



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

Διπλωματική Εργασία

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΑΜΙΣΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ**

ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

ΒΟΛΟΣ 2023

© 2023 Ευάγγελος Αγγελόπουλος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Λάμπρος Βασιλειάδης
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Νικήτας Μυλόπουλος
Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Μάριος Σπηλιωτόπουλος
Μέλος ΕΔΙΠ, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Λάμπρο Βασιλειάδη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, τον Καθηγητή κκ. Νικήτα Μυλόπουλο και το Μέλος ΕΔΙΠ κ. Μάριο Σπηλιωτόπουλο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις. Ευχαριστώ τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξή τους. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου και την αδελφή μου για την προσφορά και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στην μητέρα μου και στον πατέρα μου.

Ευάγγελος Αγγελόπουλος Βόλος 2023

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΠΑΜΙΣΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ

Ευάγγελος Αγγελόπουλος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2023

Επιβλέπων Καθηγητής: Λάμπρος Βασιλειάδης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μοντελοποίηση του ποταμού Πάμισου, Θεσσαλίας με τη χρήση του λογισμικού υδραυλικής προσομοίωσης HEC-RAS, με στόχο αφενός την κατάρτιση χαρτών εκτίμησης πλημμύρας στη λεκάνη απορροής του, και αφετέρου στη διερεύνηση πιθανών παρεμβάσεων για την αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων. Για παροχές σχεδιασμού με περίοδο επαναφοράς τα 100 έτη, διαπιστώθηκε ότι ιδιαίτερα στο πεδινό τμήμα που διατρέχει ο ποταμός, υπάρχει κίνδυνος εκτεταμένης υπερχειλίσης του. Σημαντική παράμετρος της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων ήταν η ακρίβεια των τοπογραφικών δεδομένων, και συγκεκριμένα του διαθέσιμου ψηφιακού μοντέλου εδάφους, για το οποίο διαπιστώθηκε ότι παρουσίαζε σφάλματα τάξης μεγέθους ανάλογης με βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ποταμού. Για την εκτέλεση αξιόπιστων προσομοιώσεων απαιτήθηκε διαδικασία εκτεταμένης «διόρθωσης» του διαθέσιμου ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Στη συνέχεια εξετάστηκε η απόδοση συμβατικών τεχνικών παρεμβάσεων στην αντιμετώπιση δυνητικών πλημμυρικών φαινομένων, όπως ο καθαρισμός της κοίτης του ποταμού και η υπερύψωση των αναχωμάτων, οι οποίες φαίνεται να τα απομειώνουν έως ένα βάθος. Για το λόγο αυτό διερευνήθηκαν συμπληρωματικά αντιπλημμυρικά έργα όπως η μελέτη μερικής εκτροπής του ποταμού μέσω της διαχείρισης υφιστάμενου ρέματος, ταμειυτήρες προσωρινής κατάκλυσης στα πεδινά, και φράγματα ελέγχου ροής στις ορεινές πηγές του ποταμού.

Λέξεις Κλειδιά: Πλημμύρες, υδραυλική προσομοίωση, HEC-RAS, ψηφιακό μοντέλο εδάφους, αντιπλημμυρικά έργα.

FLOOD MODELLING AND ESTIMATION BASED ON HYDROLOGICAL AND HYDRAULIC MODELS: Application in Pamisos river basin

Evangelos Angelopoulos

University of Thessaly, Department of Civil Engineering, 2023

Supervisor: Lampros Vasiliades, Assistant Professor

Abstract

The present thesis examines the need and extent of technical interventions in the basin of Pamisos river due to flooding, based on hydraulic modelling by using HEC-RAS software. Hydraulic simulations considering design discharge, retrieved from flood hydrographs for a return period of 100 years are performed in relation to flood risk assessment and derivation of relevant maps indicating vulnerable areas to flooding especially on the lowland plains crossed by the river. The accuracy of the digital elevation model (DEM) simulating the river basin is a major parameter affecting the reliability of hydraulic predictions. Preliminary evaluation of the available DEM showed that it represented inadequately field conditions and its extensive correction was necessary, thus it was modified accordingly by taking into account various sources of elevation data. The vulnerable to flooding areas are determined and the efficiency of conventional measures such as removing accumulated coarse sediments and vegetation from the river bed and raising levees to higher elevations was investigated. Despite the significant flood risk reduction followed by these measures, results show certain limitations and supplementary technical works are required. In this direction, partial river discharge through the management of an adjacent stream combined with anti-flood projects including temporary inundation reservoirs in the lowlands, and flow control dams in the mountain sources of the river.

Keywords: Floods, *hydraulic simulation, HEC-RAS, digital elevation model, anti-flood works/measures.*

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	vii
Κατάλογος Σχημάτων	11
Κατάλογος Πινάκων	17
Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή.....	19
1.1 Αντικείμενο εργασίας	19
1.2 Διάρθρωση εργασίας.....	19
1.3 Γενικά.....	20
1.3.1 Ο υδρολογικός κύκλος.....	20
1.3.2 Η Υδρολογία σαν επιστήμη	21
1.3.3 Η πλημμύρα σαν ιστορικό και φυσικό φαινόμενο.....	22
1.3.4 Αιτίες των πλημμυρών στην Ελλάδα.....	22
1.3.5 Τρόποι αντιμετώπισης πλημμυρών.....	23
1.3.6 Η οδηγία 2007/60/EK	24
Κεφάλαιο 2 Περιγραφή περιοχής μελέτης - Πάμισος ποταμός.....	27
2.1 Γενικά στοιχεία	27
2.2 Ευρύτερη περιοχή μελέτης	28
2.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία	28
2.2.2 Το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας.....	29
2.2.3 Τα Υδρογεωλογικά Χαρακτηριστικά του Υδατικού Διαμερίσματος	30
2.2.4 Γεωμορφολογικά - Γεωλογικά στοιχεία του υδατικού διαμερίσματος.....	34
2.2.5 Κλίμα Υδατικού Διαμερίσματος.....	37
2.3 Περιοχής μελέτης - Πάμισος ποταμός	45
2.3.1 Λεκάνη Απορροής Πάμισου	45
2.3.2 Γεωλογία	48
2.3.3 Γεωμορφολογία.....	55
2.3.4 Υδροχημεία - Φυσικοχημικές παράμετροι	59

2.3.5 Στοιχεία ιστορικής πλημμύρας	64
2.4 Συμπεράσματα	69
Κεφάλαιο 3 Προσομοίωση λεκάνης Πάμισου ποταμού στο λογισμικό Hec-Ras	71
3.1 Το λογισμικό HEC-RAS	71
3.2 Πρωτογενή Δεδομένα	72
3.2.1 Τοπογραφικά στοιχεία	72
3.2.2 Στοιχεία γεφυρών	73
3.2.3 Υδρολογικά δεδομένα	78
3.3 Προκαταρκτική Υδραυλική προσομοίωση με Hec – Ras	82
3.3.1 Δημιουργία αρχείου μοντέλου στο Hec-Ras	82
3.3.2 Εισαγωγή Δεδομένων στο RAS Mapper	84
3.3.3 Δημιουργία κεντρικής γραμμής ποταμού (River Centerline)	87
3.3.4 Δημιουργία γραμμών όχθων (Bank lines) ποταμού και παρόχθιας ζώνης (Flow Paths)	91
3.3.5 Χάραξη διατομών (Cross Sections)	92
3.3.6 Συντελεστής manning n	99
3.3.7 Στοιχεία παροχής	101
3.3.8 Αποτέλεσμα προκαταρκτικής υδραυλικής προσομοίωσης	102
3.3.9 Συμπεράσματα προκαταρκτικής υδραυλικής προσομοίωσης	103
3.4 Μεθοδολογία διόρθωσης ΨΜΕ	104
3.5 Υδραυλική προσομοίωση - συνθήκες μόνιμης ροής	115
3.5.1 Αποτελέσματα Χωρίς γέφυρες	115
3.5.2 Αποτελέσματα Με γέφυρες	118
3.6 Υδραυλική προσομοίωση - συνθήκες μη μόνιμης ροής	121
3.7 Συμπεράσματα	123
Κεφάλαιο 4 Προτεινόμενα έργα	125
4.1 Καθαρισμός κοίτης	126
4.2 Αναχώματα	127
4.3 Καθαρισμός κοίτης και διεύρυνση διατομής	129

4.4 Πρόσθετες παρεμβάσεις.....	132
Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα	137
5.1 Σύνοψη.....	137
5.2 Γενικά συμπεράσματα	138
5.3 Ειδικά συμπεράσματα.....	139
5.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	141
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	143
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	147
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	155

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1 Ο υδρολογικός κύκλος σχηματικά (www.usgs.gov).	21
Σχήμα 1.2 Ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας στη Θεσσαλία.....	25
Σχήμα 2.1 Το υδρογραφικό δίκτυο της Θεσσαλίας (Ψωμάς 2012).	28
Σχήμα 2.2 Ο τοπογραφικός Χάρτης του Νομού της Θεσσαλίας (Μαμάσης, Κουτσογιάννης 1996).	29
Σχήμα 2.3 Υδατικά Διαμερίσματα στην Ελλάδα: (01) Δυτική Πελοπόννησος, (02) Βόρεια Πελοπόννησος, (03) Ανατολική Πελοπόννησος, (04) Δυτική Στερεά Ελλάδα, (05) Ήπειρος, (06) Αττική, (07) Ανατολική Στερεά Ελλάδα, (08) Θεσσαλία, (09) Δυτική Μακεδονία, (10) Κεντρική Μακεδονία, (11) Ανατολική Μακεδονία, (12) Θράκη, (13) Κρήτη, (14) Νήσοι Αιγαίου (http://www.geo.auth.gr/763/ch9.htm).	30
Σχήμα 2.4 Κύρια έργα εκτροπής υδάτων, ταμιευτήρες και υδροηλεκτρικά έργα του Υδατικού Διαμερίσματος της Θεσσαλίας (ΥΠΕΚΑ 2011).	31
Σχήμα 2.5 Η χωρική κατανομή γεωτεκτονικών ενοτήτων (Ψωμάς 2012).	35
Σχήμα 2.6 Ύψη βροχής στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας (Πηγή: (1 ^η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του ΥΔ Θεσσαλίας (ΕΛ 08) 2017)).	38
Σχήμα 2.7 Χάρτης Κλιματικών Ζωνών (Κοσκινιώτη, 2014).	39
Σχήμα 2.8 Βροχομετρικοί σταθμοί: Δρακότρυπα, Μουζάκι, Αργιθέα στην λεκάνη απορροής του Πάμισου (Κάψαλης, 2009).	42
Σχήμα 2.9 Ομβροθερμικό Διάγραμμα Β/Σ Μουζακίου (Κάψαλης, 2009).	44
Σχήμα 2.10 Ομβροθερμικό Διάγραμμα Β/Σ Δρακότρυπας (Κάψαλης, 2009).	44
Σχήμα 2.11 Ομβροθερμικό Διάγραμμα Β/Σ Αργιθέας (Κάψαλης, 2009).	45
Σχήμα 2.12 Απεικόνιση του ποτάμιου συστήματος στο οποίο εντάσσεται ο Πάμισος ποταμός.	46
Σχήμα 2.13 Η λεκάνη απορροής του ποταμού Πάμισου (Καραπάνος, 2007).	47
Σχήμα 2.14 Το γενικευμένο σκαρίφημα δυτικά της Θεσσαλίας. 1. Σχηματισμοί Ανατολικής Ελλάδας, 2. Η ενότητα της δυτικής Θεσσαλίας, 3. Πίνδος, 4. Οφιόλιθοι της βόρειας Πίνδου, 5. Μολασσικοί σχηματισμός της Μεσοελληνικής αύλακας, 6. Τεταρτογενής ζώνη (Κωνσταντινίδης, 1986).	50
Σχήμα 2.15 Ο Γεωτεκτονικός χάρτης του ελλαδικού χώρου (Λέκκας, Νασοπούλου, Παναγόπουλος).	51
Σχήμα 2.16 Στρωματογραφική στήλη Πίνδου.	53
Σχήμα 2.17 Ο γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του ποταμού Πάμισου.	55
Σχήμα 2.18 Γεωμορφολογικός χάρτης λεκάνης Πάμισου (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, ΓΥΣ).	56
Σχήμα 2.19 Γεωμορφολογικός χάρτης Λεκάνης Πάμισου.	57
Σχήμα 2.20 Χάρτης τοπογραφικών κλίσεων.....	58

