελιού. Σε κάθε κελί του πλέγματος ο κώδικας WMCLR αντιστοιχίζει την κατάλληλη επιφάνεια ζημιάς ανάλογα με το κτίσμα που συναντούσε στο κελί, ενώ ο Python κώδικας εκτίμησης της αστικής ζημιάς υπολόγιζε τη ζημιά ανά μονάδα επιφάνειας του κελιού και για το σύνολο των κελιών του πλέγματος (Εξ. 3.41). Οι εκτιμήσεις ζημιάς για το πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m παρουσιάζονται αναλυτικά για κάθε κτίσμα μελέτης και για τη συνολική αστική ζημιά στον Πίνακα 5.3. Στην Εικ. 5.22 απεικονίζεται η χωρική κατανομή της εκτιμώμενης ζημιάς, ανά 5 m x 5 m κελί, που προκλήθηκε από την πλημμύρα μελέτης.

Το μοντέλο πλέγματος για την εκτίμηση της ζημιάς με κελί 5 m x 5 m, υπολόγισε για την πλημμύρα της 11^{ης}-12^{ης} Φεβρουαρίου 2003 συνολική αστική ζημιά 41,813.8 €. Η επιφάνεια που πλημμύρισε υπολογίστηκε σε 1700 m² από τα οποία τα 1475 m² ήταν Κατοικίες και τα 225 m² Αποθήκες (Πίνακας 5.3). Προφανώς η ζημιά που προκλήθηκε στις Κατοικίες είναι μεγαλύτερης σημαντικότητας, ενώ ο κίνδυνος της πλημμυρικής ζημιάς είναι περισσότερο εμφανής στην κατάντη περιοχή, όπου παρατηρείται και πιο έντονη αστική δραστηριότητα.

Πίνακας 5.3. Εκτιμώμενη αστική ζημιά για κάθε κτίσμα μελέτης και για τη συνολική αστική ζημιά (5 m x 5 m διάσταση κελιού)

Χρήση γης	Ζημιά (€)	Επιφάνεια πλημμύρας (m ²)
Κατοικία	37,701.1	1475
Αποθήκη	4,112.7	225
Συνολική ζημιά	41,813.8	1700



Εικόνα 5.22. Χωρική κατανομή εκτιμώμενης αστικής ζημιάς ανά 5 m x 5 m κελί

Πιστοποίηση μοντέλου εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς

Η πιστοποίηση ενός μοντέλου εκτίμησης ζημιάς μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση ιστορικών δεδομένων. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, ωστόσο, δεν υπήρχαν ιστορικά δεδομένα που να συνδέουν τη ζημιά που προκαλείται από μια πλημμύρα με τις παραμέτρους πλημμύρας. Για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης βρέθηκαν ιστορικά στοιχεία ζημιάς μόνο για τον αγροτικό τομέα, από τον ΕΛΓΑ, ωστόσο αυτά δεν αναφέρονται στο πλημμυρικό γεγονός μελέτης που εξετάζει η παρούσα διδακτορική διατριβή. Για τον αστικό τομέα, δε

βρέθηκαν ιστορικά δεδομένα από επίσημες πηγές. Όπως αναφέρεται και στην Πιστρικα (2010) στην Ελλάδα είναι πολύ περιορισμένη η πρόσβαση σε ιστορικά δεδομένα ζημιάς, λόγω της αυστηρής νομοθεσίας για την παραβίαση των προσωπικών δεδομένων. Παρακάτω περιγράφεται η προσπάθεια πιστοποίησης των εκτιμήσεων της αγροτικής ζημιάς από το Python μοντέλο εκτίμησης απωλειών με χρήση των διαθέσιμων ιστορικών δεδομένων του ΕΛΓΑ.

Για την πλημμύρας μελέτης στις 11-12 Φεβρουαρίου 2003, ο ΕΛΓΑ δεν διαθέτει καταγεγραμμένα δεδομένα ζημιάς για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει άμεσος τρόπος πιστοποίησης των αποτελεσμάτων του παραπάνω μοντέλου. Ωστόσο, οι καταγραφές που βρέθηκαν στα αρχεία του ΕΛΓΑ περιλαμβάνουν ζημιά 9,825 € για 0.7 εκτάρια στο σύνολο του Νομού Χανίων και για όλο τον μήνα Φεβρουάριο του 2003. Αναλυτικά οι καταγεγραμμένες ζημιές από τον ΕΛΓΑ παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4. Καταγεγραμμένες ζημιές από τον ΕΛΓΑ τον Φεβρουάριο 2003 στο Νομό Χανίων

Φεβρουάριος 2003	Περιγραφή	Ποικιλία	Κόστος Αποζημίωσης (€)	Πλημμυρισμένη Επιφάνεια (ha)
	Βολβώδη	Σκόρδα	227.02	0.05
	Καρποφόρα	Αγγούρια	5,092.56	0.2
		Τομάτες	3,788.4	0.15
	Κονδυλώδη	Καρότα	716.96	0.3
Σύνολο			9,824.94	0.7

Παρατηρούμε ότι οι ζημιά αναφέρεται κυρίως σε Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας. Αν συγκρίνουμε τις ζημιές αυτές με τα αποτελέσματα του προτεινόμενου μοντέλου ζημιάς και για την κατηγορία των Σύνθετων συστημάτων καλλιέργειας, είτε στο μοντέλο με κελί διάστασης 5 m x 5 m, είτε σε αυτό με κελί διάστασης 10 m x 10 m, παρατηρούμε ότι ο ΕΛΓΑ υπερεκτιμά τη ζημιά. Τα παραπάνω μοντέλα παρέχουν πιο συντηρητικές εκτιμήσεις για την πλημμυρική ζημιά που προκαλείται στον αγροτικό τομέα. Ωστόσο, το πιο σημαντικό είναι ότι το Python μοντέλο εκτίμησης της ζημιάς έχει τη δυνατότητα να προσδιορίζει πολύ συγκεκριμένα και με μεγάλη λεπτομέρεια την ακριβή τοποθεσία όπου πραγματοποιήθηκε η ζημιά. Το γεγονός αυτό αποτελεί μια ακόμα καινοτομία της παρούσας διδακτορικής διατριβής, τουλάχιστον σε εθνικό επίπεδο.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται η προσπάθεια πιστοποίησης του μοντέλου εκτίμησης της ζημιάς στον αγροτικό και αστικό τομέα με χρήση ανάλυσης αβεβαιότητας, η οποία μπορεί κάποιες φορές να αποδειχθεί ευεργετική (Brémond et al. 2012).

Κεφάλαιο 6: Ανάλυση Αβεβαιότητας για την πιστοποίηση της μεθοδολογίας εκτίμησης της ζημιάς

Η αβεβαιότητα στα αποτελέσματα του μοντέλου εκτίμησης ζημιάς μπορεί να οφείλεται είτε στο υδρολογικό μοντέλο, είτε στις θεωρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη δημιουργία του. Η τοπογραφία και η γεωμετρία του ποταμού είναι πολύ σημαντικές παράμετροι που επιφέρουν αβεβαιότητα στα αποτελέσματα του υδρολογικού μοντέλου. Η αβεβαιότητα που σχετίζεται με τις θεωρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά τη δημιουργία του μοντέλου εκτίμησης ζημιάς μπορεί να οφείλεται είτε στα δεδομένα ζημιάς και τις καμπύλες ζημιάς, είτε στο είδος της χωρικής διαφοροποίησης που χρησιμοποιείται κατά την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς.

Η έλλειψη ιστορικών δεδομένων ζημιάς δε μας επιτρέπει την άμεση πιστοποίηση του μοντέλου εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς. Στο κεφάλαιο αυτό εφαρμόζεται εναλλακτικός τρόπος για την επίτευξη του σκοπού αυτού, ο οποίος περιλαμβάνει τον έλεγχο της αβεβαιότητας των εκτιμήσεων του Python τεχνοοικονομικού μοντέλου. Όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία, η ανάλυση αβεβαιότητας αρκετές φορές αποδεικνύεται ωφέλιμη (Brémond et al. 2012).

6.1 Πιστοποίηση μεθοδολογίας εκτίμησης ζημιάς με χρήση ανάλυσης αβεβαιότητας

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή πραγματοποιήθηκε προσπάθεια πιστοποίησης του μοντέλου εκτίμησης ζημιάς με χρήση στατιστικής ανάλυσης αβεβαιότητας. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει μια σειρά από διαδοχικές Monte Carlo εκτελέσεις του Python κώδικα εκτίμησης της ζημιάς, για κάθε ένα από τους οικονομικούς τομείς μελέτης.

Πιο συγκεκριμένα για τον αγροτικό τομέα, ο Python WMCLR κώδικας εκτελέστηκε εκατό (100) διαδοχικές φορές, παρέχοντας εκατό διαφορετικές επιφάνειες ζημιάς για κάθε καλλιέργεια μελέτης, για τον μήνα εμφάνισης της πλημμύρας, το Φεβρουάριο. Οι εκατό αυτές διαφορετικές επιφάνειες ζημιάς εισήχθησαν στο μοντέλο εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς, με αποτέλεσμα να επιτευχθούν εκατό (100) διαδοχικές εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε κατηγορία καλλιέργειας και για τη συνολική αγροτική ζημιά. Ουσιαστικά, δημιουργήθηκε μια νέα Monte Carlo μοντελοποίηση, στην οποία η μεταβαλλόμενη παράμετρος ήταν η παραγόμενη επιφάνεια ζημιάς για κάθε μια από τις κατηγορίες καλλιέργειας που μελετήθηκε. Στη συνέχεια ακολούθησε ανάλυση αβεβαιότητας για τις εκατό αυτές νέες Monte Carlo εκτιμήσεις ζημιάς, η οποία περιλάμβανε τον υπολογισμό διαστημάτων εμπιστοσύνης για κάθε μια καλλιέργεια μελέτης και για τη συνολική αγροτική ζημιά. Η ανάλυση αβεβαιότητας μπορεί να θεωρηθεί ως μέθοδος για τον έλεγχο της συνέπειας των αποτελεσμάτων του μοντέλου ζημιάς για τον αγροτικό τομέα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι αναλύσεις των εκατό Monte Carlo εκτελέσεων για το μοντέλο με κελί 5 m x 5 m και για το μοντέλο με κελί 10 m x 10 m.

Ομοίως, για τον αστικό τομέα, ο Python WMCLR κώδικας εκτελέστηκε εκατό (100) διαδοχικές φορές, παρέχοντας εκατό διαφορετικές επιφάνειες ζημιάς για κάθε κτίσμα μελέτης. Οι εκατό αυτές διαφορετικές επιφάνειες ζημιάς εισήχθησαν στο μοντέλο εκτίμησης της αστικής ζημιάς,

με αποτέλεσμα να επιτευχθούν εκατό (100) διαδοχικές εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε κατηγορία κτίσματος και για τη συνολική αστική ζημιά. Ουσιαστικά δημιουργήθηκε μια νέα Monte Carlo μοντελοποίηση, στην οποία η μεταβαλλόμενη παράμετρος ήταν η παράμετρος της επιφάνειας ζημιάς για κάθε μια από τις κατηγορίες κτίσματος που μελετήθηκε. Στη συνέχεια ακολούθησε ανάλυση αβεβαιότητας για τις εκατό αυτές νέες Monte Carlo εκτιμήσεις ζημιάς, η οποία περιλάμβανε τον υπολογισμό διαστημάτων εμπιστοσύνης για κάθε ένα κτίσμα μελέτης και για τη συνολική αστική ζημιά. Η ανάλυση αβεβαιότητας μπορεί να θεωρηθεί ως μέθοδος για τον έλεγχο της συνέπειας των αποτελεσμάτων του μοντέλου ζημιάς για τον αστικό τομέα. Παρακάτω παρουσιάζονται οι αναλύσεις των εκατό Monte Carlo εκτελέσεων για το μοντέλο με κελί 5 m x 5 m.

Τα αποτελέσματα των διαδοχικών αυτών εκτελέσεων αναλύθηκαν στατιστικά με χρήση δύο στατιστικών τεστ κανονικότητας, του D'Agostino-Pearson και του Lilliefors-παραλλαγή του Kolmogorov-Smirnov στατιστικού τεστ (Lilliefors K-S test), για τον έλεγχο της κανονικότητας των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς. Η μηδενική υπόθεση, H_0 , που εξετάστηκε, υποστηρίζει ότι το δείγμα των εκατό εκτιμήσεων προέρχεται από ένα κανονικό πληθυσμό. Στην περίπτωση όπου τα στατιστικά αυτά τεστ εξασφάλισαν την κανονικότητα των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς, εκτιμήθηκαν τα διαστήματα εμπιστοσύνης των εκτιμήσεων και οι συντελεστές μεταβλητότητας. Επιπλέον, υπολογίστηκαν διαστήματα εμπιστοσύνης με χρήση της μεθόδου των p -εκατοστημορίων, η οποία εφαρμόζεται σε γενικές περιπτώσεις, όπου δε γνωρίζουμε την κατανομή που ακολουθεί ένα δείγμα. Στην παρούσα εργασία το δείγμα αποτελούν οι εκτιμήσεις των Monte Carlo διαδοχικών εκτελέσεων του μοντέλου εκτίμησης της ζημιάς.

Τα διαστήματα εμπιστοσύνης των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς μπορεί να εξασφαλίσουν τη συνέπεια του μοντέλου. Όσο πιο στενό είναι ένα διάστημα εμπιστοσύνης, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η συνέπεια των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς. Η παρακάτω επομένως ανάλυση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης συνέπειας των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της ζημιάς.

D'Agostino-Pearson στατιστικό τεστ

Το στατιστικό τεστ D'Agostino-Pearson για την κανονικότητα των δεδομένων είναι ένα ευέλικτο και ισχυρό στατιστικό τεστ, το οποίο εφαρμόζεται σε σύνολα δεδομένων μεγέθους μεγαλύτερου του 20 (Sheskin 2003). Χρησιμοποιεί τα στατιστικά τεστ για την ασυμμετρία (skewness) και την κύρτωση (kurtosis), Z_S (Εξ. 6.1) και Z_K (Εξ. 6.2), αντίστοιχα, ώστε να υπολογίσει μια DP^2 -τιμή (Εξ. 6.3) (Joanes and Gill 1998):

$$Z_S = \frac{S}{SES} \quad SES = \sqrt{\frac{6m(m-1)}{(m-2)(m+1)(m+3)}} \quad (6.1)$$

όπου S είναι η ασυμμετρία του δείγματος, SES είναι το τυπικό σφάλμα της ασυμμετρίας και m είναι το μέγεθος του δείγματος (Joanes and Gill 1998). Η ασυμμετρία είναι ένα μέτρο που υποδηλώνει την ασυμμετρία της κατανομής του δείγματος. Αν η ασυμμετρία είναι ανάμεσα στις τιμές -0.5 και 0.5, τότε η κατανομή θεωρείται σχεδόν συμμετρική (Bulmer 1979). Το τυπικό σφάλμα της ασυμμετρίας είναι μέτρο μέτρησης της έκτασης που παίρνει η

ασυμμετρία και εκφράζεται ως συνάρτηση του μεγέθους του δείγματος, m (Cramer 1997). Για $m = 100$, $SES = 0.24138$.

$$Z_K = \frac{K}{SEK} \quad SEK = 2SES \sqrt{\frac{m^2 - 1}{(m - 3)(m + 5)}} \quad (6.2)$$

όπου K είναι η κύρτωση του δείγματος και SEK είναι το τυπικό σφάλμα της κύρτωσης. Η κύρτωση εκφράζει τον βαθμό στον οποίο η κατανομή κορυφώνεται, με τις μεγάλες τιμές να υποδηλώνουν μια υψηλή και οξύτερη κορυφή (Balanda and MacGillivray 1988). Για $m = 100$, $SEK = 0.478331$.

$$DP^2 = Z_S^2 + Z_K^2 \quad (6.3)$$

Η DP^2 στατιστική τιμή ακολουθεί την χ^2 -κατανομή (Chi-Square distribution) με δύο βαθμούς ελευθερίας, όταν ο πληθυσμός είναι κανονικά κατανεμημένος. Η μηδενική υπόθεση, H_0 , δεν απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας α αν η υπολογισμένη DP^2 -τιμή είναι μικρότερη της κρίσιμης τιμής (critical value). Η κρίσιμη τιμή της χ^2 -κατανομής με δύο βαθμούς ελευθερίας σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01, από τους κατάλληλους στατιστικούς χ^2 -πίνακες, είναι ίση με $\chi_{0.01}^2 = 9.21$ (Sheskin 2003).