Σχήμα 2.21 Θέσεις Δειγματοληψίας επιφανειακού ύδατος κατά μήκος του Πάμισου και των παραποτάμων του.....	59
Σχήμα 2.22 Διάγραμμα Dugon.	63
Σχήμα 2.23 Διάγραμμα Piper.	64
Σχήμα 2.24 Σύγκριση ύψους βροχοπτώσεων των κακοκαιριών «Ιανού» και “Daniel” (mm).	66
Σχήμα 2.25 Διαβρώσεις στην βόρεια όχθη του ποταμού Πάμισου και άποψη γυμναστηρίου που κατέρρευσε, Μουζάκι Καρδίτσας μετά το πέρασμα της κακοκαιρίας “Daniel”.	67
Σχήμα 2.26 Πολεοδομικός ιστός σε σχέση με τα όρια της κοίτης του ποταμού Πάμισου πριν την ανάπτυξη του οικισμού Μουζάκι.	67
Σχήμα 2.27 Άποψη πλημμύρας από την κακοκαιρία «Διομήδης».	68
Σχήμα 3.1 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους από τη βάση δεδομένων της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε., το οποίο καλύπτει την υπό διερεύνηση λεκάνη απορροής.....	72
Σχήμα 3.2 Απόσπασμα αεροφωτογραφίας που συνοδεύει το ΨΜΕ της περιοχής μελέτης.....	73
Σχήμα 3.3 Θέσεις γεφυρών κατά μήκος του Πάμισου ποταμού σε περιβάλλον Google Earth, με την αντίστοιχη κωδικοποίηση όπως έχει υιοθετηθεί από το αρμόδιο υπουργείο (GR08, ΥΠΕΚΑ).	75
Σχήμα 3.4 Γεωμετρικά-Τοπογραφικά στοιχεία της γέφυρας BR-218, στο χωριό Μουζάκι, (εκπόνηση μελέτης, Χρήστος Σαλογιάννος).	76
Σχήμα 3.5 Φωτογραφικές απόψεις της γέφυρας BR-218, στο χωριό Μουζάκι (Χρήστος Σαλογιάννος).	77
Σχήμα 3.6 Υετογράφημα και υδρογράφημα: Λεκάνη απορροής ποταμού Πάμισου, υδρολογικές συνθήκες αρχικής υγρασίας τύπου II (Βασιλειάδης 2023).	80
Σχήμα 3.7 Υετογράφημα και υδρογράφημα: Λεκάνη απορροής ποταμού Πάμισου, υδρολογικές συνθήκες αρχικής υγρασίας τύπου III (Βασιλειάδης Α. 2023).	81
Σχήμα 3.8 Κεντρικό menu λογισμικού Hec – Ras.	82
Σχήμα 3.9 Αποθήκευση αρχείου αναλύσεων σε φάκελο με το όνομα Pamisos.	83
Σχήμα 3.10 Εισαγωγή στο menu γεωμετρικών δεδομένων του Hec -Ras.	83
Σχήμα 3.11. Άνοιγμα φακέλου RAS Mapper.	84
Σχήμα 3.12 RAS Mapper Options Menu και φόρτωση συστήματος συντεταγμένων για Ελλάδα.....	85
Σχήμα 3.13 Εισαγωγή αρχείου tif. ως υπόβαθρο χάρτη για τις αναλύσεις.....	86
Σχήμα 3.14 Διεξαγωγή ανάλυσης από το HEC – RAS για τη δημιουργία υποβάθρου από αρχείο tif.	86
Σχήμα 3.15 Αποτύπωση του αναγλύφου εδάφους και της γραμμής του κεντρικού άξονα του ποταμού Πάμισου στην περιοχή μελέτης.	87
Σχήμα 3.16 Κεντρικός κλάδος ποταμού Πάμισου υπό μεξέταση. Αγνοούνται μικροί παραπόταμοι	

κατά μήκος της διαδρομής μελέτης.	88
Σχήμα 3.17. Επιλογή διαμόρφωσης γεωμετρίας κεντρικής γραμμής ποταμού Πάμισου.	89
Σχήμα 3.18 Γραμμή εργαλείων διαμόρφωσης γεωμετρίας ποταμού.	89
Σχήμα 3.19 Διαδικασία χάραξης κεντρικής γραμμής ποταμού Πάμισου.	90
Σχήμα 3.20 Τελική αποτύπωση χάραξης κεντρικής γραμμής ποταμού Παμίσου.	90
Σχήμα 3.21 Δεδομένα χωρικών συντεταγμένων κατά ΕΓΣΑ του ποταμού Παμίσου κατά την εισαγωγή του manually στο Ras Mapper Geometry.	91
Σχήμα 3.22 Επιλογή επεξεργασίας γεωμετρίας γραμμών όχθων.	92
Σχήμα 3.23 Υπό εξέταση περιοχή μετά την ψηφιοποίηση των διατομών.	93
Σχήμα 3.24 Λεπτομέρεια στην περιοχή μελέτης μετά την δημιουργία των διατομών.	93
Σχήμα 3.25 Κατά μήκος υψόμετρο κοίτης Πάμισου ποταμού σύμφωνα με το διαθέσιμο ψηφιακό μοντέλο εδάφους της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.	94
Σχήμα 3.26 Διατομή ποταμού που διακρίνονται αναβαθμοί εντός της κοίτης με βάση το ΨΜΕ, 100 μ ανάντη γέφυρας (GR 212) περιοχή οικισμού Παλαιοχωρίου.	95
Σχήμα 3.27 Διατομή ποταμού που διακρίνεται αναβαθμός εντός της κοίτης, πλησίον γέφυρας (GR 212) περιοχή οικισμού Παλαιοχωρίου.	95
Σχήμα 3.28 Απόσπασμα της περιοχής όπου διακρίνεται η διατομή (μωβ γραμμή) του Σχήματος 3.27 (σε περιβάλλον Google Hybrid).	96
Σχήμα 3.29 Στοιχεία διατομής γέφυρας BR 212.	97
Σχήμα 3.30 Άποψη της κοίτης του ποταμού ανάντη της γέφυρας BR 212.	97
Σχήμα 3.31 Διατομή ποταμού όπου διακρίνονται αναβαθμοί-εξάρσεις της τοπογραφίας στην παρόχθια περιοχή νοτίως της κοίτης (δεξιά κατά τον άξονα x), πλησίον οικισμού Μαγουλίτσας.	98
Σχήμα 3.32 Απόσπασμα της περιοχής όπου διακρίνεται η διατομή (μωβ γραμμή) του Σχήματος 3.31 (σε περιβάλλον Google Hybrid).	98
Σχήμα 3.33 Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του Πάμισου ποταμού κατά Corine 2018 (Βασιλειάδης και Μυλόπουλος, 2021).	100
Σχήμα 3.34 Εισαγωγή στο menu δεδομένων παροχής του Hec – Ras, για συνθήκες μόνιμης ροής.	101
Σχήμα 3.35 Χάρτης πλημμύρας Πάμισου ποταμού, σε υπόβαθρο περιβάλλοντος Google Hybrid, προκαταρκτική υδραυλική προσομοίωση, για παροχή σχεδιασμού 550 m ³ /s.	102
Σχήμα 3.36 Απόσπασμα χάρτη πλημμύρας, σε υπόβαθρο ΨΜΕ, προκαταρκτική υδραυλική προσομοίωση, πεδινό τμήμα Πάμισου ποταμού, περιοχή Αγναντερό.	103
Σχήμα 3.37 Παράδειγμα απόκλισης των υψομέτρων μεταξύ του διαθέσιμου ΨΜΕ και των αντίστοιχων υψομέτρων από το πρόγραμμα Google Earth.	106
Σχήμα 3.38 Υψόμετρο πυθμένα κοίτης πριν και μετά την διόρθωση του ΨΜΕ, για όλο το μήκος που διατρέχει ο Πάμισος (Πηγή: ίδια επεξεργασία).	108

Σχήμα 3.39 Υψόμετρο πυθμένα κοίτης πριν και μετά την διόρθωση του ΨΜΕ, για το πεδινό τμήμα της λεκάνης απορροής (Πηγή: ιδία επεξεργασία).....	108
Σχήμα 3.40 Εμβαδό διατομής κοίτης μετά την διόρθωση του ΨΜΕ (Πηγή: ιδία επεξεργασία).....	109
Σχήμα 3.41 Κατά μήκος κλίση με βάση τα υψόμετρα του πυθμένα κοίτης πριν και μετά την διόρθωση του ΨΜΕ, για όλο το μήκος που διατρέχει ο Πάμισος (Πηγή: ιδία επεξεργασία).	110
Σχήμα 3.42 Εισαγωγή διορθώσεων σε επίπεδο διατομών στο υφιστάμενο DEM.....	111
Σχήμα 3.43 Δημιουργία νέου DEM, με ενσωμάτωση των διορθώσεων σε επίπεδο διατομών στο υφιστάμενο.....	112
Σχήμα 3.44 Υψόμετρα διατομής, πριν και μετά την διαδικασία διόρθωσης κοντά στον οικισμό του Αγναντερού (έντονη μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στη διορθωμένη τοπογραφία).....	113
Σχήμα 3.45 Υψόμετρα διατομής, πριν και μετά την διαδικασία διόρθωσης κοντά στην εκβολή του Πάμισου ποταμού (έντονη μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στη διορθωμένη τοπογραφία).	114
Σχήμα 3.46 Απόσπασμα από το νέο ΨΜΕ (α), στην περιοχή μεταξύ των οικισμών της Μαγούλας και του Αγναντερού σε σχέση με το αρχικό (β).....	114
Σχήμα 3.47 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για μέσες συνθήκες υγρασίας CNII, απουσία γεφυρών.....	116
Σχήμα 3.48 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, απουσία γεφυρών.....	116
Σχήμα 3.49 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη ταχύτητας ροής για συνθήκες μόνιμης ροής, για μέσες συνθήκες υγρασίας CNII, απουσία γεφυρών.	117
Σχήμα 3.50 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη ταχύτητας ροής για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, απουσία γεφυρών.....	117
Σχήμα 3.51 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για μέσες συνθήκες υγρασίας CNII, λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες γέφυρες (περιβάλλον Google hybrid).....	118
Σχήμα 3.52 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες γέφυρες(περιβάλλον Google hybrid).	119
Σχήμα 3.53 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη ταχύτητας ροής για συνθήκες μόνιμης ροής, για μέσες συνθήκες υγρασίας CNII, λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες γέφυρες (περιβάλλον Google hybrid).	119
Σχήμα 3.54 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη ταχύτητας ροής για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες γέφυρες (Περιβάλλον DEM).	120
Σχήμα 3.55 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη της αιχμής πλημμυρικής κατάκλυσης για δυσμενείς	