Lilliefors-παραλλαγή του Kolmogorov-Smirnov στατιστικού τεστ

Το στατιστικό τεστ Lilliefors K-S είναι ένα τεστ κανονικότητας βασισμένο στο Kolmogorov-Smirnov τεστ. Συχνά εφαρμόζεται για να εξεταστεί η μηδενική υπόθεση, ότι τα δεδομένα προέρχονται από έναν κανονικά κατανεμημένο πληθυσμό, με άγνωστο μέσο και άγνωστη διακύμανση (Lilliefors 1967). Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής (Cumulative Distribution Functions-CDFs) του δείγματος, $F(\mathbf{z})$, και η αθροιστική συνάρτηση κατανομής της τυποποιημένης κανονικής κατανομής (Normal Cumulative Distribution Functions-NCDFs), $G(\mathbf{z})$, υπολογίστηκαν αρχικά για τις m ($m = 100$) εκτιμήσεις της ζημιάς z_1, z_2, \dots, z_m , διατεταγμένες σε αύξουσα σειρά, δηλαδή, $z_1 \leq z_2 \leq \dots \leq z_m$, για κάθε κατηγορία καλλιέργειας ή κτίσματος και για τη συνολική αγροτική ή αστική εκτιμώμενη ζημιά, αντίστοιχα. Αν η D τιμή (Εξ. 6.4) υπερβαίνει την κρίσιμη τιμή, D_α , σε α επίπεδο σημαντικότητας, τότε μπορούμε να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση, H_0 , ότι τα δεδομένα προέρχονται από ένα κανονικό πληθυσμό (Lilliefors 1967; Varouchakis 2012). Αυτό σημαίνει ότι η μηδενική υπόθεση, H_0 , είναι δεκτή σε α επίπεδο εμπιστοσύνης αν ισχύει η Εξ. 6.5.

$$D = \max (|G(\mathbf{z}) - F(\mathbf{z})|) \quad (6.4)$$

$$D \leq D_\alpha \quad (6.5)$$

όπου η D_α κρίσιμη τιμή (Εξ. 6.6) από τον στατιστικό πίνακα Lilliefors-παραλλαγή του Kolmogorov-Smirnov πίνακα (Lilliefors, 1967)

$$D_a = \frac{1.031}{\sqrt{m}} \quad \text{for } m > 30 \quad (6.6)$$

Όταν το δείγμα των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς ακολουθεί την κανονική κατανομή, τα διαστήματα εμπιστοσύνης των εκτιμήσεων και ο συντελεστής μεταβλητότητας υπολογίζονται από την κανονική κατανομή, υποδεικνύοντας τη συνέπεια των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της ζημιάς.

Υπολογισμός 5ου και 95ου εκατοστημορίων (percentiles)

Σε περίπτωση όπου δεν γνωρίζουμε το είδος της κατανομής που ακολουθεί ένα δείγμα, μπορούμε εναλλακτικά να υπολογίσουμε εκατοστημόρια (percentiles). Το $p\%$ εκατοστημόριο είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται στη στατιστική για να υποδείξει την τιμή κάτω από την οποία βρίσκεται το $p\%$ ποσοστό των παρατηρήσεων του δείγματος (Εικ. 6.1).



Εικόνα 6.1. p -οστό εκατοστημόριο

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή υπολογίστηκαν τα 5% και 95% εκατοστημόρια τα οποία υποδεικνύουν τις τιμές κάτω από τις οποίες βρίσκονται το 5% και 95%, αντίστοιχα, των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς. Το 5^ο και 95^ο εκατοστημόριο, μπορούν να θεωρηθούν ως το κατώτερο και ανώτερο όριο εμπιστοσύνης (confidence bounds), αντίστοιχα, καθώς επίσης και τα όρια (endpoints) ενός 90% διαστήματος εμπιστοσύνης.

6.2 Αγροτικός τομέας

Εκατό διαδοχικές Monte Carlo εκτελέσεις για πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m

Παρακάτω ακολουθεί η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της νέας Monte Carlo μοντελοποίησης με τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε κατηγορία καλλιέργειας, που μελετήθηκε, και για την συνολική αγροτική ζημιά, σε πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m.

D' Agostino-Pearson στατιστικό τεστ

Τα αποτελέσματα του στατιστικού τεστ D' Agostino-Pearson (D' Agostino and Pearson 1973) για τις εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε κατηγορία καλλιέργειας, που μελετήθηκε, και για τη συνολική αγροτική ζημιά παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1. D'Agostino-Pearson τεστ κανονικότητας για τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αγροτική χρήση γης και για τη συνολική αγροτική ζημιά μοντέλο πλέγματος με κελί 5 m x 5 m

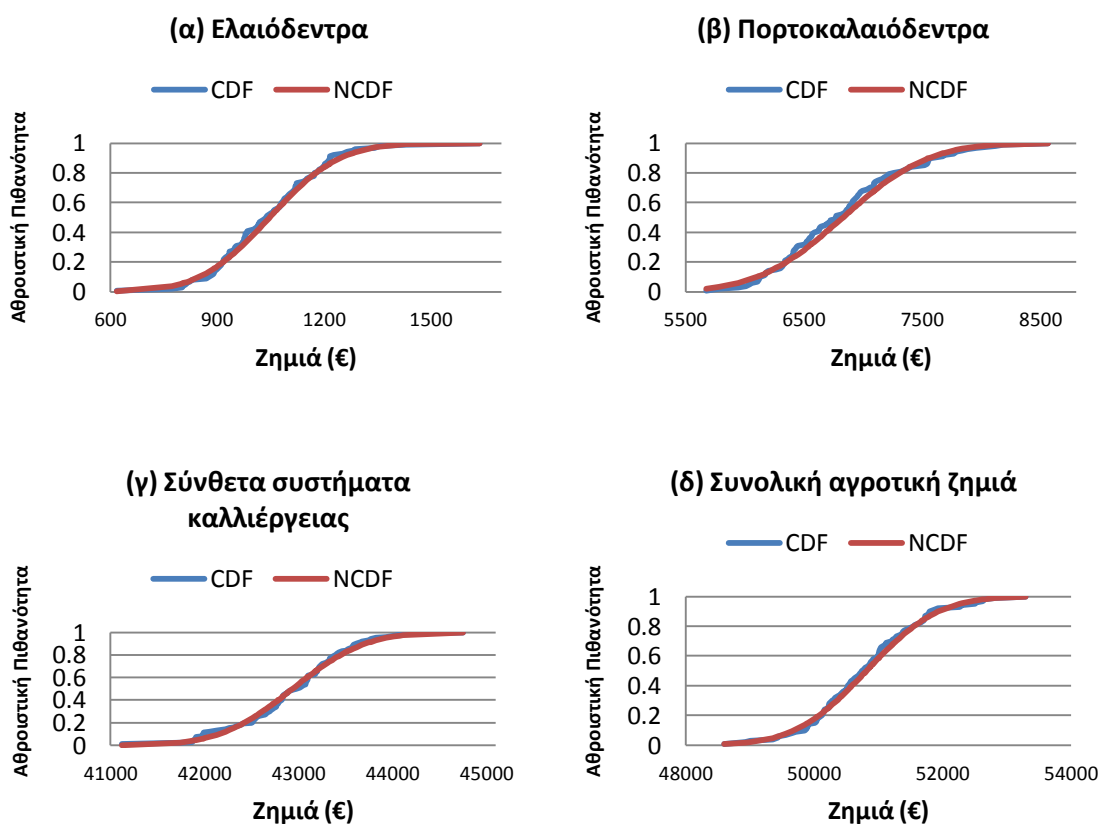
	Ελαιόδεντρα	Πορτοκαλιό- δεντρα	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	Συνολική αγροτική ζημιά
Ασσυμετρία S	0.512835	0.578509	-0.15839	0.263019
Κύρτωση K	1.450055	0.097243	0.450549	0.236297
Z_S	2.124598	2.396676	-0.65617	1.089648
Z_K	3.031488	0.203297	0.941918	0.494003
DP^2	13.70383	5.785386	1.317767	1.431371
Κρίσιμη τιμή της χ^2 κατανομής, 2 βαθμοί ελευθερίας, επίπεδο σημαντικότητας 1%	9.21	9.21	9.21	9.21
Μηδενική Υπόθεση H_0	Απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται

Στην παραπάνω ανάλυση το δείγμα με τις διαδοχικές εκτιμήσεις ζημιάς για τα Ελαιόδεντρα δεν ακολουθεί την κανονική κατανομή. Παρακάτω ελέγχουμε την κανονικότητα του δείγματος και με το Lilliefors K-S test. Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις αγροτικών χρήσεων γης και τη συνολική αγροτική ζημιά, η DP^2 στατιστική τιμή είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή $\chi^2_{0.01} = 9.21$, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01 στις περιπτώσεις αυτές.

Lilliefors K-S στατιστικό τεστ

Αρχικά υπολογίστηκαν οι συναρτήσεις αθροιστικής κατανομής (CDFs), $F(z)$, για τις εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αγροτική χρήση γης και για τη συνολική αγροτική ζημιά (Εικ. 6.2α-δ, μπλε καμπύλες). Επίσης υπολογίστηκαν οι συναρτήσεις της αθροιστικής κατανομής για την

τυποποιημένη κανονική κατανομή (NCDFs), $G(z)$, για τις κανονικοποιημένα εκτιμήσεις (Εικ. 6.2α-δ, κόκκινες καμπύλες).



Εικόνα 6.2. Αθροιστικές κατανομές των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς

Η ισχυρή συσχέτιση που παρουσιάζουν τα παραπάνω διαγράμματα των εκτιμήσεων του μοντέλου (μπλε καμπύλες) με τις κανονικοποιημένες εκτιμήσεις (κόκκινες καμπύλες), υποδεικνύει ότι οι εκτιμήσεις ζημιάς ακολουθούν την κανονική κατανομή. Ωστόσο, για να εξασφαλίσουμε περαιτέρω τη θεώρηση αυτή, εφαρμόζουμε το στατιστικό τεστ Lilliefors K-S test για την κανονικότητα των εκτιμήσεων ζημιάς. Τα αποτελέσματα του τεστ για τις εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε κατηγορία καλλιέργειας, που μελετήθηκε, και για τη συνολική αγροτική ζημιά παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2. Παρατηρείται και στις τέσσερις περιπτώσεις ότι η D στατιστική τιμή είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή $D_{0.01} = 0.1031$, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01 σύμφωνα με το στατιστικό τεστ Lilliefors K-S.

Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς

Σύμφωνα με τα δυο τεστ κανονικότητας, δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι οι εκτιμήσεις της ζημιάς για κάθε κατηγορία καλλιέργειας και για τη συνολική αγροτική ζημιά δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή, εξαιρώντας βέβαια τα αποτελέσματα του D' Agostino-Pearson τεστ

για τα Ελαιόδεντρα. Ωστόσο το Lilliefors K-S τεστ δεν αποδεικνύει τη μη κανονικότητα της συγκεκριμένης χρήση γης.

Πίνακας 6.2. Lilliefors K-S τεστ κανονικότητας για τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αγροτική χρήση γης και για τη συνολική αγροτική ζημιά μοντέλο πλέγματος με κελί 5 m x 5 m

	Ελαιόδεντρα	Πορτοκαλαιό- δεντρα	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	Συνολική αγροτική ζημιά
D	0.065828	0.068485	0.050572	0.060011
$D_{0.01}$ κρίσιμη τιμή	0.1031	0.1031	0.1031	0.1031
Μηδενική υπόθεση H_0	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται

Θεωρώντας, επομένως την κατανομή των εκτιμήσεων ζημιάς για κάθε κατηγορία καλλιέργειας και για τη συνολική αγροτική ζημιά κανονική, υπολογίζονται τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης των εκτιμήσεων του μοντέλου ως $(\bar{x} - 2s, \bar{x} + 2s)$, όπου \bar{x} είναι η μέση τιμή του δείγματος των εκτιμήσεων και s η τυπική απόκλιση του (Πίνακας 6.3). Παράλληλα υπολογίζεται και ο συντελεστής μεταβλητότητας, CV , για κάθε μια κατηγορία καλλιέργειας και για τη συνολική αγροτική ζημιά (Πίνακας 6.3).

Πίνακας 6.3. Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς (πλέγμα με κελί 5 m x 5 m)

	Μέση τιμή (€)	Τυπική απόκλιση (€)	95% Διάστημα εμπιστοσύνης (€)	Συντελεστής μεταβλητότητας (%)
Ελαιόδεντρα	1,047.52	155.31	(736.91, 1,358.14)	14.83
Πορτοκαλαιόδεντρα	6,826.17	568.71	(5,688.69, 7,963.53)	8.33
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	42,939.49	607.31	(41,724.87, 44,154.11)	1.41
Συνολική αγροτική ζημιά	50,813.12	879.44	(49,054.24, 52,572.00)	1.73

Όσο πιο μικρός είναι ο συντελεστής μεταβλητότητας, τόσο πιο μικρή είναι και η μεταβλητότητα των εκτιμήσεων, με αποτέλεσμα να παρατηρείται συνέπεια στα διαδοχικά αποτελέσματα του μοντέλου εκτίμησης της ζημιάς.

Ο παραπάνω πίνακας υποδεικνύει ότι οι εκτιμήσεις του μοντέλου θα βρίσκονται στα υπολογισμένα διαστήματα εμπιστοσύνης για κάθε κατηγορία καλλιέργειας και για τη συνολική αγροτική ζημιά, με πιθανότητα ίση με 0.95. Τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης με εύρος ίσο με τέσσερις φορές την τυπική απόκλιση s είναι σχετικά στενά και στις τέσσερις παραπάνω περιπτώσεις, εξασφαλίζοντας μια σχετική συνέπεια στα αποτελέσματα του μοντέλου εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς. Θα έπρεπε να σημειωθεί, επίσης, ότι και στις τέσσερις περιπτώσεις ο συντελεστής μεταβλητότητας, CV , είναι σχετικά μικρός, πράγμα το οποίο υποδεικνύει ότι θα είναι μικρή και η μεταβλητότητα των εκτιμήσεων του μοντέλου. Για την κατηγορία των Ελαιόδεντρων βέβαια ο συντελεστής είναι μεγαλύτερος, υποδεικνύοντας, όπως ήταν αναμενόμενο, μεγαλύτερη διασπορά τιμών στις διαδοχικές εκτιμήσεις ζημιάς.

Υπολογισμός 5^{ου} και 95^{ου} εκατοστημορίων

Τα 5^ο και 95^ο εκατοστημόρια υπολογίστηκαν για τις εκτιμήσεις της ζημιάς για κάθε καλλιέργεια και για τη συνολική αγροτική ζημιά (Πίνακας 6.4), ενώ παράλληλα υπολογίζεται και ένα 90% διάστημα εμπιστοσύνης για τις εκτιμήσεις του μοντέλου, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές αυτές.

Πίνακας 6.4. 5^ο και 95^ο εκατοστημόριο

	Ελαιόδεντρα	Πορτοκαλαιό- δεντρα	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	Συνολική αγροτική ζημιά
5 ^ο εκατ.	812.48	6,041.36	41,903.49	49,430.96
95 ^ο εκατ.	1,282.91	7,836.20	43,824.35	52,502.57
90% Δ.Ε.	(812.48, 1,282.91)	(6,041.36, 7,836.20)	(41,903.49, 43,824.35)	(49,430.96, 52,502.57)

Παρατηρούμε ότι τα 90% διαστήματα εμπιστοσύνης περιλαμβάνονται μέσα στα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης που υπολογίστηκαν παραπάνω, όπως ήταν αναμενόμενο. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει και την ορθότητα της θεώρησής μας, ότι οι διαδοχικές εκτιμήσεις ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Εκατό διαδοχικές Monte Carlo εκτελέσεις για πλέγμα με κελί διάστασης 10 m x 10 m

Παρακάτω ακολουθεί η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της νέας Monte Carlo μοντελοποίησης με τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε κατηγορία καλλιέργειας, που μελετήθηκε, και για τη συνολική αγροτική ζημιά, σε πλέγμα με κελί διάστασης 10 m x 10 m.

D' Agostino-Pearson στατιστικό τεστ

Τα αποτελέσματα του στατιστικού τεστ D' Agostino-Pearson (D' Agostino and Pearson 1973) για τις εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε κατηγορία καλλιέργειας, που μελετήθηκε, και για τη συνολική αγροτική ζημιά παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.5.