συνθήκες υγρασίας CNIII, λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες γέφυρες, και για συνθήκες μη μόνιμης ροής. 122

Σχήμα 4.1 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, με θεωρητικό καθαρισμό της κοίτης, μεταξύ των οικισμών Γελάνθης και Αγναντερού. 127

Σχήμα 4.2 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, με θεωρητική υπερύψωση των αναχωμάτων κατά 1 m, μεταξύ των οικισμών Γελάνθης και Αγναντερού. 129

Σχήμα 4.3 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, με θεωρητική υπερύψωση των αναχωμάτων κατά 1 m και ταυτόχρονο καθαρισμό της κοίτης, μεταξύ των οικισμών Γελάνθης και Αγναντερού. 130

Σχήμα 4.4 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη της πλημμυρικής κατάκλυσης για την μέγιστη παροχή που καταγράφηκε στην εκβολή του Πάμισου ποταμού στον Πηνειό κατά την εξέλιξη του μεσογειακού κυκλώνα «Ιανός», για συνθήκες μόνιμης ροής με την υπόθεση εκτεταμένου καθαρισμού της κοίτης και ενίσχυσης των αναχωμάτων. 132

Σχήμα 4.5 Υδατόρεμα που εκρέει από τον Πάμισο ποταμό νοτιότερα προς το Μέγα Ρέμα, σημειωμένο με την κίτρινη γραμμή (υπόβαθρο χάρτη από Google earth). 133

Σχήμα 4.6 Πιθανή ζώνη προσωρινής παραμονής πλημμυρικού όγκου νερού, σημειωμένη με διαγράμμιση, και σταδιακής παροχέτευσης του από το παρακείμενο ρέμα, σημειωμένο με κίτρινη γραμμή (υπόβαθρο χάρτη από Google Earth). 134

Σχήμα 4.7 Ενδεικτικές προς εξέταση θέσεις κατασκευής φραγμάτων ελέγχου ροής στις πηγές του Πάμισου ποταμού, σημειωμένες με πορτοκαλί (υπόβαθρο χάρτη από Google Earth). 135

Σχήμα A.1 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 23/9, ώρα 20:00. 147

Σχήμα A.2 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 23/9, ώρα 22:00. 148

Σχήμα A.3 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 00:00. 148

Σχήμα A.4 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 02:00. 149

Σχήμα A.5 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 04:00. 149

Σχήμα A.6 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης

ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 06:00.	150
Σχήμα A.7 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 08:00.	150
Σχήμα A.8 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 10:00.	151
Σχήμα A.9 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 12:00.	151
Σχήμα A.10 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 14:00.	152
Σχήμα A.11 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 16:00.	152
Σχήμα A.12 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 18:00.	153
Σχήμα A.13 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 20:00.	153
 Σχήμα B.1 Θέση χαρακτηριστικών διατομών (A-A, στα ορεινά, B-B, στα ημι-ορεινά, Γ-Γ, στα πεδινά).	155
Σχήμα B.2 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για μέσες συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNII, διατομή A-A, υφιστάμενη κατάσταση.	156
Σχήμα B.3 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, διατομή A-A, υφιστάμενη κατάσταση.	156
Σχήμα B.4 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για μέσες συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNII, διατομή B-B, υφιστάμενη κατάσταση.	157
Σχήμα B.5 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, διατομή B-B, υφιστάμενη κατάσταση.	157
Σχήμα B.6 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για μέσες συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNII, διατομή Γ-Γ, υφιστάμενη κατάσταση.	158
Σχήμα B.7 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, διατομή Γ-Γ, υφιστάμενη κατάσταση.	158
Σχήμα B.8 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, διατομή Γ-Γ, μετά από καθαρισμό κοίτης και ανύψωση αναχωμάτων.	159

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Κλιματικές Ζώνες (Κοσκινιώτη, 2014).....	40
Πίνακας 2.2 Βροχομετρικοί σταθμοί (Κάψαλης, 2009).	41
Πίνακας 2.3 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μετεωρολογικού σταθμού Τρικάλων (Κάψαλης 2009)	43
Πίνακας 2.4 Τυπολογία και Χαρακτηρισμό Πάμισου (Κοινοπραξία Διαχείρισης Υδάτων Ηπείρου, Θεσσαλίας & Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, 2011γ).....	46
Πίνακας 2.5 Φυσικοχημικές Παράμετροι.	60
Πίνακας 2.6 Βασικά Κατιόντα.....	61
Πίνακας 2.7 Βασικά ανιόντα.....	62
Πίνακας 3.1 Στοιχεία Γεφυρών περιοχής μελέτης.....	78
Πίνακας 3.2 προτεινόμενες τιμές του συντελεστή τραχύτητας (manning, n) για την κοίτη υδατορέματος κατά Chow (1959).....	99
Πίνακας 3.3 Προτεινόμενες τιμές συντελεστή Manning κατάλληλες για την μοντελοποίηση πλημμύρας με βάση τους χάρτες Corine 2018 (Πηγή: Papaioannou et al., 2018).....	100
Πίνακας 3.4 Εκτίμηση πλημμυρικού όγκου που κατακλύζει τις παρόχθιες περιοχές του Πάμισου ποταμού, για δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII.....	123

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο εργασίας

Η διερεύνηση των ευάλωτων περιοχών σε πλημμύρα από τον ποταμό Πάμισο, Θεσσαλίας σε επίπεδο μονοδιάστατης προσομοίωσης σε λογισμικό υδραυλικής προσομοίωσης με βάση τα χαρακτηριστικά υδρολογικά στοιχεία της αντίστοιχης λεκάνης απορροής, αποτελούν το βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Σε δεύτερο στάδιο είναι η διερεύνηση της επίδρασης πιθανών παρεμβάσεων στον ποταμό στην ανάσχεση και απομείωση πλημμυρικών φαινομένων.

Καταρτίστηκε υδρολογική προσομοίωση βάση στοιχείων που λαμβάνουν υπόψη τις συνθήκες ροής που χαρακτηρίζουν τον υπό εξέταση ποταμό και της λεκάνης απορροής του, σε σχέση και με τις συνθήκες εδαφικής υγρασίας για καταιγίδα σχεδιασμού με περίοδο επαναφοράς τα 100 έτη, και μέσω αυτής καθορίστηκαν τα πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού.

Πραγματοποιήθηκε σειρά υδραυλικών προσομοιώσεων με το λογισμικό HEC-RAS, τόσο για συνθήκες μόνιμης αλλά και μη μόνιμης ροής, με σκοπό την εύρεση των ευάλωτων περιοχών σε φαινόμενα πλημμυρικής κατάκλυσης, και την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς την αντιμετώπισή τους.

1.2 Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει οργανωθεί σε 5 κεφάλαια.

Το Κεφαλαίο 1 εισάγει το αντικείμενο της παρούσας εργασίας με περιληπτική αναφορά στα θέματα που εξετάζονται.

Το Κεφάλαιο 2 περιλαμβάνει σειρά στοιχείων που απαιτούνται στο να περιγραφεί η περιοχή μελέτης, τόσο η ευρύτερη όσο και η πιο λεπτομερής αυτή του εξεταζόμενου υδατορέματος, όπως η γεωμορφολογία και τα κλιματικά χαρακτηριστικά.

Το Κεφάλαιο 3 περιέχει σειρά υδραυλικών προσομοιώσεων στο λογισμικό HEC-RAS συμπεριλαμβανομένης της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε, περιγράφεται η διόρθωση του διαθέσιμου ψηφιακού τοπογραφικού υποβάθρου, ενώ παρουσιάζονται οι περιοχές που κινδυνεύουν από πλημμύρα.

Το Κεφάλαιο 4 παρουσιάζει μέτρα παρέμβασης στον Πάμισο ποταμό ιδίως στις ευάλωτες περιοχές σε

πλημμύρα στο πεδινό τμήμα της λεκάνης με συνοδές υδραυλικές προσομοιώσεις.

Στο Κεφάλαιο 5 παρατίθενται τα συμπεράσματα της μελέτης καθώς και προτάσεις για περαιτέρω διερεύνηση.

1.3 Γενικά

Ο αρχαίος Έλληνας Πίνδαρος (522-439 πΧ) περιγράφει την πρωταρχική σημασία του νερού με την φράση: “Άριστον μὲν ὕδωρ” (Ολυμπιονίκαις 1.1-1.29). Η ομαλή λειτουργία των δομών χλωρίδας και πανίδας, προϋποθέτει την επάρκεια νερού κατάλληλης ποιότητας.

1.3.1 Ο υδρολογικός κύκλος

Η κίνηση του νερού μεταξύ των ωκεανών, της ατμόσφαιρας και της ξηράς σε υγρή, αέρια και στερεή φάση ορίζεται σαν **υδρολογικός κύκλος**. Με άλλα λόγια, ο ‘κύκλος του νερού’ είναι η ανακύκλωση του στη γη (Inglezakis and Menegaki, 2016).

Η κυκλοφορία και κατανομή του νερού με τη μορφή κατακρημνισμάτων στην ατμόσφαιρα και στη γη, εκφράζεται ποσοτικά ως άθροισμα της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, της επιφανειακής απορροής και της κατείσδυσης. Τα μεγέθη αυτά εκφράζονται σε ύψος (mm) ή σε όγκο νερού (m³) ή σε ποσοστό επί τοις εκατό (%).

Στην ατμόσφαιρα οι υδρατμοί συμπυκνώνονται και καταλήγουν στην επιφάνεια της γης ως βροχή, χιόνι ή χαλάζι, τα οποία και ανάγονται σε ισοδύναμο ύψος βροχής. Η έναρξη της υγρής περιόδου μιας περιοχής κατά τον μήνα Οκτώβριο σηματοδοτεί την έναρξη της μέτρησης των ετήσιων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων που δέχεται η περιοχή, ενώ ολοκληρώνεται με το τέλος της ξηρής περιόδου, το Σεπτέμβριο του επόμενου έτους. Η περίοδος αυτή αποτελεί το υδρολογικό έτος. Ειδικότερα για τη χιονόπτωση, ελλείπει στοιχείων πυκνότητας του, γίνεται η παραδοχή ότι 10 mm ύψος χιονιού αντιστοιχούν σε 1 mm ύψους βροχής.

Η διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής αντιστοιχεί στο νερό που επανέρχεται στην ατμόσφαιρα μέσω του συνδυασμού της εξάτμισης και της διαπνοής. Κατά την εξάτμιση που προϋποθέτει ηλιακή ενέργεια, το νερό στην επιφάνεια της γης μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα με τη μορφή υδρατμών. Η διαπνοή που επίσης οδηγεί σε μετάβαση του νερού από την υγρή στην αέρια μορφή πραγματοποιείται από τους φυτικούς οργανισμούς. Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής όπως οι συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας ανέμου, βαρομετρικής πίεσης, ηλιακής ακτινοβολίας, τα είδη χλωρίδας και το πορώδες.

Η μέγιστη ποσότητα νερού που δύναται να εξατμιστεί ή να διαπνευθεί με την υπόθεση της

ταυτόχρονης πλήρους αναπλήρωσής των απωλειών του, εκφράζεται από τον κλιματικό δείκτη της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Για παράδειγμα, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή που καταγράφεται στην Ελλάδα κυμαίνεται μεταξύ 55-85% του ετήσιου ύψους βροχής.

Στο Σχήμα 1.1 παρουσιάζεται απλοποιημένα η γραφική απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου.



Σχήμα 1.1 Ο υδρολογικός κύκλος σχηματικά (www.usgs.gov).

Τα κατακρημνίσματα που πέφτουν στη γη και δεν κατακρατούνται από το έδαφος, απορρέουν μέσω χειμάρρων με τη βαρύτητα στη θάλασσα και τις λίμνες. Η ολική απορροή πραγματοποιείται επιφανειακά αλλά και υπόγεια μέσω της διήθησης. Η απορροή στην επιφάνεια εξαρτάται κυρίως από το κλίμα, τη γεωμορφολογία, τη γεωλογία και την βλάστηση μιας περιοχής, με την κατείσδυση να συμβάλλει στην ανανέωση του υπόγειου υδροφορέα. Η κατείσδυση προσεγγίζεται μέσω του συντελεστή κατείσδυσης, (ποσοστό νερού που κατεισδύει σε σχέση με την ολική βροχοπτώση), και ανάλογα με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά μπορεί να είναι από 3%(π.χ. φλύσχης) έως 60 % (π.χ. ασβεστόλιθοι).

1.3.2 Η Υδρολογία σαν επιστήμη

Υδρολογία είναι ο επιστημονικός κλάδος που έχει αντικείμενο τη φυσικοχημική μελέτη των υδάτινων αποθεμάτων της Γης, ασχολείται με το πως αυτά κατανέμονται και το πως αυτά αλληλεπιδρούν με τους υπόλοιπους ζωντανούς οργανισμούς . Ολόκληρη η περιγραφή της ιστορίας του νερού στον πλανήτη μας μελετάται μέσα στα πλαίσια της (W. Langbein, 1962).

Η υδρολογία σε όρους τεχνικής υδρολογίας στα χερσαία τμήματα του υδρολογικού κύκλου διατυπώνεται και ως η μελέτη της κίνησης του νερού και των συνεπειών της από την στιγμή που φτάνει

στο έδαφος και τη χλωρίδα υπό μορφή ατμοσφαιρικού κατακρημνίσματος μέχρι να καταλήξει με επιφανειακή ή υπόγεια απορροή στους μεγάλους φυσικούς ή τεχνητούς αποδέκτες (Ξανθόπουλος 1984).

1.3.3 Η πλημμύρα σαν ιστορικό και φυσικό φαινόμενο

Οι κατακλυσμοί και οι πλημμύρες προσεγγίζονται ως φυσικοί κίνδυνοι που απειλούν τις ανθρώπινες δραστηριότητες από τα αρχαία χρόνια μέχρι σήμερα. Γνωστοί από τις ξένες μυθολογίες για τις καταστροφές που προκάλεσαν είναι ενδεικτικά οι κατακλυσμοί του Νώε, του Σιουσούρντα και του Ουτναπιστίμ στη Μεσοποταμία, ή ο κατακλυσμός του Βιρακότσα στη Νότια Αμερική. Σε πληθώρα αρχαίων ελληνικών κειμένων, περιγράφεται το πως ολόκληρος ο κόσμος καλύφθηκε εξαιτίας τη Ωγύγας πλημμύρα ενώ ήταν τόσο καταστροφική που άφησε την Αττική χωρίς βασιλιά μέχρι την εποχή του Κέκροπα. Τούτο συνέβη επειδή ο Κηφισός ποταμός υπερχείλισε πνίγοντας ολόκληρη την Αττική και την Βοιωτία (Παυσ. Βοιωτικά Ε' 1 και Η', Σχόλ. Απόλλων. Γ' 1177).

Σήμερα, χώρες ιδίως στην νοτιοανατολική Ασία, ταλανίζονται ακόμα από αρκετά έντονα και συχνά πλημμυρικά φαινόμενα (WWAP, 2006). Ιδιαίτερα σε πολυπληθείς περιοχές προκαλούν εκτεταμένες ζημιές. Περιβαλλοντικά, μια πλημμύρα μπορεί να συνοδεύεται από διάβρωση και υποβάθμιση εκτάσεων καλλιεργήσιμης γης, αλλά και να έχει άμεσα και έμμεσα οικονομικά κόστη (π.χ. καταστροφή υποδομών και παραγωγής, κόστη αντιπλημμυρικών μέτρων, αποκατάστασης υποδομών). Το 20-30% της οικονομικής ζημιάς λόγω φυσικών καταστροφών συνδέεται με τις πλημμύρες (Elmer et al. 2010), και μάλιστα χωρίς να λαμβάνονται υπόψη και οι επιπτώσεις σε απώλειες ανθρώπινων ζωών.

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/EK ορίζει ως πλημμύρα την προσωρινή κάλυψη γης από νερό που δε θα συνέβαινε υπό κανονικές συνθήκες.

Ραγδαίες βροχοπτώσεις, ισχυρές καταιγίδες και το λιώσιμο χιονιού, , μπορούν να οδηγήσουν σε πλημμυρικά φαινόμενα, τα οποία μπορεί να παρουσιάζουν βραδεία ή ξαφνική εξέλιξη (συνηθισμένο στον ελλαδικό χώρο να εκδηλώνονται πλημμύρες σε μικρό χρονικό διάστημα λίγων ωρών). Επίσης και μια υποχώρηση φράγματος μπορεί να οδηγήσει σε μια ξαφνική πλημμύρα.

Μια ξαφνική πλημμύρα με αίτιο μια ραγδαία βροχόπτωση μπορεί να προκαλέσει μεγάλες καταστροφές σε υποδομές, εκτεταμένη διάβρωση και να ξεριζώσει δέντρα καθώς και ανθρώπινες απώλειες.

1.3.4 Αιτίες των πλημμυρών στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η γεωμορφολογία (μικρές λεκάνες απορροής με έντονες κλίσεις και μεγάλος αριθμός

ρεμάτων) και το κλίμα οδηγούν σε πλημμυρικά φαινόμενα κατά κύριο λόγο αιφνίδια με ραγδαία εξέλιξη. Πέρα από την ένταση, τη διάρκεια και τη χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων, η εμφάνιση ή μη και η εξέλιξη μιας πλημμύρας εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως:

- ο βαθμός παροχέτευσης της επιφανειακής απορροής από το υδρογραφικό δίκτυο
- τα γεωμορφολογικά και χωρικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης απορροής
- ο βαθμός κορεσμού του επιφανειακού εδάφους
- η πυκνότητα και το είδος της χλωρίδας μιας περιοχής
- οι χρήσεις της γης

Στον ελλαδικό χώρο παρατηρούνται και παράκτιες πλημμύρες λόγω έντονου κυματικού κλίματος της θάλασσας ή μιας μεγάλης λίμνης. Σπανιότερα έχουν εμφανιστεί και πλημμύρες λόγω θαλάσσιων κυμάτων από σεισμική δραστηριότητα (Tsunami).

1.3.5 Τρόποι αντιμετώπισης πλημμυρών

Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι οι πλημμύρες μπορούν να προκαλέσουν ανυπολόγιστες καταστροφές στο αστικό περιβάλλον. Ωστόσο, είναι ευρέως αποδεκτό ότι οι συνέπειες μιας πλημμύρας μπορούν να απομειωθούν με κατάλληλα μέτρα προστασίας, όταν αυτές δεν μπορούν να αποφευχθούν. (Κουτσογιάννης, 2009), και οι σχετικές διαχειριστικές μελέτες διεξάγονται σε επίπεδο λεκάνης απορροής (Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, 2018).

Τεχνικά έργα όπως η κατασκευή φραγμάτων, αναχωμάτων, καναλιών κ.α. συμπεριλαμβάνονται στα συνήθη μέτρα αντιπλημμυρικής προστασίας σε συνδυασμό με μη κατασκευαστικά μέτρα, τις λεγόμενες πράσινες υποδομές (Nature Based Solutions-NBS) όπως οι φυσικές περιοχές πλημμύρας, οι υγρότοποι ή η επαναφορά του μαιανδρισμού των ποταμών (Μαμάσης, 2011; Παπαζώη 2010, Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο, 2018).

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή «οι NBS αποτελούν λύσεις οι οποίες εμπνέονται και υποστηρίζονται από την φύση, είναι οικονομικά αποδοτικές και ταυτόχρονα παρέχουν περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά οφέλη ενώ ενισχύουν την ανθεκτικότητα» (European Commission, 2015).

Με σκοπό να μειωθεί ο κίνδυνος από τις πλημμύρες με φυσικό τρόπο, οι πράσινοι χώροι ενισχύονται και συνδέονται μεταξύ τους με δίκτυα, οι αστικές λεκάνες απορροής αποκαθίστανται ενώ δημιουργούνται βιώσιμα συστήματα απορροής (Asian Development Bank, 2016).

Οι μηχανισμοί πρόγνωσης του πλημμυρικού κινδύνου, η σχετική ενημέρωση των πολιτών και η συντήρηση/αποκατάσταση υποδομών αποτελούν ενδεικτικά μέτρα πρόληψης χωρίς την απαίτηση κάποιας πρόσθετης κατασκευής.

1.3.6 Η οδηγία 2007/60/EK

Στις 23 Οκτωβρίου του 2007, η Ευρωπαϊκή Ένωση συναίνεσε στη δημιουργία ενός πλαισίου αξιολόγησης και διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα και τους μελλοντικούς κινδύνους, εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής.

Το πλαίσιο αυτό στοχεύει στον περιορισμό των επιβλαβών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά καθώς και την οικονομική ανάπτυξη και εφαρμόζεται σε τρία στάδια:

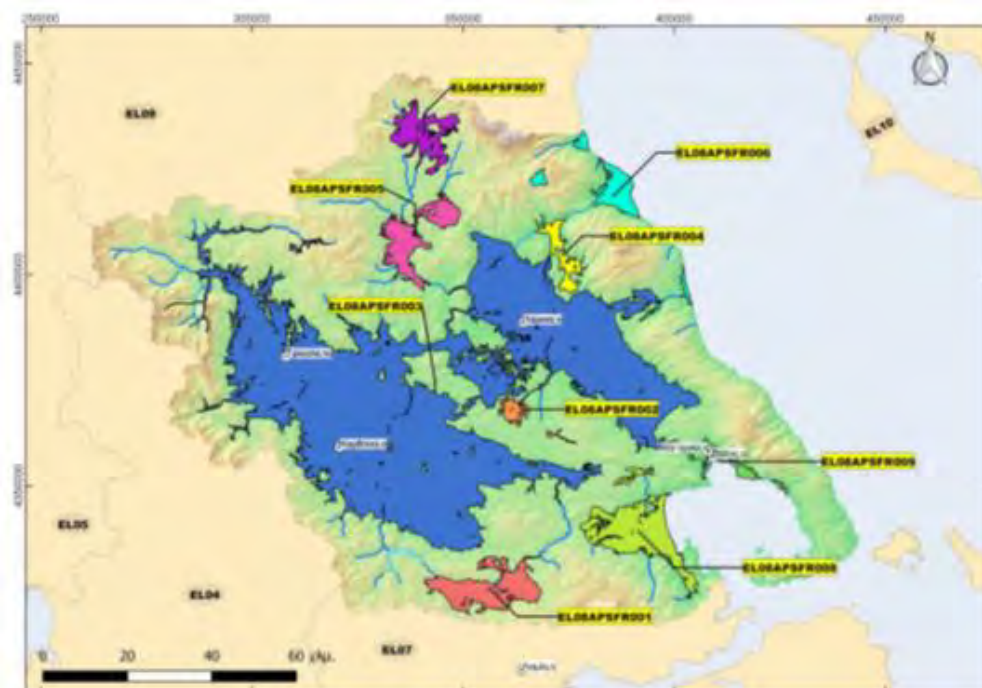
1^ο στάδιο, (Κεφάλαιο II, Οδηγία 2007/60/EK), αφορά προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων λόγω πλημμύρας στις λεκάνες απορροής υδατορεμάτων και ολοκληρώθηκε το 2011 και συνοδεύεται από χάρτες με εμφανή όρια, κατάλληλης κλίμακας, με την παρουσίαση τοπογραφικών χαρακτηριστικών των λεκανών και τις χρήσεις γης τους. Τέλος, επισημαίνονται οι περιοχές που είναι ευάλωτες να πλημμυρίσουν σε μελλοντικό χρόνο.