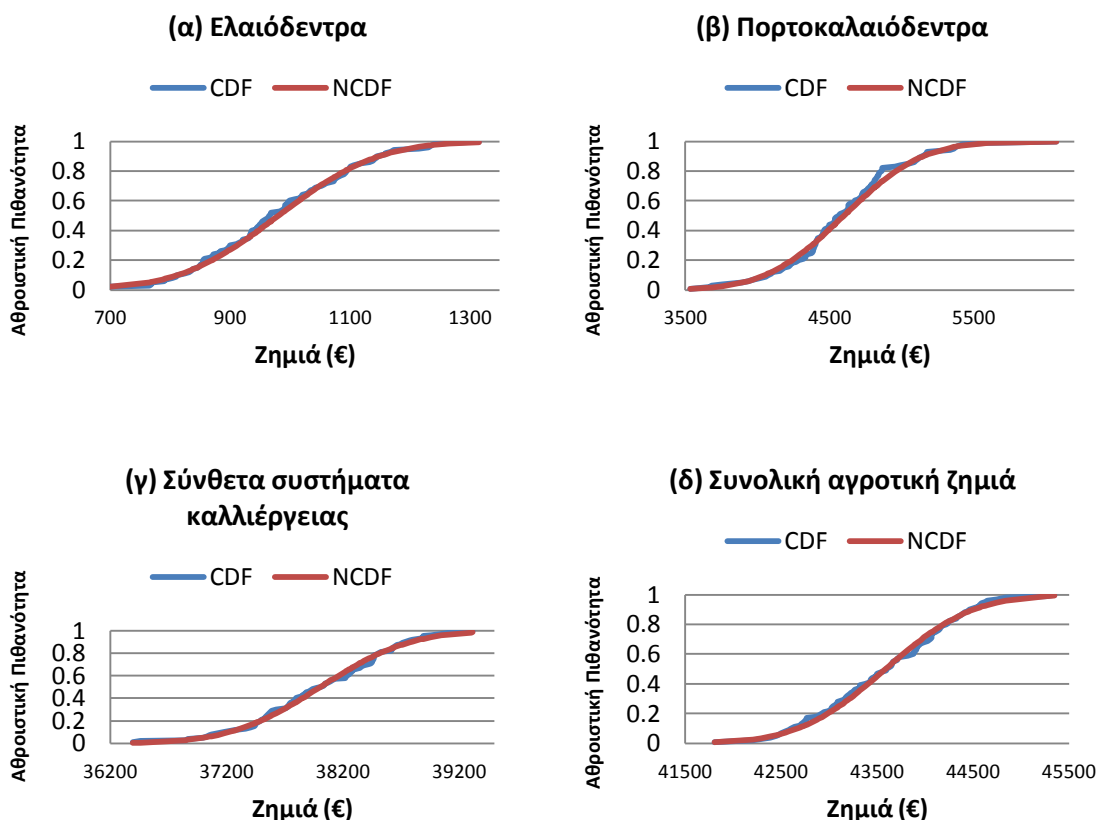
Πίνακας 6.5. D'Agostino-Pearson τεστ κανονικότητας για τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αγροτική χρήση γης και για συνολική αγροτική ζημιά μοντέλο πλέγματος με κελί 10 m x 10 m

	Ελαιόδεντρα	Πορτοκαλαιό- δεντρα	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	Συνολική αγροτική ζημιά
Ασσυμετρία S	0.162217	0.319426	-0.20471	-0.01793
Κύρτωση K	-0.27934	0.960674	-0.2704	-0.46685
Z_S	0.672043	1.323332	-0.84808	-0.07427
Z_K	-0.58399	2.008387	-0.5653	-0.976
DP^2	0.792685	5.784827	1.0388	0.958099
Κρίσιμη τιμή της χ^2 κατανομής, 2 βαθμοί ελευθερίας, επίπεδο σημαντικότητας 1%	9.21	9.21	9.21	9.21
Μηδενική Υπόθεση H_0	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται

Και στις τέσσερις περιπτώσεις η στατιστική τιμή DP^2 είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή $\chi^2_{0.01} = 9.21$, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01.

Lilliefors K-S στατιστικό τεστ

Αρχικά υπολογίστηκαν οι συναρτήσεις αθροιστικής κατανομής (CDFs), $F(z)$, για τις εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αγροτική χρήση γης και για τη συνολική αγροτική ζημιά (Εικ. 6.3α-δ, μπλε καμπύλες). Επίσης υπολογίστηκαν οι συναρτήσεις της αθροιστικής κατανομής για την τυποποιημένη κανονική κατανομή (NCDFs), $G(z)$, για τις κανονικοποιημένα εκτιμήσεις (Εικ. 6.3α-δ, κόκκινες καμπύλες).



Εικόνα 6.3. Αθροιστικές κατανομές των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς

Η ισχυρή συσχέτιση που παρουσιάζουν τα παραπάνω διαγράμματα των εκτιμήσεων του μοντέλου (μπλε καμπύλες) με τις κανονικοποιημένες εκτιμήσεις (κόκκινες καμπύλες), υποδεικνύει ότι οι εκτιμήσεις ζημιάς ακολουθούν την κανονική κατανομή. Ωστόσο, για να εξασφαλίσουμε περαιτέρω τη θεώρηση αυτή, εφαρμόζουμε το στατιστικό τεστ Lilliefors K-S test για την κανονικότητα των εκτιμήσεων ζημιάς. Τα αποτελέσματα του τεστ για τις εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε κατηγορία καλλιέργειας, που μελετήθηκε, και για τη συνολική αγροτική ζημιά παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.6. Παρατηρείται ότι και στις τέσσερις περιπτώσεις η στατιστική τιμή D είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή $D_{0.01} = 0.1031$, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01.

Πίνακας 6.6. Lilliefors K-S τεστ κανονικότητας για τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αγροτική χρήση γης και για τη συνολική αγροτική ζημιά μοντέλο πλέγματος με κελί 10 m x 10 m

	Ελαιόδεντρα	Πορτοκαλαιό- δεντρα	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	Συνολική αγροτική ζημιά
D	0.055788	0.087928	0.05631	0.058561
$D_{0.01}$ κρίσιμη τιμή	0.1031	0.1031	0.1031	0.1031
Μηδενική υπόθεση H_0	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται

Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς

Σύμφωνα με τα δυο τεστ κανονικότητας, δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι οι εκτιμήσεις της ζημιάς για κάθε κατηγορία καλλιέργειας και για τη συνολική αγροτική ζημιά δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή. Θεωρώντας, επομένως την κατανομή τους κανονική, υπολογίζονται τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης των εκτιμήσεων του μοντέλου ως $(\bar{x} - 2s, \bar{x} + 2s)$, όπου \bar{x} είναι η μέση τιμή του δείγματος των εκτιμήσεων και s η τυπική απόκλιση του (Πίνακας 6.7). Παράλληλα υπολογίζεται και ο συντελεστής μεταβλητότητας, CV , για κάθε μια κατηγορία καλλιέργειας και για τη συνολική αγροτική ζημιά (Πίνακας 6.7).

Πίνακας 6.7. Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς (πλέγμα με κελί 10 m x 10 m)

	Μέση τιμή (€)	Τυπική απόκλιση (€)	95% Διάστημα εμπιστοσύνης (€)	Συντελεστής μεταβλητότητας (%)
Ελαιόδεντρα	980.42	131.69	(717.04, 1,243.80)	13.43
Πορτοκαλαιόδεντρα	4,601.68	429.50	(3,742.68, 5,460.68)	9.33
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	38,006.02	611.22	(36,783.57, 39,228.46)	1.61
Συνολική αγροτική ζημιά	43,588.12	716.91	(42,154.3, 45,021.93)	1.64

Επομένως, οι εκτιμήσεις του μοντέλου θα βρίσκονται στα υπολογισμένα διαστήματα εμπιστοσύνης για κάθε κατηγορία καλλιέργειας και για την συνολική αγροτική ζημιά, με πιθανότητα ίση με 0.95. Τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης με εύρος ίσο με τέσσερεις φορές την τυπική απόκλιση s είναι σχετικά στενά και στις τέσσερεις παραπάνω περιπτώσεις, εξασφαλίζοντας μια σχετική συνέπεια στα αποτελέσματα του μοντέλου εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς. Να σημειωθεί, επίσης, ότι και στις τέσσερεις περιπτώσεις ο συντελεστής μεταβλητότητας CV είναι σχετικά μικρός, πράγμα το οποίο υποδεικνύει ότι θα είναι και μικρή η μεταβλητότητα των εκτιμήσεων του μοντέλου. Στην κατηγορία των Ελαιόδεντρων και τον Πορτοκαλιόδεντρων ο συντελεστής είναι μεγαλύτερος, υποδεικνύοντας, μεγαλύτερη διασπορά των τιμών κατά τις διαδοχικές εκτιμήσεις ζημιάς.

Υπολογισμός $5^{ου}$ και $95^{ου}$ εκατοστημορίων

Τα $5^ο$ και $95^ο$ εκατοστημόρια υπολογίστηκαν για τις εκτιμήσεις της ζημιάς για κάθε καλλιέργεια και για τη συνολική αγροτική ζημιά (Πίνακας 6.8), ενώ παράλληλα υπολογίζεται και ένα 90% διάστημα εμπιστοσύνης για τις εκτιμήσεις του μοντέλου, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές αυτές.

Πίνακας 6.8. $5^ο$ και $95^ο$ εκατοστημόριο

	Ελαιόδεντρα	Πορτοκαλιό- δεντρα	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	Συνολική αγροτική ζημιά
$5^ο$ εκατ.	768.91	3,894.78	36,998.61	42,455.34
$95^ο$ εκατ.	1,215.50	5,365.04	38,888.37	44,625.70
90% Δ.Ε.	(768.91, 1,215.50)	(3,894.78, 5,365.04)	(36,998.61, 38,888.37)	(42,455.34, 44,625.70)

Παρατηρούμε ότι τα 90% διαστήματα εμπιστοσύνης περιλαμβάνονται μέσα στα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης που υπολογίστηκαν παραπάνω, όπως ήταν αναμενόμενο. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει ότι η αρχική θεώρησή μας, ότι οι εκτιμήσεις μας ακολουθούν την κανονική κατανομή, δεν είναι λανθασμένη.

6.3 Αστικός τομέας

Εκατό διαδοχικές Monte Carlo εκτελέσεις για πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m

Παρακάτω ακολουθεί η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων της νέας Monte Carlo μοντελοποίησης με τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε κατηγορία κτίσματος, που μελετήθηκε, και για τη συνολική αστική ζημιά, σε πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m.

D' Agostino-Pearson στατιστικό τεστ

Τα αποτελέσματα του στατιστικού τεστ D' Agostino-Pearson (D' Agostino and Pearson 1973) για τις εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε κατηγορία κτίσματος, που μελετήθηκε, και για τη συνολική αστική ζημιά παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.9.

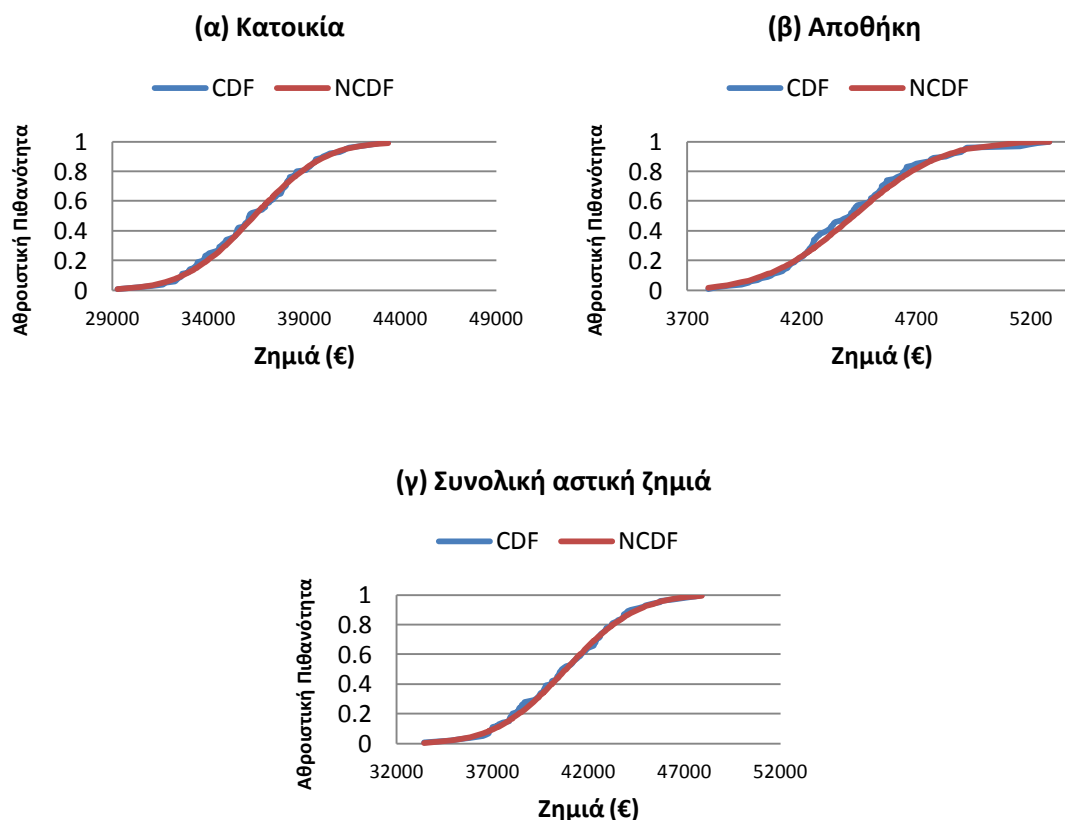
Πίνακας 6.9. D'Agostino-Pearson τεστ κανονικότητας για τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αστική χρήση γης και για τη συνολική αστική ζημιά μοντέλο πλέγματος με κελί 5 m x 5 m

	Κατοικίες	Αποθήκες	Συνολική αστική ζημιά
Ασσυμετρία S	0.092256	0.525525	0.078209
Κύρτωση K	-0.34923	0.354216	-0.24159
Z_S	0.382203	2.177172	0.324007
Z_K	-0.73011	0.740524	-0.50506
DP^2	0.679137	5.288455	0.360066
Κρίσιμη τιμή της χ^2 κατανομής, 2 βαθμοί ελευθερίας, επίπεδο σημαντικότητας 1%	9.21	9.21	9.21
Μηδενική Υπόθεση H_0	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται

Και στις τέσσερις περιπτώσεις η DP^2 στατιστική τιμή είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή $\chi^2_{0.01} = 9.21$, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01.

Lilliefors K-S στατιστικό τεστ

Αρχικά υπολογίστηκαν οι συναρτήσεις αθροιστικής κατανομής (CDFs), $F(\mathbf{z})$, για τις εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αστική χρήση γης και για τη συνολική αστική ζημιά (Εικ. 6.4α-γ, μπλε καμπύλες). Επίσης υπολογίστηκαν οι συναρτήσεις της αθροιστικής κατανομής για την τυποποιημένη κανονική κατανομή (NCDFs), $G(\mathbf{z})$, για τις κανονικοποιημένα εκτιμήσεις (Εικ. 6.4α-γ, κόκκινες καμπύλες).



Εικόνα 6.4. Αθροιστικές κατανομές των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς

Η ισχυρή συσχέτιση που παρουσιάζουν τα παραπάνω διαγράμματα των εκτιμήσεων του μοντέλου (μπλε καμπύλες) με τις κανονικοποιημένες εκτιμήσεις (κόκκινες καμπύλες), υποδεικνύει ότι οι εκτιμήσεις ζημιάς ακολουθούν την κανονική κατανομή. Ωστόσο, για να εξασφαλίσουμε περαιτέρω τη θεώρηση αυτή, εφαρμόζουμε το στατιστικό τεστ Lilliefors K-S test για την κανονικότητα των εκτιμήσεων ζημιάς. Τα αποτελέσματα του τεστ για τις εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε κατηγορία κτίσματος που μελετήθηκε, και για τη συνολική αστική ζημιά παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.10. Παρατηρείται ότι και στις τέσσερις περιπτώσεις η D στατιστική τιμή είναι μικρότερη από την κρίσιμη τιμή $D_{0.01} = 0.1031$, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01.

Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της αστικής ζημιάς

Σύμφωνα με τα δυο τεστ κανονικότητας, δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι οι εκτιμήσεις της ζημιάς για κάθε κατηγορία κτίσματος και για τη συνολική αστική ζημιά δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Πίνακας 6.10. Lilliefors K-S τεστ κανονικότητας για τις εκατό εκτιμήσεις ζημιάς για κάθε αστική χρήση γης και για τη συνολική αστική ζημιά μοντέλο πλέγματος με κελί 5 m x 5 m

	Κατοικίες	Αποθήκες	Συνολική αστική ζημιά
D	0.041668	0.065827	0.050637
$D_{0.01}$ κρίσιμη τιμή	0.1031	0.1031	0.1031
Μηδενική υπόθεση H_0	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται	Δεν απορρίπτεται

Θεωρώντας, επομένως την κατανομή τους κανονική, υπολογίζονται τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης των εκτιμήσεων του μοντέλου ως $(\bar{x} - 2s, \bar{x} + 2s)$, όπου \bar{x} είναι η μέση τιμή του δείγματος των εκτιμήσεων και s η τυπική απόκλιση του (Πίνακας 6.11). Παράλληλα υπολογίζεται και ο συντελεστής μεταβλητότητας, CV , για κάθε μια κατηγορία κτίσματος και για την συνολική αστική ζημιά (Πίνακας 6.11).

Πίνακας 6.11. Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του μοντέλου εκτίμησης της αστικής ζημιάς (πλέγμα με κελί 5 m x 5 m)

	Μέση τιμή (€)	Τυπική απόκλιση (€)	95% Διάστημα εμπιστοσύνης (€)	Συντελεστής μεταβλητότητας (%)
Κατοικίες	36397.57	2907.95	(30,581.67, 42,213.47)	7.99
Αποθήκες	4425.365	302.7221	(3,819.92, 5,030.81)	6.84
Συνολική αστική ζημιά	40822.93	2917.961	(34,987.01, 46,658.85)	7.15

Επομένως, οι εκτιμήσεις του μοντέλου θα βρίσκονται στα υπολογισμένα διαστήματα εμπιστοσύνης για κάθε κατηγορία καλλιέργειας και για την συνολική αγροτική ζημιά, με πιθανότητα ίση με 0.95. Τα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης με εύρος ίσο με τέσσερις φορές την τυπική απόκλιση s είναι σχετικά στενά και στις τέσσερις παραπάνω περιπτώσεις, εξασφαλίζοντας μια σχετική συνέπεια στα αποτελέσματα του μοντέλου εκτίμησης της αγροτικής ζημιάς. Να σημειωθεί, επίσης, ότι και στις τέσσερις περιπτώσεις ο συντελεστής CV είναι σχετικά μικρός, πράγμα το οποίο υποδεικνύει ότι θα είναι και μικρή η μεταβλητότητα των εκτιμήσεων του μοντέλου.