2^ο στάδιο, (Κεφάλαιο III, Οδηγία 2007/60/EK), αφορά τους χάρτες πλημμυρικού κινδύνου και τους χάρτες επικινδυνότητας σε κατάλληλη κλίμακα, όπου οι λεκάνες εξετάζονται για χαμηλή, μέση και υψηλή πιθανότητα πλημμύρας και προσεγγίζονται η έκταση κατάκλυσης της πλημμύρας και η στάθμη του νερού. Στους χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας παρουσιάζονται οι αντίστοιχες συνέπειες, με ιδιαίτερη έμφαση στην οικιστική ανάπτυξη και την οικονομία, καθώς και σε περιβαλλοντικά θέματα που εμφανίζονται και ολοκληρώθηκαν το 2013.

3^ο στάδιο, (Κεφάλαιο IV, Οδηγία 2007/60/EK), οι ευρωπαϊκές χώρες δεσμεύτηκαν στην ολοκλήρωση δημιουργίας σχεδίων διαχείρισης πλημμυρικής διακινδύνευσης μέχρι το 2015. Αυτά τα σχέδια αφορούν μέτρα που ελαχιστοποιούν την πιθανότητα πλημμύρας κατά το μέγιστο δυνατό καθώς και των επιπτώσεών της. Η συμμόρφωση των κρατών μελών και η μέριμνα σχετικά με την πρόληψη, την προστασία και την ετοιμότητα σε περίπτωση πλημμυρικού φαινομένου αποτελούν απαραίτητες προϋποθέσεις για την αποφυγή επιβλαβών επιπτώσεων.

- Πρόληψη: οι πολεοδομικές μελέτες πρέπει να συμπεριλαμβάνουν την πλημμυρική διακινδύνευση.
- Προστασία: περιοχές με μεγάλη πιθανότητα πλημμύρας ή που ήδη έχουν πληγεί από αυτές απαιτούν έργα προστασίας/αποκατάστασης.
- Ετοιμότητα: ενημέρωση των κοινωνιών για τις απαραίτητες ενέργειες σε περίπτωση εκδήλωσης πλημμυρικού επεισοδίου.

Τα στάδια της Οδηγίας επαναλαμβάνονται ανά εξαετία, με βάση το πλαίσιο 2000/60/EK με αφετηρία το 2009.



Σχήμα 1.2 Ζώνες δυνητικά υψηλού κινδύνου πλημμύρας στη Θεσσαλία.

Κεφάλαιο 2 Περιγραφή περιοχής μελέτης - Πάμισος ποταμός

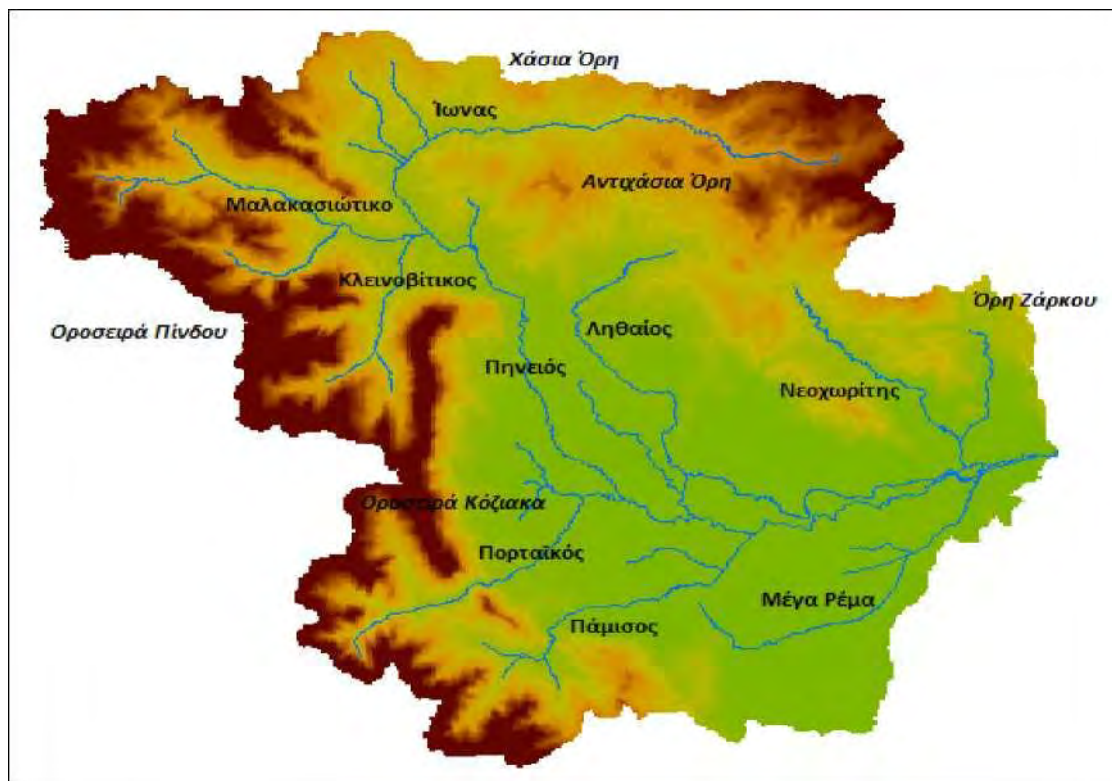
2.1 Γενικά στοιχεία

Από τον νομό Καρδίτσας, και πιο συγκεκριμένα από την οροσειρά της Πίνδου, αναβλύζει ο χειμάρρος του Πάμισου (Μπλιούρης ή Παλιούρης), ο οποίος ρέει βορειοανατολικά. Συνεχίζει στρέφοντας ανατολικά, διασχίζει τις δυτικές πεδιάδες της Θεσσαλίας και ρέει παράλληλα με τον Πηνειό ποταμό. Αφού ισχυροποιηθεί από ένα μικρότερο ρέμα, στη συνέχεια εκβάλλεται στον Πηνειό (μπροστά από το στενό της Ζαρκοτάνου), νότια της Φαρκαδώνας του νομού Τρικάλων. Το μήκος του ρέματος είναι 60 km.

Το ανθρωπογενές περιβάλλον της περιοχής του Πάμισου αποτελείται από γεωργικές εκτάσεις και οικιστικές εκτάσεις ενώ το φυσικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από πεδινές παραποτάμιες δασικές εκτάσεις. Η χλωρίδα αυτής της περιοχής περιλαμβάνει τον πλάτανο, τη λεύκα, την ιτιά, την ακακία και άλλα φυτά ενώ η πανίδα χαρακτηρίζεται σχετικά πλούσια. Στον τομέα της προστασίας, έχουν αναπτυχθεί διάφορα προγράμματα, τα οποία δίνουν ιδιαίτερη έμφαση σε συγκεκριμένα δασικά οικοσυστήματα καθώς και στην προστασία των υδάτων του χειμάρρου. Η χρήση γης στις μεγαλύτερες εκτάσεις του Πάμισου περιλαμβάνει χωράφια, δάση, λιβάδια, πεδιάδες και καλλιέργειες.

Με σκοπό να εξυπηρετούνται οι ανάγκες άρδευσης των καλλιεργειών, χρησιμοποιούνται οι διακλαδώσεις του Πάμισου με τον Πορταϊκό ποταμό στο Θεσσαλικό κάμπο ενώ ενισχύεται ο υδάτινος όγκος του Πηνειού ποταμού. Με εξαίρεση τα έργα Πλαστήρα και Σμοκόβου, η έλλειψη έργων αποθήκευσης επιφανειακών υδάτων οδηγεί σε απότομη πτώση της στάθμης των υδάτων του υδροφόρου ορίζοντα, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες.

Στο παρακάτω Σχήμα 2.1 εικονίζεται το υδρογραφικό δίκτυο της Θεσσαλίας.



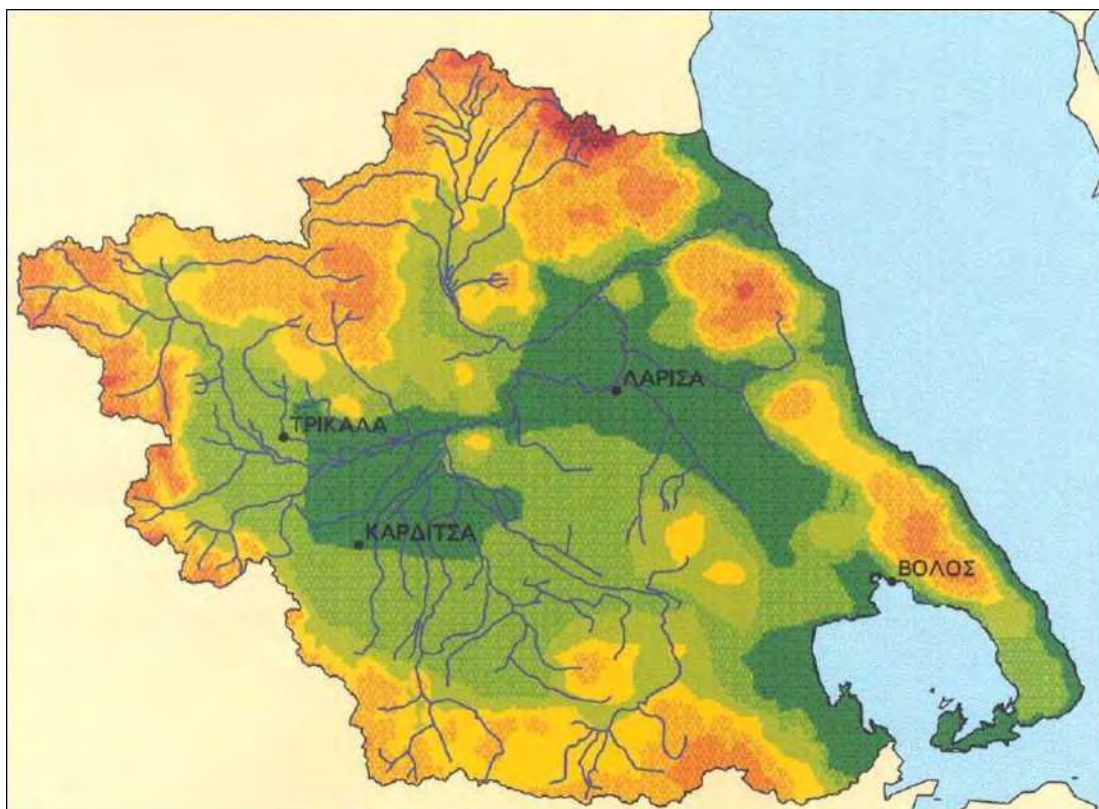
Σχήμα 2.1 Το υδρογραφικό δίκτυο της Θεσσαλίας (Ψωμάς 2012).

2.2 Ευρύτερη περιοχή μελέτης

2.2.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Στο Υδάτινο Διαμέρισμα της Θεσσαλίας βρίσκεται η λεκάνη απορροής του ποταμού Πάμισου. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περιοχή καθώς αποτελεί τη μεγαλύτερη πεδινή έκταση της Ελλάδας, η οποία συναθροίζει όλα τα είδη των υδάτινων καταναλώσεων όπως τη βιομηχανική χρήση, την ύδρευση και την άρδευση. Η πλειοψηφία του πληθυσμού ασχολείται στην συγκεκριμένη περιοχή με τον πρωτογενή τομέα, ιδίως με την γεωργία και δευτερευόντως με την κτηνοτροφία. Αυτός είναι και ο λόγος που η εκμετάλλευση των υδάτινων πόρων παίζει σημαντικό ρόλο στις αρδευτικές ανάγκες της περιοχής, και είναι κρίσιμη για οικονομικούς και κοινωνικοπολιτικούς λόγους. Συνεπώς, η αξιολόγηση των υδάτινων πόρων του Θεσσαλικού κάμπου αποτελεί ένα σημαντικό και εξαιρετικού ενδιαφέροντος αντικείμενο.

Η Θεσσαλία, τοποθετείται γεωγραφικά στα κεντρικά της Ελλάδας και έχει πλούσια φυσιογραφία (Σχήμα 2.2). Στα όρια της περιλαμβάνονται οι νομοί της Λάρισας, της Μαγνησίας, των Τρικάλων και της Καρδίτσας. Βόρεια ορίζεται από τον Όλυμπο, τα Καμβούνια και τα Πιέρια όρη, στα δυτικά ορίζεται από την οροσειρά της Πίνδου, στα νότια της από την νότια Πίνδο και το όρος Όθρης και στα ανατολικά της από το Αιγαίο Πέλαγος.



Σχήμα 2.2 Ο τοπογραφικός Χάρτης του Νομού της Θεσσαλίας (Μαμάσης, Κουτσογιάννης 1996).

2.2.2 Το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας

Το γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας ταυτίζεται με το Υδάτινο σε πολύ μεγάλο ποσοστό, ένα από τα 14 Υδάτινα Διαμερίσματα της Ελλάδας (υδάτινο διαμέρισμα GR08). Το μεγαλύτερο μέρος του εκτείνεται εντός της Περιφέρειας της Θεσσαλίας, ενώ περιλαμβάνει μικρό τμήμα της Περιφέρειας της Στερεάς Ελλάδας, και ένα ελάχιστο τμήμα της Περιφέρειας της Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας. Έχει επιφάνεια 13.136 km² με μέσο υψόμετρο τα 427,5 m. Όσον αφορά τη διοίκηση, αυτή ανήκει στην περιοχή ευθύνης της Διεύθυνσης Υδάτων της αποκεντρωμένης διοίκησης της Θεσσαλίας – Στερεάς Ελλάδας.



Σχήμα 2.3 Υδατικά Διαμερίσματα στην Ελλάδα: (01) Δυτική Πελοπόννησος, (02) Βόρεια Πελοπόννησος, (03) Ανατολική Πελοπόννησος, (04) Δυτική Στερεά Ελλάδα, (05) Ήπειρος, (06) Αττική, (07) Ανατολική Στερεά Ελλάδα, (08) Θεσσαλία, (09) Δυτική Μακεδονία, (10) Κεντρική Μακεδονία, (11) Ανατολική Μακεδονία, (12) Θράκη, (13) Κρήτη, (14) Νήσοι Αιγαίου (<http://www.geo.auth.gr/763/ch9.htm>).

2.2.3 Τα Υδρογεωλογικά Χαρακτηριστικά του Υδατικού Διαμερίσματος

Οι Επιφανειακοί Υδατικοί πόροι

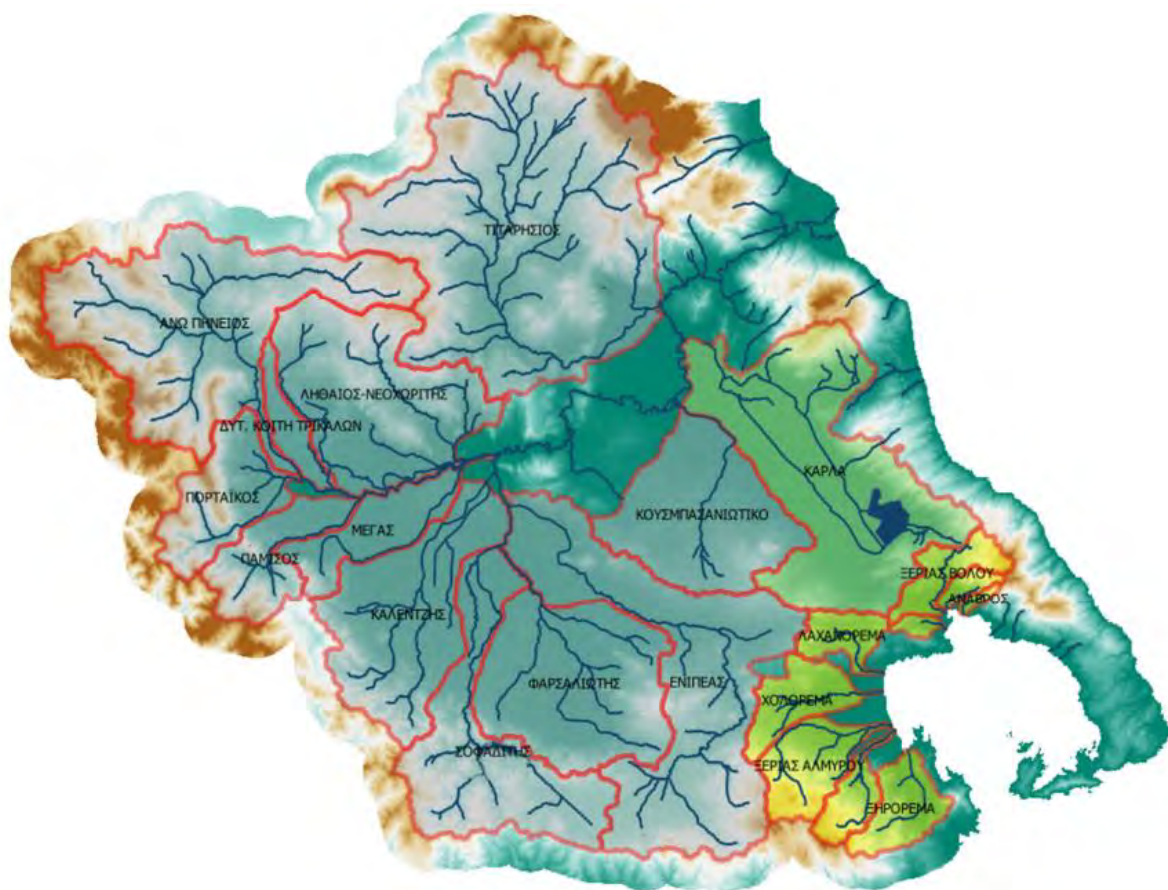
Τα ρέματα του Πηλίου έκτασης 2.079 Km² και του Πηνειού έκτασης 11.062 Km² αποτελούν τις δυο κυριότερες υδρολογικές λεκάνες του Υδατικού Θεσσαλικού διαμερίσματος.

Τα υδάτινα σώματα (ΥΣ) έχουν περιγραφεί ως: (α) 72 ποτάμια υδάτινα σώματα με μέσο μήκος 19,3 km (το συνολικό μήκος του υδρογραφικού δικτύου φτάνει περίπου τα 1.378 Km), 8 παράκτια υδάτινα σώματα έκτασης 938,9 km² και 3 λιμναία υδάτινα σώματα μέσης επιφάνειας 15,1 km² (ταμιευτήρας Αργυροπουλίου, ταμιευτήρας Σμοκόβου και λίμνη Κάρλα) σύμφωνα με τις αρχές της

Οδηγίας 2000 / 60 / ΕΚ (Οδηγία- Πλαίσιο).

Οι κάτοικοι του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας προμηθεύονται πόσιμο νερό και νερό προς άρδευση των καλλιεργειών, από τον Πηνειό ποταμό και τις διακλαδώσεις του. Οι σημαντικότεροι παραπόταμοι του είναι: ο Ενιπέας, ο Φαρσαλιώτης, ο Σοφαδίτης και ο Καλέτζης στα νότια, στα βόρεια ο Νεοχωρίτης, ο Ληθαίος και ο Τιταρήσιος, στα δυτικά και νοτιοδυτικά ο Πορταϊκός, ο Πάμισος (ή Πλιούρης), και το Μουργάνι.

Οι ταμιευτήρες Σμοκόβου και Πλαστήρα έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί με σκοπό την επιφανειακή ταμίευση του νερού και στη συνέχεια την άρδευση της πεδιάδας. Από το φράγμα του Πλαστήρα, εκτρέπονται τα νερά του Ταυρωπού του παραπόταμου Αχελώου από το Υδατικό Διαμέρισμα της Δυτικής Στερεάς Ελλάδας με κατεύθυνση το Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για ύδρευση, άρδευση και παραγωγή ενέργειας (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4 Κύρια έργα εκτροπής υδάτων, ταμιευτήρες και υδροηλεκτρικά έργα του Υδατικού Διαμερίσματος της Θεσσαλίας (ΥΠΕΚΑ 2011).

Οι υπολεκάνες που απομένουν και στις οποίες έχουν προγραμματιστεί ή μελετηθεί σημαντικά έργα εκμετάλλευσης των υδάτινων πόρων είναι οι παρακάτω:

Στη βόρεια περιοχή της λεκάνης του Πηνειού:

- i. Υπολεκάνη του Τιταρήσιου, ανάντη της θέσης φράγματος Καλούδας, με έκταση 466,5 km²,
- ii. Υπολεκάνη του Ληθαίου, ανάντη της θέσης φράγματος Θεόπετρας, με έκταση 127,8 km²,

iii. Υπολεκάνη του Νεοχωρίτη, ανάντη της θέσης φράγματος Νεοχωρίου, με έκταση 170,7 km² και

iv. Υπολεκάνη του Ελασσονίτικου, ανάντη της θέσης φράγματος Παλαιομονάστηρου, με έκταση 209,8 km².

Στη δυτική περιοχή της λεκάνης του Πηνειού:

i. Υπολεκάνη του Πορταϊκού, ανάντη της θέσης φράγματος Πύλης, με έκταση 133,8 km²

ii. Υπολεκάνη του Πλιούρη (Παμίσου), ανάντη της θέσης φράγματος Μουζακίου, με έκταση 248.06 Km² και

iii. Υπολεκάνη του Πηνειού, ανάντη της θέσης φράγματος Κρύας Βρύσης, με έκταση 952,7 km².