Υπολογισμός 5^{ου} και 95^{ου} εκατοστημορίων

Τα 5^ο και 95^ο εκατοστημόρια υπολογίστηκαν για τις εκτιμήσεις της ζημιάς για κάθε καλλιέργεια και για τη συνολική αγροτική ζημιά (Πίνακας 6.12), ενώ παράλληλα υπολογίζεται και ένα 90% διάστημα εμπιστοσύνης για τις εκτιμήσεις του μοντέλου, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στις τιμές αυτές.

Πίνακας 6.12. 5^ο και 95^ο εκατοστημόριο

	Κατοικίες	Αποθήκες	Συνολική αστική ζημιά
5 ^ο εκατ.	31,753.87	3,968.68	36,489.55
95 ^ο εκατ.	41,166.67	4,913.44	45,734.13
90% Δ.Ε.	(31,753.87, 41,166.67)	(3,968.68, 4,913.44)	(36,489.55, 45,734.13)

Παρατηρούμε ότι τα 90% διαστήματα εμπιστοσύνης περιλαμβάνονται μέσα στα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης που υπολογίστηκαν παραπάνω, όπως ήταν αναμενόμενο. Επίσης το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει ότι η αρχική θεώρησή μας, ότι οι εκτιμήσεις μας ακολουθούν την κανονική κατανομή, δεν είναι λανθασμένη.

Από την παραπάνω στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων των εκατό διαδοχικών Monte Carlo εκτελέσεων του Python κώδικα εκτίμησης ζημιάς και για τους δυο οικονομικούς τομείς μελέτης, παρατηρείται ότι το Python οικονομοτεχνικό μοντέλο παρουσιάζει συνέπεια στις εκτιμήσεις του. Πιο συγκεκριμένα για τον αγροτικό τομέα, τα διαστήματα εμπιστοσύνης των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς είναι στενά διαστήματα, πράγμα το οποίο αυξάνει την ακρίβεια των εκτιμήσεων που πραγματοποιούνται από το μοντέλο. Αυτό αποδεικνύεται και από τη μικρή τιμή του συντελεστή μεταβλητότητας CV, η οποία υποδεικνύει μικρή μεταβλητότητα των εκτιμήσεων του μοντέλου. Στην κατηγορία των Ελαιόδεντρων παρουσιάζεται μεγαλύτερη διασπορά των τιμών κατά τις διαδοχικές εκτιμήσεις ζημιάς, καθώς η τιμή του συντελεστή μεταβλητότητας είναι μεγαλύτερη και το διάστημα εμπιστοσύνης για την κατηγορία αυτή είναι ευρύτερο. Στον αστικό τομέα τα διαστήματα εμπιστοσύνης των εκτιμήσεων του μοντέλου ζημιάς είναι επίσης στενά διαστήματα και η τιμή του συντελεστή μεταβλητότητας μικρή. Η παραπάνω στατιστική ανάλυση αποδεικνύει ότι το μοντέλο εκτίμησης της ζημιάς και για τους δυο τομείς μελέτης παρουσιάζει συνέπεια στους υπολογισμούς του και άρα θα μπορούσε να αποτελέσει ένα αξιόπιστο εργαλείο εκτίμησης της ζημιάς που προκαλείται από μια πλημμύρα τόσο σε αγροτικό όσο και σε αστικό περιβάλλον.

Συμπεράσματα

Οι πλημμύρες αποτελούν ένα σημαντικό φυσικό κίνδυνο, ο οποίος μπορεί να προκαλέσει ανυπολόγιστες ζημιές σε ιδιωτικές περιουσίες και στο φυσικό περιβάλλον. Σε ορισμένες περιπτώσεις μια πλημμύρα μπορεί να θέσει σε κίνδυνο και ανθρώπινες ζωές, πράγμα το οποίο επιτάσσει τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου σχεδίου για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της φυσικής αυτής καταστροφής. Η κατάλληλη διαχείριση του κινδύνου αυτού είναι ζωτικής σημασίας για την ευημερία μιας κοινωνίας. Η φυσική αυτή απειλή πρέπει να κατανοηθεί επαρκώς, ώστε να οργανωθεί και να σχεδιαστεί σωστά ένα αποτελεσματικό σχέδιο αντιμετώπισής της από τους ιθύνοντες φορείς.

Το γεγονός ότι οι ζωές τόσων ανθρώπων εκτίθενται παγκοσμίως σε αυτόν τον σοβαρό κίνδυνο οδήγησε στη δημιουργία του ολοκληρωμένου τεχνοοικονομικού μοντέλου που παρουσιάζεται στην παρούσα διδακτορική διατριβή. Το μοντέλο αυτό είναι ένα μοντέλο πλέγματος το οποίο εκτιμά την πλημμυρική ζημιά που προκαλείται τόσο σε αγροτικό όσο και σε αστικό περιβάλλον. Αποτελείται από το υδρολογικό μοντέλο πλέγματος MIKE FLOOD το οποίο προσομοιώνει ένα πραγματικό γεγονός πλημμύρας, παρέχοντας τις τιμές του ύψους και της ταχύτητας του πλημμυρικού κύματος σε κάθε κελί του πλέγματος μελέτης. Η πληροφορία αυτή σε συνδυασμό με το μήνα εμφάνισης της πλημμύρας και τις συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ζημιάς για κάθε καλλιέργεια μελέτης, παρέχει εκτιμήσεις για τη ζημιά που προκαλείται στην καλλιέργεια. Παράλληλα η πληροφορία από το MIKE FLOOD μοντέλο σε συνδυασμό με τις συνθετικές λογιστικές επιφάνειες ζημιάς για κάθε κτίσμα μελέτης, παρέχει εκτιμήσεις για τη ζημιά που προκαλείται στο κτίσμα. Οι συνθετικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς προκύπτουν από συνθετικά δεδομένα που αποκτήθηκαν μέσα από έρευνες ερωτηματολογίων. Τα αποτελέσματα από τα ερωτηματολόγια ενισχύθηκαν με συνθετικές μαθηματικές Monte Carlo μεθόδους, δημιουργώντας τελικά λογιστικές επιφάνειες ύψους-ταχύτητας-ζημιάς. Οι επιφάνειες αυτές αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία του τεχνοοικονομικού μοντέλου. Το μοντέλο είναι ικανό να εκτιμήσει τόσο την αγροτική ή αστική ζημιά σε κάθε κελί του πλέγματος μελέτης, όσο και τη συνολική αγροτική ή αστική ζημιά. Με αυτό τον τρόπο το μοντέλο καθορίζει την επικινδυνότητα ενός πραγματικού πλημμυρικού γεγονότος για τους δύο οικονομικούς τομείς μελέτης. Το παραπάνω εργαλείο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση ή την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου. Δε λαμβάνει υπόψη του μόνο τον κίνδυνο πραγμάτωσης ενός ακραίου πλημμυρικού γεγονότος, αλλά συνδυάζει επιπλέον και την υδρολογική γνώση για τη συχνότητα ενός πλημμυρικού γεγονότος, την πληροφορία για την υδραυλική μοντελοποίηση του και την ιστορική ή συνθετική γνώση για τη δημιουργία καμπυλών τρωτότητας με σκοπό την τελική εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς. Το μοντέλο εφαρμόστηκε για την εκτίμηση της ζημιάς που προκαλείται από μια πραγματικού χρόνου αιφνίδια πλημμύρα στον ποταμό Κουιάρη στην περιοχή των Χανίων, στην Κρήτη.

Κατά την ανάλυση και την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου προκύπτουν πλημμυρικοί χάρτες που υποδεικνύουν περιοχές που είναι περισσότερο ή λιγότερο επιρρεπείς στον κίνδυνο πλημμύρας. Επίσης προκύπτουν χάρτες πλημμυρικής ζημιάς που υποδεικνύουν περιοχές που διατρέχουν μεγαλύτερο ή μικρότερο κίνδυνο ζημιάς. Με γνώμονα τους χάρτες

αυτούς είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί μια ορθολογική και αποτελεσματική διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου και του κινδύνου πλημμυρικής ζημιάς. Έτσι το τεχνοοικονομικό αυτό εργαλείο διακρίνει περιοχές υψηλού και χαμηλού κινδύνου πλημμύρας και κινδύνου αστικής ή αγροτικής πλημμυρικής ζημιάς. Το γεγονός αυτό είναι πολύ σημαντικό σε αγροτικό επίπεδο καθώς η πλημμυρική κοίτη ενός ποταμού έλκει αγροτικές δραστηριότητες, εξ' αιτίας του γόνιμου εδάφους της, και επομένως αποτελεί μια κρίσιμη περιοχή με μεγάλο κίνδυνο πλημμυρικής ζημιάς. Ένας αγρότης δύναται με χρήση του εργαλείου αυτού, να κάνει ένα συνετό σχεδιασμό των πρακτικών καλλιέργειας που θα μπορούσε να εφαρμόσει στο χωράφι του, ώστε να αποφύγει τυχόν απώλειες στην παραγωγή του. Για παράδειγμα, και στις δυο περιπτώσεις πλέγματος που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο, τα Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες και σημαντικότερες ζημιές. Επομένως, ένας αγρότης θα μπορούσε να λάβει σοβαρά υπόψη του το γεγονός αυτό και να αποφύγει την καλλιέργεια αυτού του είδους κατά μήκος του ποταμού. Μεγάλη σημαντικότητα παρουσιάζει και το γεγονός ότι το εργαλείο αυτό μπορεί να προσδιορίσει με μεγάλη χωρική ακρίβεια περιοχές υψηλού πλημμυρικού κινδύνου. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της πλημμύρας μελέτης το κατάντη κομμάτι της περιοχής φαίνεται να είναι περισσότερο επιρρεπές στον κίνδυνο πλημμύρας και θα έπρεπε να λάβει μεγαλύτερη προσοχή κατά το σχεδιασμό τυχόν πρακτικών διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου.

Σημαντικά δεδομένα εισόδου του τεχνοοικονομικού μοντέλου αποτελούν τα αποτελέσματα του υδρολογικού μοντέλου MIKE FLOOD. Είναι επομένως σημαντική μια ορθή προσομοίωση της πλημμύρας με χρήση του υδρολογικού αυτού μοντέλου για τις τελικές εκτιμήσεις του μοντέλου ζημιάς. Παρατηρήθηκε ότι η επιλογή της διάστασης του κελιού στο πλέγμα του υδρολογικού μοντέλου παίζει σημαντικό ρόλο στην εκτίμηση της αγροτικής ζημιάς. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από εκτέλεση του κώδικα εκτίμησης της ζημιάς στο πλέγμα με κελί διάστασης 10 m x 10 m και στο πλέγμα με κελί διάστασης, 5 m x 5 m, παρατηρήθηκε ότι η εκτιμώμενη αγροτική ζημιά διαφοροποιείται ελαφρώς. Το μοντέλο με κελί 5 m x 5 m εκτιμά ελαφρώς μεγαλύτερη αγροτική ζημιά και μεγαλύτερη επιφάνεια κατάκλισης. Πιο συγκεκριμένα η ζημιά στο πλέγμα με κελί 5 m x 5 m εκτιμάται στα 49,360.8 € σε μια επιφάνεια 49.1 εκταρίων, έναντι της ζημιάς των 42,309 € σε μια επιφάνεια 37.5 εκταρίων, που εκτιμά το μοντέλο στο πλέγμα με κελί 10 m x 10 m. Παρατηρούμε ότι η μικρή διάσταση του κελιού παρέχει πιο λεπτομερείς εκτιμήσεις αγροτικής ζημιάς.

Επιπλέον, κατά τη δημιουργία της μεθοδολογίας εκτίμησης της ζημιάς και τη δημιουργία των επιφανειών ζημιάς, η έλλειψη ιστορικών δεδομένων ζημιάς μας οδήγησε στην υιοθέτηση συνθετικών μεθόδων. Οι συνθετικές μέθοδοι περιλάμβαναν τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων η οποία απαιτούσε την επιστημονική γνώμη, γνώση και εμπειρία ειδικών επιστημόνων και πρακτικών επαγγελματιών, τόσο γεωπόνων (αγροτικός τομέας) όσο και πολιτικών μηχανικών ή αρχιτεκτόνων (αστικός τομέας). Παρατηρήθηκε, ωστόσο, έλλειψη κατάρτισης σε αρκετούς υποψήφιους συμμετέχοντες στα θέματα πλημμύρας και της προκαλούμενης, αγροτικής κυρίως, ζημιάς κατά την έρευνα. Ακόμη και για κάποιους εκτιμητές του ΕΛΓΑ κατέστη δύσκολη η σύνδεση της πλημμυρικής ζημιάς με τις ζητούμενες παραμέτρους επίπτωσης και κυρίως την παράμετρο της ταχύτητας. Παρατηρείται, επομένως, τουλάχιστον σε εθνικό επίπεδο, μια σχετική έλλειψη εμπειρίας και γνώσης πάνω σε θέματα εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς, περισσότερο στον αγροτικό τομέα και λιγότερο στον αστικό, πράγμα το οποίο μας στερεί τη δυνατότητα δημιουργίας βάσεων δεδομένων ζημιάς,

είτε εμπειρικών, είτε συνθετικών. Ωστόσο η ύπαρξη μιας αξιόπιστης βάσης δεδομένων ζημιών είναι πολύ σημαντική για τη δημιουργία μιας άρτιας μεθοδολογίας εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς. Θα πρέπει λοιπόν η πολιτεία να ενισχύσει την εκπαίδευση ειδικών επιστημόνων πάνω σε θέματα εκτίμησης της ζημιάς τόσο στον αγροτικό όσο και στον αστικό τομέα, ώστε να δημιουργηθεί μελλοντικά μια ενιαία μεθοδολογία εκτίμησης της ζημιάς η οποία θα δίνει άρτιες, έγκυρες και αντιπροσωπευτικές εκτιμήσεις. Στην παρούσα διδακτορική διατριβή για την αντιμετώπιση του παραπάνω προβλήματος, υιοθετήθηκαν μαθηματικές μέθοδοι για τη δημιουργία συνθετικών επιφανειών ζημιάς, διαμορφώνοντας έτσι μια μεθοδολογία που δύναται να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές με περιορισμένη υπάρχουσα πληροφορία ζημιάς.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή παρουσιάστηκαν τα εξής καινοτόμα στοιχεία. Καταρχήν δημιουργήθηκαν επιφάνειες ζημιάς οι οποίες συνδέουν την πλημμυρική ζημιά που προκαλείται είτε σε μια καλλιέργεια είτε σε ένα κτίσμα, με τις πλημμυρικές παραμέτρους αντίστασης, ύψος και ταχύτητα του κύματος της πλημμύρας. Η εισαγωγή της παραμέτρου της ταχύτητας στην εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς αποτελεί μια καινοτομία τουλάχιστον σε εθνικό επίπεδο. Γενικά, δεν είναι εύκολη η εισαγωγή της παραμέτρου αυτής στη διαδικασία εκτίμησης της ζημιάς γιατί είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί η επίδρασή της στην προκαλούμενη ζημιά. Μια ακόμη καινοτομία της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία επιφανειών ζημιάς για δενδροειδείς καλλιέργειες (Ελαιόδεντρα και Πορτοκαλιόδεντρα). Επίσης καινοτομία αποτελεί η συνθετική μέθοδος που σχεδιάστηκε για τη δημιουργία συνθετικών επιφανειών ζημιάς, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές με ελάχιστα δεδομένα ζημιάς. Καινοτομία αποτέλεσε και η ανάπτυξη του μοντέλου για την εκτίμηση της πλημμυρικής ζημιάς σε πλέγμα με κελί διάστασης 5 m x 5 m τόσο για τον αγροτικό, όσο για τον αστικό τομέα. Η κλίμακα αυτή διατηρεί λεπτομερή την κατανομή των χαρακτηριστικών της πλημμύρας που παρέχονται από το υδρολογικό μοντέλο και επιπλέον παρέχει μια λεπτομερή εκτίμηση της ζημιάς. Τέλος η πιστοποίηση της μεθοδολογίας με χρήση ανάλυσης αβεβαιότητας αποτελεί καινοτόμο στοιχείο, τουλάχιστον σε εθνικό επίπεδο. Η ανάλυση αβεβαιότητας εξασφάλισε ότι οι διαδοχικές εκτιμήσεις ζημιάς από τις διαδοχικές εκτελέσεις του κώδικα ζημιάς, τόσο για τον αστικό όσο και για τον αγροτικό τομέα, παρουσιάζουν μικρή διασπορά. Αποδεικνύεται λοιπόν ότι η μεθοδολογία πραγματοποιεί εκτιμήσεις με μεγάλη συνέπεια για πλήθος διαδοχικών εκτελέσεων και για τους δύο οικονομικούς τομείς μελέτης.

Η μεθοδολογία αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ζημιάς που προκαλεί ένα πραγματικό γεγονός πλημμύρας. Θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί κατά το σχεδιασμό των χρήσεων γης, κατά το μετριασμό του κινδύνου πλημμύρας ή σαν εργαλείο υπολογισμού των αποζημιώσεων που πρέπει να δοθούν σε αγρότες (ή ιδιοκτήτες) που οι καλλιέργειες (ή κατοικίες) τους έχουν πληγεί από πλημμύρα. Είναι πολύ ευνοϊκό το ότι προσδιορίζει τη ζημιά σε επίπεδο κελιού μικρής κλίμακας, παρέχοντας εκτιμήσεις υψηλής λεπτομέρειας και ακρίβειας, προσδιορίζοντας παράλληλα και την ακριβή τοποθεσία της ζημιάς. Τέλος, τα αποτελέσματα των εκτιμήσεων του μοντέλου εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς μπορούν να συγκριθούν με μια οικονομική ανάλυση για την υποτιθέμενη κατασκευή έργων υποδομής, που θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην αντιμετώπιση του πλημμυρικού κινδύνου. Η οικονομική αυτή ανάλυση θα μπορούσε με χρήση υδραυλικών μοντέλων να υπολογίζει τις υδραυλικές συνέπειες της πλημμύρας σε όρους ύψους και ταχύτητας του πλημμυρικού κύματος. Η σύγκριση των δυο αυτών οικονομικών μεγεθών θα μπορούσε να

συμβάλει στη λήψη σημαντικών αποφάσεων για τη δημιουργία ή μη αντιπλημμυρικών έργων από τις υπεύθυνες αρχές μιας περιοχής μελέτης.

Προτάσεις Μελλοντικής Έρευνας

Η παραπάνω μεθοδολογία θα μπορούσε να εξελιχθεί σε μεθοδολογία για τη μελέτη και την πρόβλεψη τόσο ενός ακραίου γεγονότος πλημμύρας με συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς, όσο και της πλημμυρικής ζημιάς που προκαλείται από αυτό. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαν να διαμορφωθούν δυνητικά σχέδια δράσης έτοιμα να εφαρμοστούν σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Για την περιοχή μελέτης, στην οποία αναφέρεται η παρούσα διδακτορική διατριβή, θα ήταν ορθό να υλοποιηθεί μια πιο λεπτομερής χωρική αποτύπωση της γεωμετρίας του ποταμού σε περισσότερα σημεία του, για την απόκτηση μιας εκτενέστερης εικόνας του ανάγλυφου του. Η διαδικασία αυτή είναι χρήσιμη όσον αφορά στις ανάγκες του υδρολογικού μοντέλου και την προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος.

Επιπλέον, η μελέτη της επίδρασης της χωροχρονικής κατανομής των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και πιο συγκεκριμένα της βροχόπτωσης στο πλημμυρικό υδρογράφημα θα μπορούσε να εξασφαλίσει μεγαλύτερη ακρίβεια κατά τον υπολογισμό της επιφανειακής απορροής που μπορεί να προκαλέσει συνθήκες πλημμύρας.

Σημαντικό θα ήταν να πραγματοποιηθεί έλεγχος για την επίδραση της διακριτοποίησης του υδρολογικού μοντέλου τόσο στον προσδιορισμό της πλημμύρας όσο και στην εκτίμηση της προκαλούμενης πλημμυρικής ζημιάς, ενδεχομένως με χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης.

Επιπρόσθετα, η δημιουργία μιας αξιόπιστης βάσης δεδομένων πλημμύρας και πλημμυρικής ζημιάς, μέσα από ένα οργανωμένο σύστημα λεπτομερούς καταγραφής πλημμυρικών γεγονότων και των προκαλούμενων ζημιών τους είτε με επισκέψεις ειδικών καταρτισμένων εκτιμητών στο πεδίο, είτε με δορυφορικούς χάρτες πλημμύρας, θα οδηγούσε στη δημιουργία μιας εμπειρικής μεθοδολογίας εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς, η οποία θα μπορούσε να συγκριθεί ή/και να συνδυαστεί με τη συνθετική μεθοδολογία της παρούσας διδακτορικής διατριβής.

Τα δυο μοντέλα εκτίμησης της πλημμυρικής ζημιάς για τους δύο οικονομικούς τομείς μελέτης, θα μπορούσαν μελλοντικά να συνδεθούν μεταξύ τους σε ένα γραφικό περιβάλλον χρήστη (Graphical User Interface-GUI). Με τη δημιουργία ενός εύχρηστου GUI το οικονομικοτεχνικό εργαλείο της παρούσας διδακτορικής διατριβής θα μπορούσε να διατεθεί ευκολότερα προς ελεύθερη χρήση.

Τέλος, η διαμόρφωση της μεθόδου σε μια μέθοδο όπου οι εκτιμήσεις ζημιάς γίνονται ανά κτίσμα/αγροτεμάχιο (και όχι σε όλο το πλέγμα) θα οδηγούσε στη δημιουργία ενός εργαλείου με το οποίο κάθε ιδιοκτήτης θα μπορούσε να αποφασίσει αν μια ενδεχόμενη ασφάλιση της ιδιοκτησίας του είναι συμφέρουσα ή όχι. Το εργαλείο αυτό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από ασφαλιστικές εταιρίες.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Apel H, Aronica G, Kreibich H, and Thieken A (2009). Flood risk analyses-how detailed do we need to be?. *Natural Hazards* 49(1): 79-98. doi: 10.1007/s11069-008-9277-8
- Appelbaum S (1985). Determination of urban flood damages. *Journal of Water Resources Planning and Management* 111(3): 269-283
- Balanda K, and MacGillivray H (1988). Kurtosis: A Critical Review. *The American Statistician* 42(2): 111-119
- Bates P, and De Roo AP (2000). A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology* 236: 54-77. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00278-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00278-X)
- Black R (1975). Flood Proofing Rural Residences. A Project Agnes Report, Department of Agricultural Engineering, Cornell University, New York
- Boettle M, Kropp J, Reiber L, Roithmeier O, Rybski D, and Walther C (2011). About the influence of elevation model quality and small-scale damage functions on flood damage estimation. *Natural Hazards and Earth System Science* 11(12): 3327-3334. doi:10.5194/nhess-11-3327-2011
- Brémond P, and Grelot F (2010). Comparison of a systemic modelling of farm vulnerability and classical methods to appraise flood damage on agricultural activities. 11th Biennial Conference of the International Society for Ecological Economics (ISEE) Advancing Sustainability in a Time of Crisis.
- Brémond P, Grelot F, and Agenais A (2013). Review Article: Economic evaluation of flood damage to agriculture--review and analysis of existing methods. *Natural Hazards and Earth System Science* 13(10): 2493-2512. doi:10.5194/nhess-13-2493-2013
- Büchle B, Kreibich H, Kron A, Thieken A, Ihringer J, Oberle P, Merz B, and Nestmann F (2006). Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. *Natural Hazards and Earth System Science* 6(4): 485-503
- Bubeck P, and Kreibich KH (2011). Natural Hazards: direct costs and losses due to the disruption of production processes. CONHAZ Consortium
- Bulmer M (1979). Principles of statistics. Courier Dover Publications
- Chang L-F, Lin C-H, and Su M-D (2008). Application of geographic weighted regression to establish flood-damage functions reflecting spatial variation. *Water SA* 34(2): 209-215
- Citeau J (2003). A New Control Concept in the Oise Catchment Area: Definition and Assessment of Flood Compatible Agricultural Activities. FIG working week, Paris, France.
- Clausen L (1989). Potential dam failure: estimation of consequences, and implications for planning. Unpublished Master of Philosophy thesis at the School of Geography and Planning, Middlesex Polytechnic collaborating with Binnie and Partners. Redhill
- Cochrane H (1981). Flood loss simulation. *Natural Resources Forum* 5(1): 31-67

- Cramer D (1997). Basic Statistics for Social Research: step-by-step calculations and computer techniques using Minitab. Psychology Press
- Curtis A, and Wood R (2004). Optimal elicitation of probabilistic information from experts. Geological Society, London, Special Publications 239(1): 127–145
- Czepiel A (2002). Maximum Likelihood Estimation of Logistic Regression Models: Theory and Implementation. <http://czep.net>.
- D' Agostino R, and Pearson E (1973). Tests for departure from normality. Empirical results for the distributions of b_2 and v_{b1} . Journal of Biometrika 60(3): 613-622
- Dale K, Edwards M, Middelmann M, and Zoppou C (2004). Structural flood vulnerability and the Australianisation of Black's curves. Risk
- Das S, and Lee R (1988). A nontraditional methodology for flood stage-damage calculations. JAWRA Journal of the American Water Resources Association 24(6): 1263-1272
- De Risi R, Jalayer F, Iervolino I, Manfredi G, and Carozza S (2013). VISK: a GIS-compatible platform for micro-scale assessment of flooding risk in urban areas. COMPDYN, 4th ECCOMAS Thematic conference on computational methods in structural dynamics and earthquake engineering. Kos Island, Greece
- Dhondia J, and Stelling G (2002). Application of one-dimensional-two-dimensional integrated hydraulic model for flood simulation and damage assessment. Proceeding of the 5th International Conference in Hydroinformatics 1: 265-276
- Downton M, and Pielke R (2005). How Accurate are Disaster Loss Data? The Case of U.S. Flood Damage. Natural Hazards 35(2): 211-228
- Du Plessis L (2001). The generation and use of cumulative probability distributions in flood risk assessment for the Mfolozi flood-plain. Water SA 27(1): 27-34
- Dutta D, Herath S, and Musiake K (2003). A mathematical model for flood loss estimation. Journal of Hydrology 277(1-2): 24-49
- Elmer F, Seifert I, Kreibich H, and Thieken A (2010). A Delphi Method Expert Survey to Derive Standards for Flood Damage Data Collection. Risk Analysis 30(1): 107-124. doi: 10.1111/j.1539-6924.2009.01325.x.
- EM-DAT. Emergency Disasters Database <http://www.emdat.be/database>
- Ernst J, Dewals B, Detrembleur S, Archambeau P, Epicum S, and Pirotton M (2010). Micro-scale flood risk analysis based on detailed 2D hydraulic modelling and high resolution geographic data. Natural Hazards 55(2): 181-209
- European Commission: A new EU Floods Directive 2007/60/EC, available at: http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/index.htm, 2007
- Fatah K (2013). A Multinomial Logistic Regression Model for Analyzing Attitudes towards Political Activities: A Case Study in Erbil/Kurdistan Region of Iraq. J Zankoy Sulaimani-Part A (JZS-A) 15(2): 73-87
- Förster S, Kuhlmann B, Lindenschmidt K, and Bronstert A (2008). Assessing flood risk for a rural detention area. Natural Hazards and Earth System Science 8(2): 311-322

- Genovese E (2006). A methodological approach to land use-based flood damage assessment in urban areas: Prague case study. Technical EUR Reports, EUR 22497
- Green C (1983). Indirect losses from urban flooding: an analytical framework, Middlesex Polytechnic
- Greenaway M, and Smith D (1993). ANUFLOOD programmer's guide and user's manual. Canberra: Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University.
- Grigg N, and Helweg O (1975). State of the art of estimating flood damage in urban areas. Water Resources Bulletin 11(2): 379-390
- Handmer J (1985). ANUFLOOD in New Zealand. Part 2, Background to Flood Loss Measurement, Australian National University, Centre for Resource and Environmental Studies
- Herath S (2003). Flood damage estimation of an urban catchment using remote sensing and GIS. International Training Program on Total Disaster Risk Management
- Horritt M, and Bates P (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. Journal of Hydrology 268: 87-99. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00121-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00121-X).
- Hosmer Jr D, and Lemeshow S (2004). Applied logistic regression. John Wiley & Sons
- Jakubicka T, Vos F, Phalkey P, and Marx M (2010). Health impacts of floods in Europe Data gaps and information needs from a spatial perspective. A MICRODIS Report, November
- James F (1980). Monte Carlo theory and practice. Reports on Progress in Physics 43(9): 1145-1189. doi:10.1088/0034-4885/43/9/002
- Joanes D, and Gill C (1998). Comparing Measures of Sample Skewness and Kurtosis. The Statistician 47(1): 183-189
- Jongman B, Kreibich H, Apel H, Barredo J, Bates P, Feyen L, Gericke A, Neal J, Aerts J, and Ward P (2012). Comparative flood damage model assessment: towards a European approach. Natural Hazards and Earth System Science 12(12): 3733-3752
- Jonkman S, Bočkarjova M, Kok M, and Bernardini P (2008). Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands. Ecological Economics 66(1): 77-90
- Kadam P, and Sen D (2012). Flood inundation simulation in Ajoy River using MIKE FLOOD. Journal of Hydraulic Engineering 2: 129-141
- Kang J, Su M, and Chang L (2005). Loss functions and framework for regional flood damage estimation in residential area. Journal of Marine Science and Technology 13(3): 193-199
- Kelman I, and Spence R (2004). An overview of flood actions on buildings. Engineering Geology 73(3): 297-309
- KGS G (2000). Red river basin-stage-damage curves update and preparation of flood damage maps. Report prepared for international joint commission, Winnipeg, Manitoba, Canada
- Kleinbaum D, and Klein M (2002). Logistic Regression, Statistics for Biology and Health. 2nd ed. Springer

- Koivumäki L, Alho P, Lotsari E, Käyhkö J, Saari A, and Hyyppä H (2010). Uncertainties in flood risk mapping: a case study on estimating building damages for a river flood in Finland. *Journal of Flood Risk Management* 3(2): 166-183
- Kreibich H, Piroth K, Seifert I, Maiwald H, Kunert U, Schwarz J, Merz B, and Thielen A (2009). Is flow velocity a significant parameter in flood damage modelling?. *Natural Hazards and Earth System Science* 9(5): 1679-1692
- Krzysztofowicz R, and Davis D (1983). Category-unit loss functions for flood forecast-response system evaluation. *Water Resources Research* 19(6): 1476-1480
- Kourgialas N, Karatzas G, and Nikolaidis N (2010). An integrated framework for the hydrologic simulation of a complex geomorphological river basin. *Journal of Hydrology* 381:308–321
- Kourgialas N, Karatzas G, and Nikolaidis N (2012). Development of a thresholds approach for real-time flash flood prediction in complex geomorphological river basins. *Hydrological Processes* 26(10): 1478-1494
- Koutroulis A, Tsanis I, and Daliakopoulos I (2010). Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete. *Journal of Hydrology* 394: 90-100
- Lillesand T, Kiefer R, and Chipman J (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 5th ed. John Wiley and Sons, New York
- Lilliefors H (1967). On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance unknown. *Journal of the American Statistical Association* 62(318): 399-402
- Lugeri N, Genovese E, Lavallo C, and De Roo A (2006). *Flood Risk in Europe: analysis of exposure in 13 Countries*, Institute for Environmental and Sustainability. European Commission, Joint Research Center
- Luino F, Cirio C, Biddoccu M, Agangi A, Giulietto W, Godone F, and Nigrelli G (2009). Application of a model to the evaluation of flood damage. *Geoinformatica* 13(3): 339-353
- Lyon S, Lembo Jr A, Walter M, and Steenhuis T (2006). Defining probability of saturation with indicator kriging on hard and soft data. *Advances in Water Resources* 29(2): 181-193. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.02.012>
- McBean E, Gorrie J, Fortin M, Ding J, and Moulton R (1988). Flood depth-damage curves by interview survey. *Journal of Water Resources Planning and Management* 114(6): 613-634
- McDonald G (1970). Agricultural Flood Damage Assessment: A Review and Investigation of a Simulation Method. *Review of Marketing and Agricultural Economics* 38(03): 105-120
- Merz B, Kreibich H, and Lall U (2013). Multi-variate flood damage assessment: a tree-based data-mining approach. *Natural Hazards and Earth System Science* 13(1): 53-64
- Merz B, Kreibich H, Schwarze R, and Thielen A (2010). Review article "Assessment of economic flood damage. *Natural Hazards and Earth System Science* 10(8): 1697-1724
- Merz B, Kreibich H, Thielen A, and Schmidtke R (2004). Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings. *Natural Hazards and Earth System Science* 4(1): 153-163
- Messner F, and Meyer V (2005). *Flood damage, vulnerability and risk perception—challenges for flood damage research*, Springer

- Messner F, Penning-Rowsell E, Green C, Meyer V, Tunstall S, and van der Veen A (2007). Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods. FLOODsite-Report T09-06-01: 176
- Middelmann-Fernandes M (2010). Flood damage estimation beyond stage-damage functions: An Australian example. *Journal of Flood Risk Management* 3(1): 88-96
- MIKE 11 Reference Manual (2011). A Modelling System for River and Channels. DHI Water & Environment
- MIKE 11 User Guide (2011). A Modelling System for River and Channels. DHI Water & Environment
- MIKE 21 Scientific Documentation (2011). Flow Model, Hydrodynamic Module. DHI Water & Environment
- MIKE FLOOD User Manual (2011). 1D-2D Modelling. DHI Water & Environment
- Nadal N, Zapata R, Pagán I, López R, and Agudelo J (2010). Building damage due to riverine and coastal floods. *Journal of Water Resources Planning and Management* 136(3): 327-336
- Nadal N, Lopez R, and Trinidad I (2006). Building damage estimation due to riverine floods, storm surges and tsunamis: A proposed methodology. *Proceeding of the 4th LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCET'2006) Breaking Frontiers and Barriers in Engineering: Education, Research and Practice*
- Nascimento N, Machado M, Baptistaa M, and De Paula E Silvaa A (2007). The assessment of damage caused by floods in the Brazilian context. *Urban Water Journal* 4(3): 195-210. DOI: 10.1080/15730620701466591
- Nocedal J, and Wright S (1999). *Numerical Optimization*. Springer
- Oliveri E, and Santoro M (2000). Estimation of urban structural flood damages: the case study of Palermo. *Urban Water* 2(3): 223-234
- Pantaleoni E, Engel B, and Johannsen C (2007). Identifying agricultural flood damage using Landsat imagery. *Precision Agriculture* 8(1-2): 27-36
- Patro S, Chatterjee C, Mohanty S, Singh R, and Raghuwanshi N (2009). Flood Inundation Modelling using MIKE FLOOD and Remote Sensing Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 37: 107-118. <http://dx.doi.org/10.1007/s12524-009-0002-1>
- Penning-Rowsell E, and Chatterton J (1977). *The benefits of flood alleviation*, Saxon House Farnborough, UK
- Penning-Rowsell E, Chatterton J, Wilson T, and Potter E (2003). *Autumn 2000 Floods in England and Wales: Assessment of National Economic and Financial Losses*, Flood Hazard Research Centre, Middlesex University
- Penning-Rowsell E, Johnson C, Tunstall S, Tapsell S, Morris J, Chatterton J, and Green C (2005). *The benefits of flood and coastal risk management: a handbook of assessment techniques*. Middlesex university press London