Στην νότια περιοχή της λεκάνης του Πηνειού:

Υπολεκάνη του Ενιπέα, ανάντη της θέσης Φράγματος Παλιοδερλί, με έκταση 427,6 Km²

Οι Υπόγειοι Υδατικοί Πόροι

Εντός του Υδατικού Διαμερίσματος της Θεσσαλίας σχηματίζονται σημαντικοί προσχωματικοί υδροφορείς όπως και μεγάλες καρστικές υδρογεωλογικές ενότητες. Η υδρογεωλογική λεκάνη της ανατολικής και η υδρογεωλογική λεκάνη της δυτικής Θεσσαλίας αποτελούν την πεδιάδα της Θεσσαλίας. Το ενδιαμέσο αυτών των δυο λεκανών καλύπτεται από λοφώδη περιοχή νεογενών αποθέσεων οι οποία θεωρείται ξεχωριστή υδρογεωλογική ενότητα.

Στη Δυτική Θεσσαλία αναπτύσσονται παρακάτω οι προσχωρηματικές υδροφορίες (Καλέργη 1970):

- Ένα υψηλού δυναμικού φρεάτιο υδροφορέα, αυτού του **Κώνου Σοφαδίτη** στον ποταμό **Σοφαδίτη**.
- Ένα υψηλού δυναμικού φρεάτιο υδροφορέα, αυτό των **Κώνων Πηνειού-Πορταϊκού-Παμίσου** στο δυτικό και βορειοδυτικό κομμάτι, το οποίο εμπλουτίζεται από τις διηθήσεις των τριών αυτών ποταμών αλλά και από την κατείσδυση των βροχοπτώσεων, ενώ στην επιφάνεια επανέρχεται τμήμα των διηθήσεων μέσω εκτεταμένων αλλουβιακών πηγών.
- **Υπόλοιπο δυτικής πεδιάδας**, με πολλούς επάλληλους υπό πίεση υδροφορείς οι οποίοι τροφοδοτούνται σε μεγάλο βαθμό από τους κώνους των παραποτάμων του Πηνειού, με βραδύ ρυθμό, το οποίο δυσκολεύει την διαδικασία της επαναπλήρωσης των ποσοτήτων νερού που αντλούνται.

Στην Ανατολική Θεσσαλία δημιουργούνται οι παρακάτω προσχωματικές υδροφορίες:

- **Λεκάνη Τυρνάβου**, η οποία σχηματίστηκε λόγω των αδρομερειών αποθέσεων του ποταμού Τιταρήσιου και παρουσιάζει ένα φρεάτιο υδροφορέα, ο οποίος στα ανατολικά μεταπίπτει σε υποπίεση, ενώ μέσω των διηθήσεων του Τιταρίσιου γίνεται η κύρια τροφοδοσία και δευτερευόντως από τις κατεισδύσεις των βροχοπτώσεων.

- **Υπόλοιπη λεκάνη ανατολικής Θεσσαλίας (Λάρισα - Κάρλα),** με υπό πίεση και βαθείς υδροφορείς, βραδεία τροφοδοσία, λόγω των υπόγειων πλευρικών μεταγγίσεων του Τιταρήσιου κώνου.

Η λοφώδης περιοχή της Ταουσάνης περιλαμβάνει κατά κύριο λόγο ασυνεχή και ανομοιογενή υδροφόρα στρώματα με δυσχερείς συνθήκες τροφοδοσίας σε μεγάλο βαθμό, λόγω κατεισδύουσας βροχόπτωσης.

Σημαντικές καρστικές υδρογεωλογικές ενότητες, αναπτύσσονται στην περίμετρο των δύο αυτών τμημάτων της Θεσσαλικής Πεδιάδας και οι οποίες σήμερα δίνουν μεγάλες ποσότητες νερού. Αυτές οι ενότητες σχηματίζονται στους ανθρακικούς σχηματισμούς των γεωτεκτονικών ζωνών της Πελαγονικής, Πίνδου και Υποπελαγονικής.

Τις κυριότερες καρστικές ενότητες αποτελούν οι:

- **Καρστική ενότητα Κόζιακα.** Χαρακτηρίζεται από λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους σε έκταση 200 km². Η εκφόρτίσή της γίνεται μέσω πηγών, ανατολικά αυτής προς τη Θεσσαλικό κάμπο, με κυριότερες αυτές του Ξυνοπάροικου και της Γκούρας, με μέση παροχή 1 m³/s. Η συνολική μέση τιμή της υπόγειας απορροής είναι περίπου 3-4 m³/s και παρουσιάζεται στις κοίτες των ποταμών Παμίσου και Πορταϊκού.
- **Καρστική ενότητα Μαυροβουνίου-Πηλίου (Κάρλας).** Η οποία περιλαμβάνει τα κράσπεδα της παλιάς λίμνης Κάρλας και συνίσταται από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους. Η έκταση της είναι περί τα 350 km². Εκφορτίζεται στα ανατολικά υποθαλάσσια προς το Αιγαίο Πέλαγος, και μέσω της μεγάλης υφάλμυρης παράκτιας πηγής προς το νότο. Η συνολική μέση τιμή της υπόγειας απορροής είναι περίπου 2-3 m³/s.
- **Καρστική ενότητα κρυσταλλικών ασβεστόλιθων κεντρικής Θεσσαλίας,** η οποία περιλαμβάνει τους καρστικούς σχηματισμούς Κουτσόχερου - Τυρνάβου - Δαμασίου και τα καρστικά τμήματα Κεραμιδιού και Βούλας. Η έκταση της είναι περί τα 400 km². Η κύρια καρστική ενότητα Τυρνάβου εκφορτίζεται προς βορρά από τις πηγές Αγίας Άννας και Μάτι Τυρνάβου και Αμυγδαλιάς προς τα στενά Καλαμακίου του Πηνειού με τις μικρότερες καρστικές ενότητες να εκφορτίζονται από τις πηγές Κλοκωτού Βούλας, Μεταμόρφωσης, και Κεραμιδιού. Η μέση παροχή των προαναφερθέντων πηγών ανέρχεται σε 3,2 m³/s.
- **Καρστική ενότητα Όσσας - Κάτω Ολύμπου,** η οποία περιλαμβάνει τους ασβεστόλιθους του τεκτονικού παραθύρου Ολύμπου και Όσσας. Η έκταση της είναι περίπου 170 km². Εκφορτίζεται κατά κύριο λόγο από τις πηγές των Τεμπών. Ένα μέρος του Κάτω Ολύμπου εκφορτίζεται στο πεδινό παράκτιο τμήμα της Κατερίνης προς τα βόρεια. Οι μετρήσεις της μέσης τιμής των κύριων πηγών των Τεμπών είναι 1,0 m³/s.
- **Καρστική ενότητα νότιων ασβεστολιθικών εμφανίσεων πεδιάδας Θεσσαλίας,** η οποία περιλαμβάνει επιμέρους μικρές καρστικές ενότητες, και οι οποίες εκφορτίζονται στην περίμετρο τους μέσω μικρών πηγών. Σε αυτό το σημείο συναντώνται οι μικρές καρστικές μάζες Φαρσάλων, Ορφανών,

Κρατών, Εκκάρας - Βελεσιωτών, Βελεστίνου και Μύρων σε έκταση 280 km².

- **Καρστικό σύστημα Ολύμπου**, το οποίο περιλαμβάνει το τμήμα του Ολύμπου που ανήκει στη Θεσσαλία με έκταση περί τα 70-80 km². Η εκφόρτιση του γίνεται στην πεδιάδα της Κατερίνης προς τα βορειοανατολικά.
- **Καρστικό σύστημα βόρειας Όθρυς**, το οποίο περιλαμβάνει τις βόρειες απολήξεις του βουνού Όθρυ. Οι νότιες απολήξεις του εκφορτίζονται στην περιοχή της Λαμίας και της Στυλίδας στο Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας. Ένα μικρό τμήμα των ανθρακικών εμφανίσεων της βόρειας Όθρυς, το οποίο ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας πρέπει να εκφορτίζεται προς νότο εκτός διαμερίσματος. Το καρστικό σύστημα εκτείνεται σε 260-300 km². Η εκφόρτιση του συστήματος, γίνεται πλην του του τμήματος προς τα νότια, μέσω μικρών πηγών στα βόρεια και στα ανατολικά (Σούρπης, πλατάνου, Αγίας Τριάδας). Οι πηγές Σούρπης και Πλατάνου είναι υφάλμυρες. Υποθαλάσσιες πηγές εξέρχονται επίσης στον Όρμο της Σούρπης.
- **Καρστικό σύστημα Πίνδου**, όπου κυριαχούν οι λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι στην περιοχή Τρικάλων, και το οποίο ανήκει στο διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Η έκταση της εμφάνισης του εντός αυτού είναι στα 75-80 km² με την κύρια εκφόρτιση του συστήματος να πραγματοποιείται νότια και δυτικά εκτός του διαμερίσματος, ενώ προς τα ανατολικά ένα τμήμα εκφορτίζεται εντός της κοίτης των ρεμάτων του Πηνειού μέσω μικρών πηγών.

Έχουν υπολογιστεί από τις υδρολογικές ενότητες της Θεσσαλίας, ότι 450 εκατομμύρια κυβικά μπορούν να αντληθούν σε έναν χρόνο. Τα 390 εκατομμύρια κυβικά από αυτά θεωρούν ότι ανήκουν στον υπόγειο υδροφορέα που μπορεί να αξιοποιηθεί. Η μείωση οφείλεται στο γεγονός ότι συνυπολογίζονται και άλλοι παράγοντες όπως προστασίας υπογείων υδροφορέων από υφαλμύρυνση, συνεκτίμηση του κόστους άντλησης, χρήση επιφανειακών υδάτων αντί υπογείων κ.α. (Μαρίνος κ.ά., 1995 σελ Κ7-49).

2.2.4 Γεωμορφολογικά - Γεωλογικά στοιχεία του υδατικού διαμερίσματος

Το υδατικό διαμέρισμα χαρακτηρίζεται από απλή γεωμορφολογία με ορεινές περιοχές περιφερειακά και πεδινές στα κεντρικά με μέσο υψόμετρο 285 m. Διαθέτει 5 ορεινούς όγκους και ένας εκ των οποίων είναι ο Όλυμπος με υψόμετρο 2917m. Τα Χαλκηδόνια όρη χωρίζουν το πεδινό τμήμα σχηματίζοντας δύο μεγάλες πεδιάδες, τη δυτική και την ανατολική. Οι ενότητες αυτές είναι ανεξάρτητες των υδρογεωλογικών απόψεων.