- Pistrika A (2010). Flood damage estimation based on flood simulation scenarios and a GIS platform. Proceedings of EWRA 7th International Conference "Water Resources Conservancy and Risk Reduction Under Climatic Instability", Limassol (Cyprus): 419-427
- Pistrika A, and Jonkman S (2010). Damage to residential buildings due to flooding of New Orleans after hurricane Katrina. *Natural Hazards* 54(2): 413-434
- Pivot J-M, and Martin P (2002). Farms adaptation to changes in flood risk: a management approach. *Journal of Hydrology* 267(1–2): 12-25
- Renyi L, and Nan L (2002). Flood area and damage estimation in Zhejiang, China. *Journal of Environmental Management* 66(1): 1-8
- Roos W, Waarts P, and Vrouwenvelder A (2003). Damage to buildings. Delft Cluster report DC1-233-9
- Scawthorn C, Flores P, Blais N, Seligson H, Tate E, Chang S, Mifflin E, Thomas W, Murphy J, Jones C, and Lawrence M (2006). HAZUS-MH flood loss estimation methodology. II. Damage and loss assessment. *Natural Hazards Review* 7(2): 72-81
- Schwarz J, and Maiwald H (2008). Damage and loss prediction model based on the vulnerability of building types. 4th international symposium on flood defence: managing flood risk, reliability and vulnerability. Toronto, Ontario, Canada, Institute for Catastrophic Loss Reduction
- Sheskin D (2003). Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures. CRC Press
- Smith D (1994). Flood damage estimation-a review of urban stage-damage curves and loss functions. *Water SA* 20(3): 231-238
- Soetanto R, and Proverbs D (2004). Impact of flood characteristics on damage caused to UK domestic properties: the perceptions of building surveyors. *Structural Survey* 22(2): 95-104
- Spekkers M, Ten Veldhuis J, Kok M, and Clemens F (2011). Analysis of pluvial flood damage based on data from insurance companies in the Netherlands. Urban Flood Risk Management Conference, Austria
- Su M-D, Kang J-L, Chang L-F, and Chen A (2005). A grid-based GIS approach to regional flood damage assessment. *Journal of Marine Science and Technology* 13(3): 184-192
- SurveyMonkey 1999-2013, available at: <https://www.surveymonkey.com/>
- Tapia-Silva F-O, Itzerott S, Foerster S, Kuhlmann B, and Kreibich H (2011). Estimation of flood losses to agricultural crops using remote sensing. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 36(7–8): 253-265
- Thieken A, Ackermann V, Elmer F, Kreibich H, Kuhlmann B, Kunert U, Maiwald H, Merz B, Müller M, Piroth K, Schwarz J, Schwarze R, Seifert I, and Seifert J (2008). Methods for the evaluation of direct and indirect flood losses. 4th international symposium on flood defense: managing flood risk, reliability and vulnerability. Toronto, Ontario, Canada
- Thieken A, Müller M, Kreibich H, and Merz B (2005). Flood damage and influencing factors: New insights from the August 2002 flood in Germany. *Water Resources Research* 41(12): . doi: 10.1029/2005WR004177

- Thieken A, Olschewski A, Kreibich H, Kobsch S, and Merz B (2008). Development and evaluation of FLEMOps-a new Flood Loss Estimation MOdel for the private sector. 1st International Conference on Flood Recovery, Innovation and Response (FRIAR), London, UK, 2-3 July 2008., WIT Press
- Timbadiya P, Patel P, and Porey P (2011) Calibration of HEC-RAS Model on Prediction of Flood for Lower Tapi River, India. *Journal of Water Resource and Protection* 3(11): 805-811. doi:10.4236/jwarp.2011.311090
- Tsakiris G, Pistrika A, Klampanos I, Laoupi A, Ioannidis C, Soile S, and Georgopoulos A (2007). DISMA-Disaster Management GIS with emphasis on cultural sites–Technical Report–Volume I. Athens, Greece: Centre for the Assessment of Natural Hazards and Proactive Planning.
- USACE (1985). AGDAM, Agricultural Flood Damage Analysis, User's Manual (Provisionnal), Computer Program Documentation CPD-48, US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center (HEC), Davis, CA
- Van der Sande C, De Jong S, and de Roo A (2003). A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 4(3): 217-229. doi: 10.1016/S0303-2434(03)00003-5
- Varouchakis E (2012). Geostatistical Analysis and Space-Time Models of Aquifer Levels: Application to Mires Hydrological Basin in the Prefecture of Crete [PhD dissertation]. Department of Mineral Resources Engineering. Technical University of Crete
- Viljoen M, Du Plessis L, and Booysen H (2001). Extending flood damage assessment methodology to include sociological and environmental dimensions. *Water SA* 27(4): 517-522. <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v27i4.4965>
- Vojinovic Z, and Tutulic D (2009). On the use of 1D and coupled 1D-2D modelling approaches for assessment of flood damage in urban areas. *Urban Water Journal* 6(3): 183-199
- Vozinaki A-E, Kourgialas N, and Karatzas G (2012). Estimation of agricultural flood loss in the Koiliaris river basin in Crete, Greece. *European Water* 39: 53-63
- White G (1945). Human adjustment to floods: a geographical approach to the flood problem in the United States, Chicago, University of Chicago
- White G (1964). Choice of adjustment to floods, Chicago, University of Chicago
- Yu J, Qin X, and Larsen O (2013). Joint Monte Carlo and possibilistic simulation for flood damage assessment. *Stochastic Environment Research and Risk Assessment*. 27: 725-735. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-012-0635-4>

Ελληνική Βιβλιογραφία

Βοζινάκης Κ, Κουγιάννη Σ (2004). Υδατικοί πόροι Νομού Χανίων και διαχείριση τους

ΕΓΥ (2012). Εφαρμογή Οδηγίας 2007/60/ΕΚ. Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Αθήνα, Δεκέμβριος 2012

Εγχειρίδιο Εκτιμητικής για τα Εσπεριδοειδή (2003). Οργανισμός Γεωργικών Ασφαλίσεων ΕΛΓΑ, Αθήνα

Εγχειρίδιο Εκτιμητικής για την Ελιά (2003). Οργανισμός Γεωργικών Ασφαλίσεων ΕΛΓΑ, Αθήνα

ΕΚΚΕ (2007). Γκέκας Ρ, Μήτσου Κ. Μελέτη Νο 6-Περιορισμός των Επιπτώσεων από τις Πλημμύρες. Οι Νέες Μέθοδοι Αντιμετώπισης των Πλημμύρων και ο Πρωταγωνιστικός Ρόλος των Ο.Τ.Α. Εθνικό Κέντρο Κοινωνικών Ερευνών. Ινστιτούτο Αστικής και Αγροτικής Κοινωνιολογίας. Ομάδα Περιβάλλοντος. Φεβρουάριος 2007

Καλογεράκη Β (2009). Διαχειριστική μελέτη Υδατικών Πόρων στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κοιλιάρη [Προπτυχιακή διατριβή]. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Πολυτεχνείο Κρήτης

Κουργιαλάς Ν (2010). Ολοκληρωμένη Διαχείριση-Πρόβλεψη και Αντιμετώπιση Πλημμυρικών Φαινομένων σε Σύνθετες Γεωμορφολογικά Περιοχές με χρήση Μαθηματικών μοντέλων και GIS [Διδακτορική Διατριβή]. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Πολυτεχνείο Κρήτης

Περιφέρεια Κρήτης (2009). Κατάσταση Υπόγειων Υδροφορέων Κρήτης. Παρατηρήσεις για το τρέχον υδρολογικό έτος (1^η Μαΐου 2009 έως 30^η Σεπτεμβρίου 2009. Γενική Διεύθυνση υδάτων. Τμήμα παρακολούθησης και ελέγχου της ποιότητας και της ποσότητας των υδάτων. Ηράκλειο, Νοέμβριος 2009

Πιστρίκα Α (2010) Εκτίμηση άμεσης πλημμυρικής ζημιάς σε δομημένο περιβάλλον [Διδακτορική Διατριβή]. Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΦΕΚ 1079/Β'/14.10.98 (1998). Κοινή Υπουργική Απόφαση των Υπουργών Οικονομικών και Γεωργίας Αριθ. 15711 /30.9.98.

ΦΕΚ ΕΛΓΑ (2012), ΑΠΟΦΑΣΗ 235/23719 δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ 500/Β/ 29-2-2012 Περί διαδικασίας υποβολής της ετήσιας Ενιαίας Δήλωσης Καλλιέργειας/ Εκτροφής σε εφαρμογή του νόμου 3877/2010 (ΦΕΚ Α' 160), τρόποι καταβολής της ειδικής ασφαλιστικής εισφοράς υπέρ του Οργανισμού Ελληνικών Γεωργικών Ασφαλίσεων (ΕΛ.Γ.Α.) και Ασφαλιστική Ενημερότητα

Χατζηθεοχάρους Κ (2005). Υδρογεωχημική μελέτη του ποταμού Κοιλιάρη. [Μεταπτυχιακή Διατριβή]. Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος. Πολυτεχνείο Κρήτης

Παραρτήματα

Παράρτημα Α

Ερωτηματολόγιο για τον αγροτικό τομέα (*offline questionnaire*)



Πολυτεχνείο Κρήτης

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής

Υπεύθυνος Καθηγητής: Καρατζάς Γεώργιος

Ερευνητικά φύλλα για τον υπολογισμό της ποσοστιαίας ζημιάς από πλημμύρα σε διάφορα είδη καλλιέργειας

Ονοματεπώνυμο (προαιρετικά):

Φορέας/Ιδιότητα:

Τα παρακάτω ερευνητικά φύλλα δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής «Ένα ολοκληρωμένο σύστημα εκτίμησης της επικινδυνότητας και των επιπτώσεων πλημμυρικών φαινομένων». Η διατριβή αυτή εκπονείται στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Ηράκλειτος II: Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου». Η βοήθειά σας κρίνεται εξαιρετικά πολύτιμη και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν, θα παρουσιαστούν στη διατριβή και σε μορφή ευχαριστιών. *Για οτιδήποτε χρειαστείτε μπορείτε να επικοινωνήσετε στα τηλέφωνα 28210-37830 ή 694-4435725 (Βοζινάκη Ειρήνη).*

Παρακαλώ στα παρακάτω ερευνητικά φύλλα θεωρείστε ότι το πλημμυρικό γεγονός πραγματοποιείται σε χωράφι της περιοχής του ποταμού Κοιλιάρη (περιοχή Αποκόρωνα, υψόμετρο 0-20 m), στο οποίο καλλιεργείται ένα είδος καλλιέργειας κάθε φορά. Η πλημμύρα είναι μικρής διάρκειας και μεγάλης έντασης. Η κλίση στην κατακλυζόμενη επιφάνεια χαρακτηρίζεται μικρή (έως 1%), ενώ το νερό της πλημμύρας απομακρύνεται πολύ γρήγορα από το έδαφος. Οι απαντήσεις να αφορούν μόνο τις άμεσες ζημιές στην παραγωγή της κάθε καλλιέργειας από την πλημμύρα.

Σας ευχαριστώ πάρα πολύ για το χρόνο σας!

Ερευνητικό φύλλο για την εκτίμηση της ποσοστιαίας ζημιάς από πλημμύρα σε Ελαιώνα

Η πλημμύρα πραγματοποιείται σε ελαιώνα (ποικιλίας Κορωνέικης). Τα ελαιόδεντρα είναι ενήλικα (πάνω από 20 ετών). Η παραγωγή έχει συγκομιστεί μέχρι τον Γενάρη. Ποια είναι η επί τοις εκατό (%) ζημιά που προκαλείται στην παραγωγή του κάθε ελαιόδεντρου σύμφωνα με τις παρακάτω συνθήκες; (Απαντήστε λαμβάνοντας υπόψη σας την παραγωγή από τέσσερα τελευταία έτη).

% Ζημιά από πλημμύρα σε Ελαιόδεντρο				
Υψος νερού (m)	Ταχύτητα (m/s)			Χρονική Περίοδος
	Μικρή (0<v≤0.5)	Μεσαία (0.5<v ≤1.5)	Μεγάλη (1.5<v≤4.5)	
0 < h ≤ 0.5%%%	Μάρτιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Απρίλιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
Μάιος – Σεπτέμβριος (Θεωρείται μικρή η πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας)				
0 < h ≤ 0.5%%%	Οκτώβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Νοέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Δεκέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Ιανουάριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Φεβρουάριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	

Σχόλια-Σημειώσεις:

Ερευνητικό φύλλο για την εκτίμηση της ποσοστιαίας ζημιάς από πλημμύρα σε Οπωρώνα

Η πλημμύρα πραγματοποιείται σε πορτοκαλεύνα (ποικιλία Μέρλιν-ομφαλοφόρα). Τα δέντρα είναι ενήλικα (πάνω από 15 ετών). Η παραγωγή έχει συγκομιστεί μέχρι τον Μάρτη. Ποια είναι η επί τοις εκατό (%) ζημιά που προκαλείται στην παραγωγή του κάθε δέντρου πορτοκαλιάς σύμφωνα με τις παρακάτω συνθήκες; (Απαντήστε λαμβάνοντας υπόψη σας την παραγωγή από τέσσερα τελευταία έτη).

% Ζημιά από πλημμύρα σε Πορτοκαλιά				
Ύψος νερού σε μέτρα	Ταχύτητα (m/s)			Χρονική Περίοδος
	Μικρή (0<v≤0.5)	Μεσαία (0.5<v ≤1.5)	Μεγάλη (1.5<v≤4.5)	
0 < h ≤ 0.5%%%	Μάρτιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Απρίλιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
Μάιος – Σεπτέμβριος (Θεωρείται μικρή η πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας)				
0 < h ≤ 0.5%%%	Οκτώβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Νοέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Δεκέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Ιανουάριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Φεβρουάριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	

Σχόλια-Σημειώσεις:

Ερευνητικό φύλλο για την εκτίμηση της ποσοστιαίας ζημιάς από πλημμύρα σε Χωράφι με υπαίθριες τομάτες

Η πλημμύρα πραγματοποιείται σε χωράφι με υπαίθριες τομάτες. Ποια είναι η επί τοις εκατό (%) ζημιά που προκαλείται στην παραγωγή της κάθε τοματιάς σύμφωνα με τις παρακάτω συνθήκες; (Απαντήστε λαμβάνοντας υπόψη σας την παραγωγή από τέσσερα τελευταία έτη).

✓ Αν οι τομάτες είναι πρώιμες (δηλαδή φυτεύτηκαν 1^η Απριλίου) τότε η συγκομιδή θεωρείται ότι έχει γίνει μέχρι τον Οκτώβρη. Επομένως καλείστε να απαντήσετε για την επί τοις εκατό (%) ζημιά στο φυτικό κεφάλαιο της κάθε τοματιάς μόνο για τον μήνα Απρίλιο.

% Ζημιά από πλημμύρα σε πρώιμη Τομάτα				
Υψος νερού σε μέτρα	Ταχύτητα (m/s)			Χρονική Περίοδος
	Μικρή (0<v≤0.5)	Μεσαία (0.5<v ≤1.5)	Μεγάλη (1.5<v≤4.5)	
0 < h ≤ 0.5%%%	Απρίλιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
Μάιος – Σεπτέμβριος (Θεωρείται μικρή η πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας)				

Σχόλια-Σημειώσεις:

✓ Αν οι τομάτες είναι όψιμες (δηλαδή φυτεύτηκαν μέσα στο καλοκαίρι) τότε θεωρείται ότι έχει συγκομιστεί το 70% της συνολικής παραγωγής έως τον Οκτώβρη. Επομένως καλείστε να απαντήσετε για την επί τοις εκατό (%) ζημιά στην παραγωγή της κάθε τοματιάς που δεν έχει συγκομιστεί ακόμα για τον Οκτώβρη και τον Νοέμβρη.

% Ζημιά από πλημμύρα σε όψιμη Τομάτα				
Μάιος – Σεπτέμβριος (Θεωρείται μικρή η πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας)				
Υψος νερού σε μέτρα	Ταχύτητα (m/s)			Χρονική Περίοδος
	Μικρή (0<v≤0.5)	Μεσαία (0.5<v ≤1.5)	Μεγάλη (1.5<v≤4.5)	
0 < h ≤ 0.5%%%	Οκτώβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Νοέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	

Σχόλια-Σημειώσεις:

Ερευνητικό φύλλο για την εκτίμηση της ποσοστιαίας ζημιάς από πλημμύρα σε Χωράφι με φυλλώδη λαχανικά (μαρούλια)

Η πλημμύρα πραγματοποιείται σε χωράφι με φυλλώδη λαχανικά (π.χ. μαρούλια). Ποια είναι η επί τοις εκατό (%) ζημιά που προκαλείται στην παραγωγή του κάθε φυλλώδους λαχανικού σύμφωνα με τις παρακάτω συνθήκες; (Απαντήστε λαμβάνοντας υπόψη σας την παραγωγή από τέσσερα τελευταία έτη).

% Ζημιά από πλημμύρα σε Φυλλώδες λαχανικό (Μαρούλι)				
Ύψος νερού σε μέτρα	Ταχύτητα (m/s)			Χρονική Περίοδος
	Μικρή (0<v≤0.5)	Μεσαία (0.5<v ≤1.5)	Μεγάλη (1.5<v≤4.5)	
0 < h ≤ 0.5%%%	Μάρτιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Απρίλιος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
Μάιος – Σεπτέμβριος (Θεωρείται μικρή η πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας)				
0 < h ≤ 0.5%%%	Οκτώβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Νοέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Δεκέμβριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Ιανουάριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h < 2%%%	
0 < h ≤ 0.5%%%	Φεβρουάριος
0.5 < h ≤ 1%%%	
1 < h ≤ 2%%%	

Σχόλια-Σημειώσεις:

Ερωτηματολόγιο για τον αγροτικό τομέα (online questionnaire)

Έρευνα - Ζημιές από πλημμύρα σε Ελαιώνα

Το πλημμυρικό γεγονός πραγματοποιείται σε Ελαιώνα (ποικιλίας Κορινθίικης) της περιοχής του ποταμού Κοιλιάρη (περιοχή Αποκόρωνα, Χανίων, υψόμετρο 0-20 m). Τα δέντρα είναι ενήλικα (πάνω από 20 ετών). Η παραγωγή έχει συγκομιστεί μέχρι τον Ιανουάριο.

Η πλημμύρα είναι μικρής διάρκειας και μεγάλης έντασης. Η κλίση στην κατακλυζόμενη επιφάνεια χαρακτηρίζεται μικρή (έως 1%) και το νερό της πλημμύρας απομακρύνεται πολύ γρήγορα από το έδαφος. Το χώμα στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται κυρίως ως πηλώδες με χαμηλή έως μέτρια ικανότητα διήθησης.

Οι μήνες Μάιος-Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος-Σεπτέμβριος δεν έχουν συμπεριληφθεί στο ερωτηματολόγιο καθώς τότε είναι μικρή η πιθανότητα πλημμύρας.

Καλείστε να εκτιμήσετε το ύψος των άμεσων ζημιών που μπορεί να προκαλέσει η πλημμύρα στην παραγωγή της συγκεκριμένης καλλιέργειας ανάλογα με τα δεδομένα σενάρια ύψους και ταχύτητας του νερού της πλημμύρας.

Η ζημιά λαμβάνει τιμές από 1 έως 5 και η κλίμακα έχει ως εξής:

- 1: Ανύπαρκτη ζημιά
- 2: Μικρή ζημιά
- 3: Μεσαία ζημιά
- 4: Μεγάλη ζημιά
- 5: Ολική ζημιά

1. Ζημιά από πλημμύρα σε Ελαιόδεντρο (Ιανουάριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>

2. Ζημιά από πλημμύρα σε Ελαιόδεντρο (Φεβρουάριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>

3. Ζημιά από πλημμύρα σε Ελαιόδεντρο (Μάρτιος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>

4. Ζημιά από πλημμύρα σε Ελαιόδεντρο (Απρίλιος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>

5. Ζημιά από πλημμύρα σε Ελαιόδεντρο (Οκτώβριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>

6. Ζημιά από πλημμύρα σε Ελαιόδεντρο (Νοέμβριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>

7. Ζημιά από πλημμύρα σε Ελαιόδεντρο (Δεκέμβριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>	<input type="button" value="▼"/>

8. Σχόλια/Παρατηρήσεις

Ευχαριστώ πολύ!



Ηλεκτρονικό ερωτηματολόγιο Survey Monkey για τον αγροτικό τομέα-Ελαιόδεντρο

Έρευνα - Ζημιές από πλημμύρα σε Οπωρώνα

Το πλημμυρικό γεγονός πραγματοποιείται σε πορτοκαλαώνα (ποικιλίας Μέρλιν-ομφαλοφόρα) της περιοχής του ποταμού Κοιλάρη (περιοχή Αποκόρωνα, Χανίων, υψόμετρο 0-20 m). Τα δέντρα είναι ενήλικα (πάνω από 15 ετών). Η παραγωγή έχει συγκομιστεί μέχρι τον Μάρτιο.

Η πλημμύρα είναι μικρής διάρκειας και μεγάλης έντασης. Η κλίση στην κατακλυζόμενη επιφάνεια χαρακτηρίζεται μικρή (έως 1%) και το νερό της πλημμύρας απομακρύνεται πολύ γρήγορα από το έδαφος. Το χώμα στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται κυρίως ως πηλώδες με χαμηλή έως μέτρια ικανότητα διήθησης.

Οι μήνες Μάιος-Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος-Σεπτέμβριος δεν έχουν συμπεριληφθεί στο ερωτηματολόγιο καθώς τότε είναι μικρή η πιθανότητα πλημμύρας.

Καλείστε να εκτιμήσετε το ύψος των άμεσων ζημιών που μπορεί να προκαλέσει η πλημμύρα στην παραγωγή της συγκεκριμένης καλλιέργειας ανάλογα με τα δεδομένα σενάρια ύψους και ταχύτητας του νερού της πλημμύρας.

Η ζημιά λαμβάνει τιμές από 1 έως 5 και η κλίμακα έχει ως εξής:

- 1: Ανύπαρκτη ζημιά
- 2: Μικρή ζημιά
- 3: Μεσαία ζημιά
- 4: Μεγάλη ζημιά
- 5: Ολική ζημιά

1. Ζημιά από πλημμύρα σε Πορτοκαλιά (Ιανουάριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

2. Ζημιά από πλημμύρα σε Πορτοκαλιά (Φεβρουάριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

3. Ζημιά από πλημμύρα σε Πορτοκαλιά (Μάρτιος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

4. Ζημιά από πλημμύρα σε Πορτοκαλιά (Απρίλιος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

5. Ζημιά από πλημμύρα σε Πορτοκαλιά (Οκτώβριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

6. Ζημιά από πλημμύρα σε Πορτοκαλιά (Νοέμβριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

7. Ζημιά από πλημμύρα σε Πορτοκαλιά (Δεκέμβριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

8. Σχόλια/Παρατηρήσεις

Ευχαριστώ πολύ!



Ηλεκτρονικό ερωτηματολόγιο Survey Monkey για τον αγροτικό τομέα-Πορτοκαλαϊόδεντρο

Έρευνα - Ζημιές από πλημμύρα σε Χωράφι με υπαίθριες Τομάτες

Το πλημμυρικό γεγονός πραγματοποιείται σε χωράφι με υπαίθριες τομάτες της περιοχής του ποταμού Κοιλιάρη (περιοχή Αποκόρωνα, Χανίων, υψόμετρο 0-20 m).

Η πλημμύρα είναι μικρής διάρκειας και μεγάλης έντασης. Η κλίση στην κατακλυζόμενη επιφάνεια χαρακτηρίζεται μικρή (έως 1%) και το νερό της πλημμύρας απομακρύνεται πολύ γρήγορα από το έδαφος. Το χώμα στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται κυρίως ως πηλώδες με χαμηλή έως μέτρια ικανότητα διήθησης. Η υποστήλωση στις τομάτες χαρακτηρίζεται μέτρια.

Καλείστε να εκτιμήσετε το ύψος των άμεσων ζημιών που μπορεί να προκαλέσει η πλημμύρα στην παραγωγή της συγκεκριμένης καλλιέργειας ανάλογα με τα δεδομένα σενάρια ύψους και ταχύτητας του νερού της πλημμύρας.

Η ζημιά λαμβάνει τιμές από 1 έως 5 και η κλίμακα έχει ως εξής:

- 1: Ανύπαρκτη ζημιά
- 2: Μικρή ζημιά
- 3: Μεσαία ζημιά
- 4: Μεγάλη ζημιά
- 5: Ολική ζημιά

1. Ζημιά από πλημμύρα σε πρώιμη Τομάτα (Απρίλιος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Θεωρούμε ότι οι πρώιμες τομάτες φυτεύτηκαν 1η Απριλίου και η συγκομιδή έχει γίνει μέχρι την 1η Οκτωβρίου.

2. Ζημιά από πλημμύρα σε όψιμη Τομάτα (Οκτώβριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Θεωρούμε ότι οι όψιμες τομάτες φυτεύτηκαν μέσα στο καλοκαίρι και έχει συγκομιστεί το 70% της συνολικής παραγωγής έως τον Οκτώβριο. Επομένως καλείστε να απαντήσετε για τη ζημιά στην παραγωγή της κάθε τοματιάς που δεν έχει συγκομιστεί ακόμα.

3. Ζημιά από πλημμύρα σε όψιμη Τομάτα (Νοέμβριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Θεωρούμε ότι οι όψιμες τομάτες φυτεύτηκαν μέσα στο καλοκαίρι και έχει συγκομιστεί το 70% της συνολικής παραγωγής έως τον Οκτώβριο. Επομένως καλείστε να απαντήσετε για τη ζημιά στην παραγωγή της κάθε τοματιάς που δεν έχει συγκομιστεί ακόμα.

4. Σχόλια/Παρατηρήσεις

Ευχαριστώ πολύ!



Ηλεκτρονικό ερωτηματολόγιο Survey Monkey για τον αγροτικό τομέα-Τοματιά

Έρευνα - Ζημιές από πλημμύρα σε Χωράφι με Φυλλώδη Λαχανικά (Μαρούλια)

Το πλημμυρικό γεγονός πραγματοποιείται σε χωράφι με φυλλώδη λαχανικά (π.χ. μαρούλια) της περιοχής του ποταμού Κοιλάρη (περιοχή Αποκόρων, Χανίων, υψόμετρο 0-20 m).

Η πλημμύρα είναι μικρής διάρκειας και μεγάλης έντασης. Η κλίση στην κατακλυζόμενη επιφάνεια χαρακτηρίζεται μικρή (έως 1%) και το νερό της πλημμύρας απομακρύνεται πολύ γρήγορα από το έδαφος. Το χώμα στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται κυρίως ως πηλώδες με χαμηλή έως μέτρια ικανότητα διήθησης.

Οι μήνες Μάιος-Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος-Σεπτέμβριος δεν έχουν συμπεριληφθεί στο ερωτηματολόγιο καθώς τότε είναι μικρή η πιθανότητα πλημμύρας.

Καλείστε να εκτιμήσετε το ύψος των άμεσων ζημιών που μπορεί να προκαλέσει η πλημμύρα στην παραγωγή της συγκεκριμένης καλλιέργειας ανάλογα με τα δεδομένα σενάρια ύψους και ταχύτητας του νερού της πλημμύρας.

Η ζημιά λαμβάνει τιμές από 1 έως 5 και η κλίμακα έχει ως εξής:

- 1: Ανύπαρκτη ζημιά
- 2: Μικρή ζημιά
- 3: Μεσαία ζημιά
- 4: Μεγάλη ζημιά
- 5: Ολική ζημιά

1. Ζημιά από πλημμύρα σε Φυλλώδες Λαχανικό (Ιανουάριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

2. Ζημιά από πλημμύρα σε Φυλλώδες Λαχανικό (Φεβρουάριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

3. Ζημιά από πλημμύρα σε Φυλλώδες Λαχανικό (Μάρτιος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

4. Ζημιά από πλημμύρα σε Φυλλώδες Λαχανικό (Απρίλιος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

5. Ζημιά από πλημμύρα σε Φυλλώδες Λαχανικό (Οκτώβριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

6. Ζημιά από πλημμύρα σε Φυλλώδες Λαχανικό (Νοέμβριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

7. Ζημιά από πλημμύρα σε Φυλλώδες Λαχανικό (Δεκέμβριος)

	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

8. Σχόλια/Παρατηρήσεις


Ευχαριστώ πολύ!



Ηλεκτρονικό ερωτηματολόγιο Survey Monkey για τον αγροτικό τομέα-Φυλλώδες λαχανικό

Παράρτημα Β

Ερωτηματολόγιο για τον αστικό τομέα (online questionnaire)

Έρευνα - Ζημιές από πλημμύρα σε αστικές κατοικίες			
<p>Οι παρακάτω πίνακες αναφέρονται σε ποτάμια πλημμύρα, μικρής διάρκειας και μεγάλης έντασης, η οποία προκαλεί ζημιές σε κατοικίες που βρίσκονται πλευρικά του ποταμού.</p> <p>Η ζημιά αναφέρεται αποκλειστικά στην κατασκευή του κτιρίου (φέροντα οργανισμό και τοίχους πλήρωσης) με δεδομένο ότι το νερό εισέρχεται στο κτίριο από πόρτες ή παράθυρα.</p> <p>Το κτίριο μελέτης έχει κατασκευαστεί μετά το 1960. Η υπάρχουσα κατάσταση της κατασκευής είναι καλή. Το κτίσμα δεν έχει υπόγειο.</p> <p>Καλείστε να εκτιμήσετε το ύψος της ζημιάς που μπορεί να προκαλέσει η πλημμύρα στα ακόλουθα είδη κτιρίων ανάλογα με τα δεδομένα σενάρια ύψους και ταχύτητας του νερού της πλημμύρας.</p> <p>Η ζημιά λαμβάνει τιμές από 1 έως 5 και η κλίμακα έχει ως εξής:</p> <ul style="list-style-type: none">1: Ανύπαρκτη ζημιά2: Μικρή ζημιά3: Μεσαία ζημιά4: Μεγάλη ζημιά5: Ολική ζημιά			
1. Ζημιά από πλημμύρα σε κατοικία με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιία από τούβλο (βαθιά θεμελίωση)			
	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 2.01 - 3 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας > 3 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2. Ζημιά από πλημμύρα σε πέτρινη κατοικία (επιφανειακή θεμελίωση)			
	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 2.01 - 3 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας > 3 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3. Ζημιά από πλημμύρα σε κατοικία από τούβλο-τσιμεντότουβλο (επιφανειακή θεμελίωση)			
	Μικρή Ταχύτητα (< 0.5 m/s)	Μεσαία ταχύτητα (0.51 - 1.5 m/s)	Μεγάλη ταχύτητα (> 1.51 m/s)
Ύψος νερού πλημμύρας 0.0 - 0.5 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 0.51 - 1 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 1.01 - 2 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας 2.01 - 3 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ύψος νερού πλημμύρας > 3 m	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4. Σχόλια/Παρατηρήσεις			
<div style="border: 1px solid black; height: 40px;"></div>			
Ευχαριστώ πολύ!			
<div></div>			

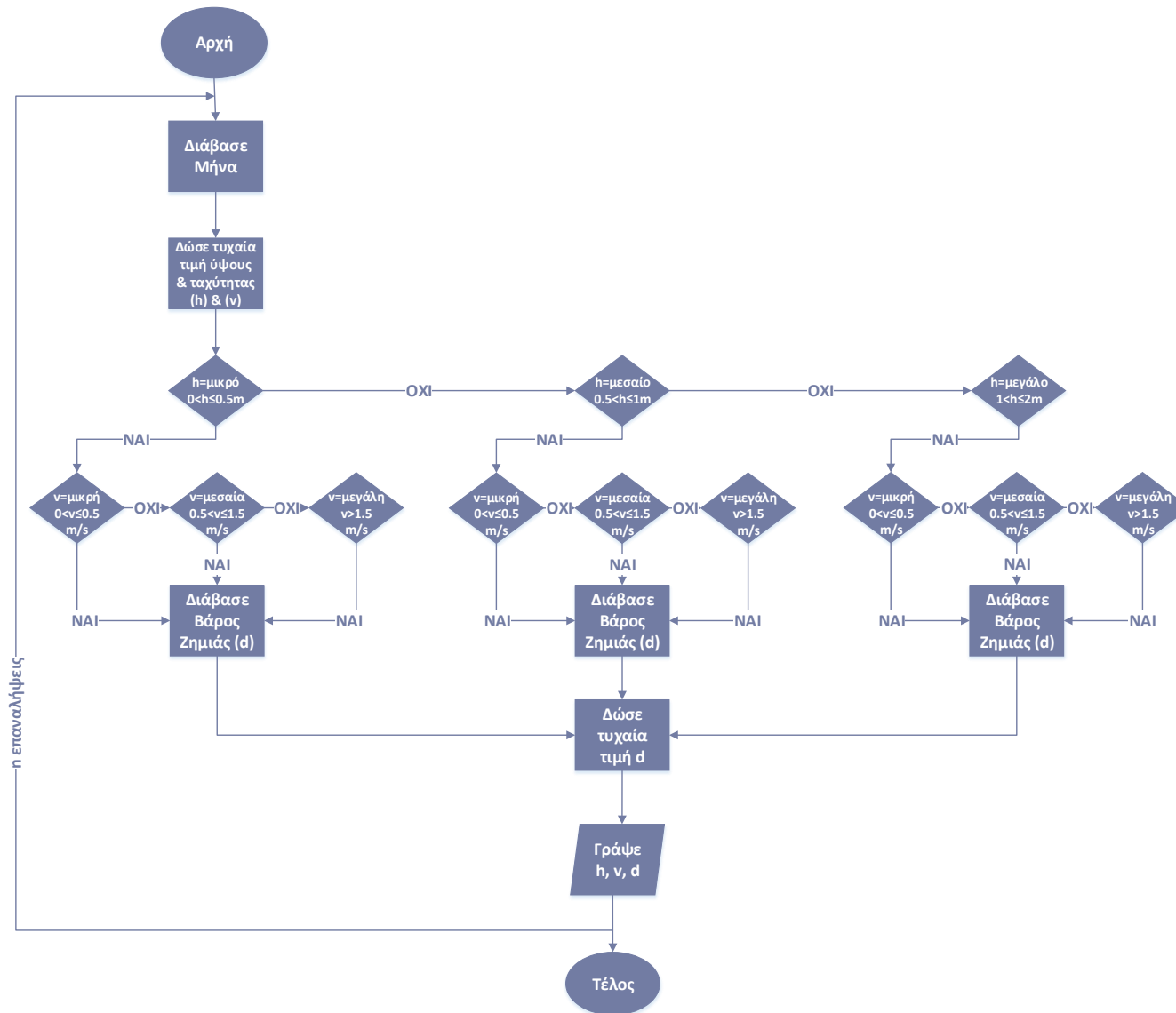
Ηλεκτρονικό ερωτηματολόγιο Survey Monkey για τον αστικό τομέα

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους συμμετέχοντες στην παραπάνω έρευνα για τη συμμετοχή και την απλόχερη βοήθειά τους.

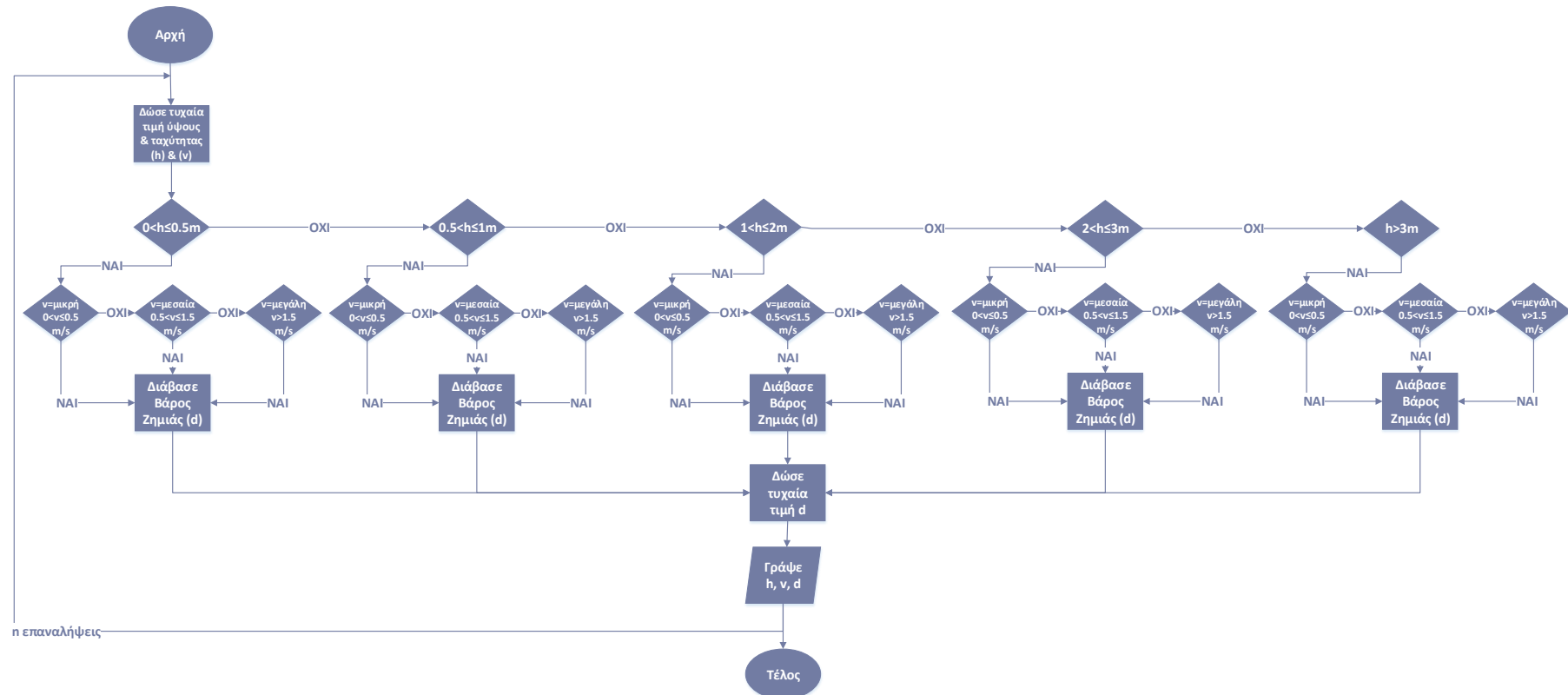
Παράρτημα Γ

Διαγράμματα ροής εκτελέσιμου κώδικα Python

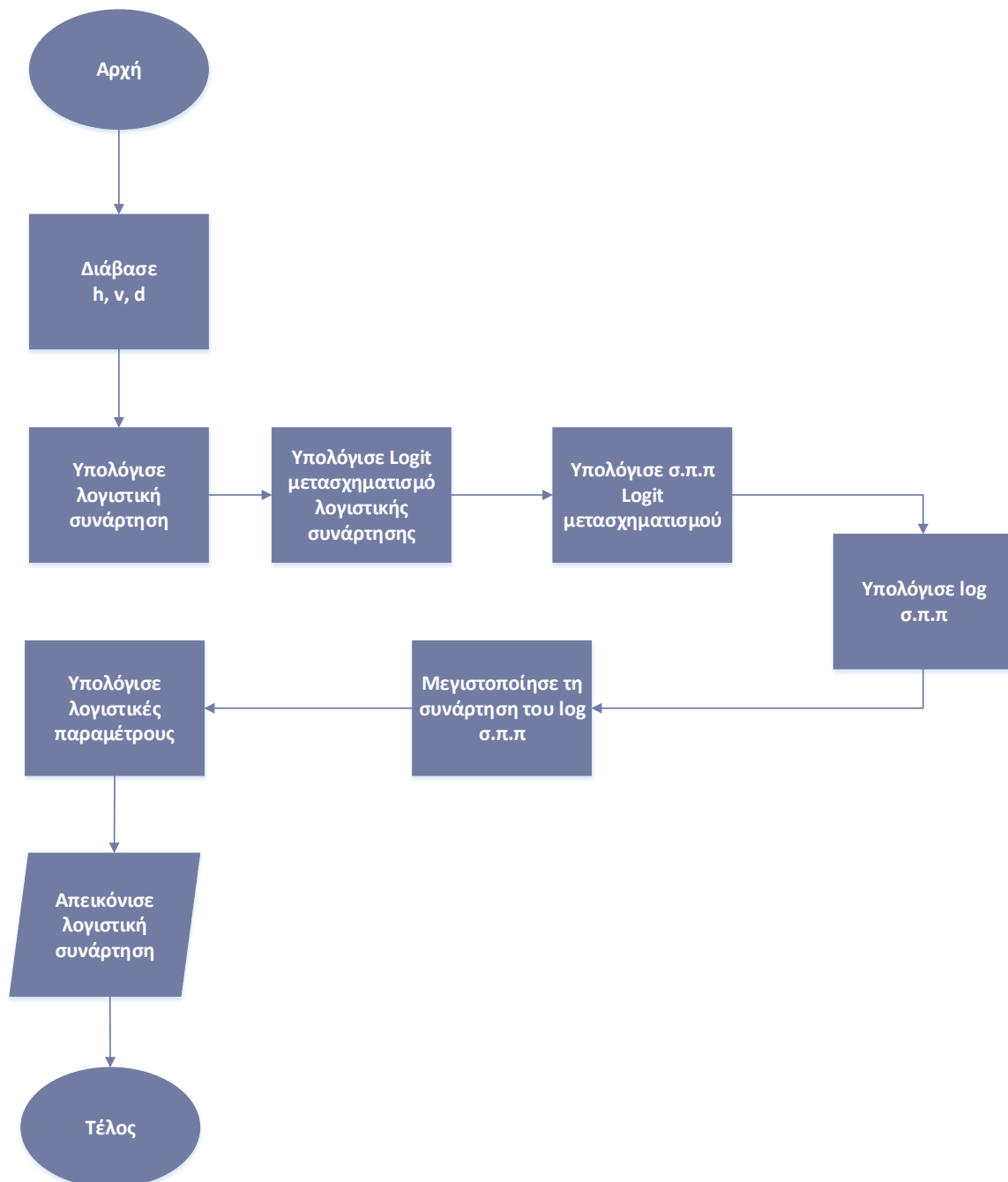
Κώδικας Python σταθμισμένης Monte Carlo μεθόδου-Weighted Monte Carlo (WMC) method για τον αγροτικό τομέα



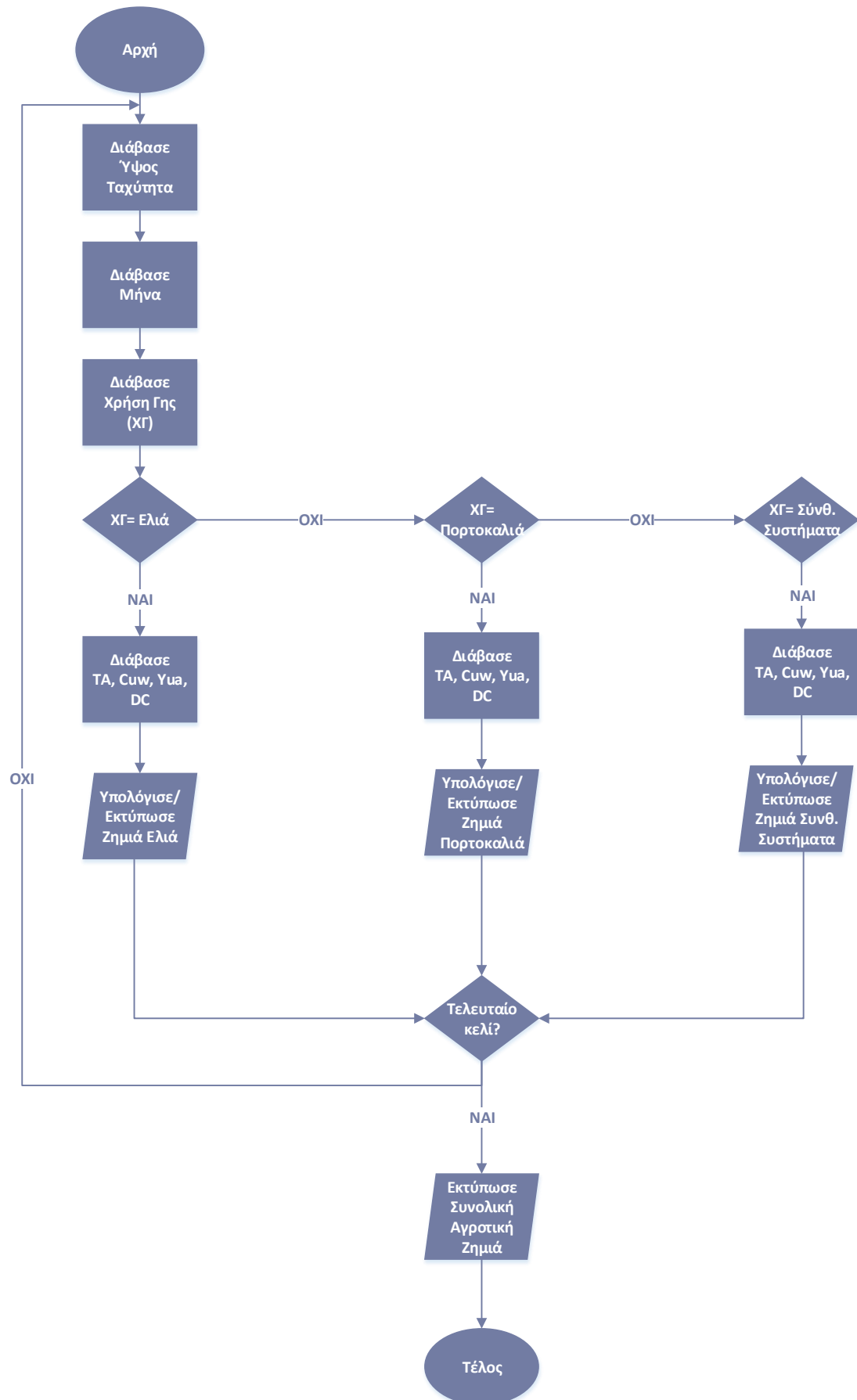
Κώδικας Python σταθμισμένης Monte Carlo μεθόδου-Weighted Monte Carlo (WMC) method για τον αστικό τομέα



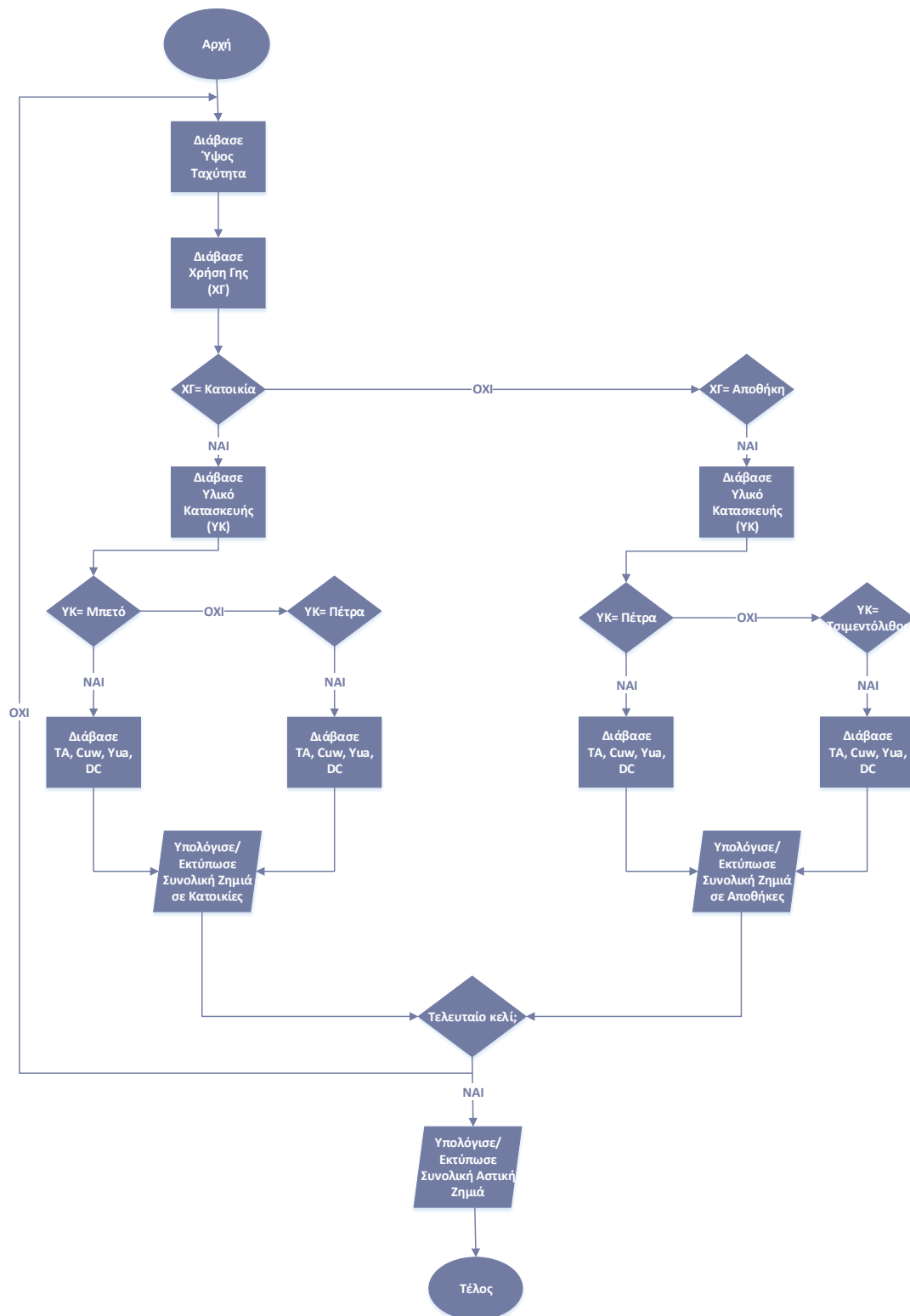
Κώδικας Python LR μέθοδος



Κώδικας Python για την εκτίμηση της αγροτικής ζημιάς



Κώδικας Python για την εκτίμηση της αστικής ζημιάς





Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Υγειονομική και Περιβαλλοντική Μηχανική»

Διδακτορική Διατριβή

«Ένα Ολοκληρωμένο Σύστημα Εκτίμησης της Επικινδυνότητας και των Επιπτώσεων Πλημμυρικών Φαινομένων»

Ανθή-Ειρήνη Κ. Βοζινάκη

Διπλωματούχος Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

MSc «Υγειονομική και Περιβαλλοντική Μηχανική», Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείου Κρήτης



Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος II . Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.