Στο ανατολικό τμήμα της πεδιάδας της Θεσσαλίας τα γεωγραφικά όρια είναι τα εξής:

- Βόρεια από τον Κάτω Όλυμπο και την Όσσα,
- Νότια και νοτιοδυτικά από τα Χαλκηδόνια όρη όπου υπάρχει η λίμνη Κάρλα,
- Ανατολικά από το Μαυροβούνι και το βόρειο Πήλιο, από όπου διέρχονται οι ποταμοί Πηνειός και Τιταρίσιος, και

- Βορειοδυτικά το Ζάκρο
Το δυτικό τμήμα της πεδιάδας της Θεσσαλίας οριοθετείται:
- Ανατολικά από τα Χαλκιδόνια όρη
- Βόρεια από τα Χάσια και τα Αντιχάσια όρη
- Βορειοανατολικά από το Ζάκρο
- Νότια από το Ναθράκιο, τους πρόποδες του όρους Τυμφρηστός και την λίμνη Ξυνιά
- Δυτικά από το Κερκέτιον όρος (Κόζιακα)

Σύμφωνα με τους Παπανικολάου (1986) και Λέκκα (1986), εντός του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας δημιουργούνται αλπικοί σχηματισμοί, οι οποίοι μπορούν να διακριθούν σε τέσσερις μεγάλες γεωτεκτονικές ενότητες (Σχήμα 2.5). Αυτές αφορούν τις ενότητες της Ανατολικής Ελλάδας, της Δυτικής Θεσσαλίας, τους Οφιόλιθους της Βόρειας Πίνδου και τη Ζώνη της Πίνδου.



Σχήμα 2.5 Η χωρική κατανομή γεωτεκτονικών ενοτήτων (Ψωμάς 2012).

Εν συντομία, τα χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής:

- > **Η Ενότητα της Ανατολικής Ελλάδας:** Αυτή επεκτείνεται στις ορεινές ανατολικές περιοχές και περιλαμβάνει μόνο τους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και μάρμαρα, όπως και γνεύσιους, αμφιβολίτες και σχιστόλιθους.
- > **Η Ζώνη της Πίνδου:** Αυτή αναπτύσσεται στις ορεινές δυτικές περιοχές και περιλαμβάνει κυρίως ασβεστόλιθους, όπως και φλύσχη από εναλλαγές στρωμάτων ψαμμιτών και πηλινών.
- > **Η Ενότητα της Δυτικής Θεσσαλίας:** Αυτή αναπτύσσεται στη μεσοδυτική περιοχή κυρίως στο όρος Κόζιακας και περιλαμβάνει ασβεστόλιθους, οφιόλιθους, σχιστοκερατόλιθους, ραδιολαρίτες
- > **Οι Οφιόλιθοι της Βόρειας Πίνδου:** Αυτοί αναπτύσσονται στην περιοχή βόρεια της γέφυρας του Μουργκανίου και είναι τεκτονικά τοποθετημένοι πάνω στο φλύσχη της Πίνδου.

Επιπρόσθετα, εκτός των αλπικών σχηματισμών, η περιοχή μελέτης περιέχει μολασσικές, Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις (Κοινοπραξία Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κεντρικής & Δυτικής Ελλάδος, 2005β).

- > **Νεογενείς αποθέσεις:** οι οποίες καταλαμβάνουν την κεντρική πεδινή περιοχή και συχνά επικαλύπτονται από τις Τεταρτογενείς αποθέσεις. Οι αποθέσεις αυτές αποτελούνται από ιζήματα Πλειοκαινικής - Μειοκαινικής ηλικίας, που προέρχονται κυρίως αβαθούς θάλασσας ή λιμνοθαλάσσια. Επίσης, περιλαμβάνουν μάργες, κροκαλοπαγή, αργίλους, ψαμμίτες, μαργαϊκούς, άμμους και τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθους, σε αμιγείς ορίζοντες ή στρωματογραφικές εναλλαγές. Το μέγιστο πάχος τους ανέρχεται σε λίγες εκατοντάδες μέτρα.
- > **Μολασσικές αποθέσεις:** οι οποίες ανήκουν στη λεγόμενη Μεσοελληνική Αύλακα. Οι συγκεκριμένες έχουν έκταση κυρίως προς τα βόρεια και βορειοανατολικά. Ενώ, είναι το υπόβαθρο των Τεταρτογενών και των νεογενών σχηματισμών. Περιλαμβάνουν συνεκτικά ασβεστόλιθους, κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και μάργες.
- > **Τεταρτογενείς αποθέσεις:** οι συγκεκριμένες καλύπτουν τις πεδινές περιοχές και υπέρκεινται των νεογενών αποθέσεων. Προέρχονται από ποταμοχειμάρριες αναβαθμίδες, προσχώσεις πεδινών ζωνών, αλλουβιακές αποθέσεις, πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων. Αποτελούν, δηλαδή, προϊόντα αποσάθρωσης και διάβρωσης παλαιότερων σχηματισμών. Επίσης, περιλαμβάνουν άμμους, ιλυώδεις άμμους, αμμούχες αργίλους, πηλούς, ψηφίδες, χάλικες, λατύπες, ημισυνεκτικούς ψαμμίτες, κροκάλες, ψηφιδοπαγή και κροκαλοπαγή σε ακανόνιστες εναλλαγές ή προσμίξεις στρώσεων. Το πάχος τους ανέρχεται τα λίγες δεκάδες μέτρα.

2.2.5 Κλίμα Υδατικού Διαμερίσματος

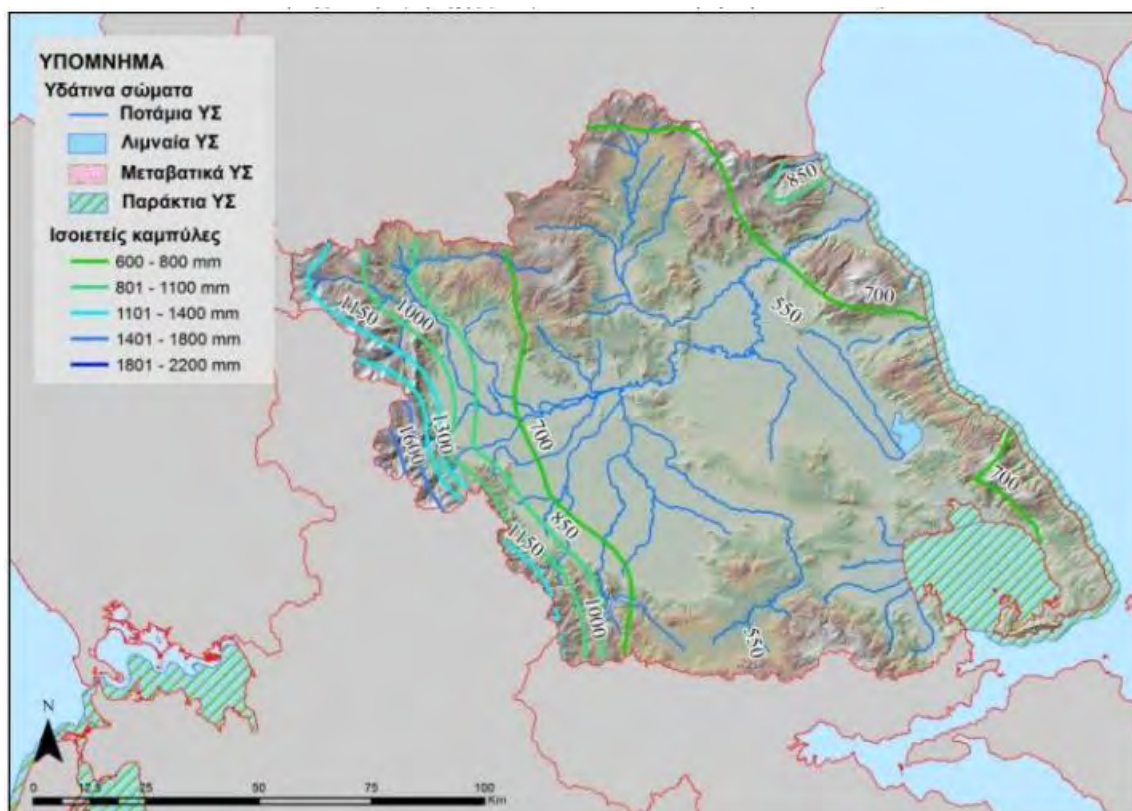
Η έκθεση Επιφανειακής Υδρολογίας της πρώτης φάσης της μελέτης “Ανάπτυξη Συστημάτων και Εργαλείων Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Υδατικών Διαμερισμάτων Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας, Ηπείρου, Θεσσαλίας και Αττικής: Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας (08)” (Κοινοπραξία Διαχείρισης Υδατικών Πόρων Κεντρικής & Δυτικής Ελλάδος, 2005α) όπως και το Εθνικό Πρόγραμμα Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων της Ελλάδας (Κουτσογιάννης κ.α., 2008) είναι οι κύριες πηγές των δεδομένων και των πληροφοριών όσον αφορά την ευρύτερη περιοχή μελέτης και το κλίμα της υδάτινης περιοχής.

Όπως προκύπτει από τα προηγούμενα, η κεντρική πεδινή περιοχή στα δυτικά της υδάτινης περιοχής της Θεσσαλίας έχει κλίμα ηπειρωτικό και οι περιφερειακές περιοχές της ορεινής περιοχής έχουν ορεινό.

Κάθε χρόνο η μέση θερμοκρασία είναι 14,3 °C. Η μέση μέγιστη ισούται με 16,4°C την ίδια στιγμή που η μέση ελάχιστη ισούται με 5°C. Επομένως, το εύρος της ετήσιας θερμοκρασίας είναι κοντά στους 12°C.

Ο Ιούλιος και ο Αύγουστος έχουν χαρακτηριστεί ως οι θερμότεροι μήνες του χρόνου σε αντίθεση με τους μήνες του χειμώνα (Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος) που είναι οι πιο κρύοι. Από τον μήνα του Νοεμβρίου μέχρι και τον Απρίλιο συχνό φαινόμενο αποτελούν οι παγετοί.

Στην υδατική περιοχή το ύψος για τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα σημειώνει διακυμάνσεις. Στο δυτικό τμήμα το ύψος είναι υψηλότερο, στα πεδινά υπάρχει μείωση και στο ορεινό ανατολικό τμήμα αρχίζει ξανά η αύξηση. Στο σταθμό Τυρνάβου, η ενδεικνυόμενη ετήσια βροχόπτωση είναι 550 mm, στον ορεινό σταθμό Μουζακίου είναι 1.142 mm και τέλος 468 mm είναι στο σταθμό Λαρίσης. Η μέση ετήσια επιφανειακή βροχόπτωση, σε ολόκληρη την περιοχή, υπολογίζεται σε 678 mm. Οι δύο μήνες του καλοκαιριού (Ιούλιος και Αύγουστος) έχουν χαρακτηριστεί ως οι ξηρότεροι ενώ οι μήνες με τις περισσότερες βροχοπτώσεις είναι από τον Οκτώβριο μέχρι και τον Ιανουάριο. Στα ορεινά σύνηθες φαινόμενο αποτελούν οι χιονοπτώσεις, οι οποίες γίνονται εντονότερες από τα ανατολικά προς δυτικά και από τον νότο προς τον βορρά. Μια άποψη της συνολικής εικόνας υετού δίνεται στο Σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6 Ύψη βροχής στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας (Πηγή: (1^η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του ΥΔ Θεσσαλίας (EL 08) 2017)).

Στην Ελλάδα υπάρχουν τέσσερις Κλιματικές Ζώνες, σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ (Κανονισμό Απόδοσης Κτιρίων). Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζονται αυτές οι ζώνες:



Σχήμα 2.7 Χάρτης Κλιματικών Ζωνών (Κοσκινιώτη, 2014).

Η κατηγοριοποίηση σε τέσσερις κλιματικές ζώνες γίνεται με βάση το άρθρο 6 (: «Σε κάθε νομό, οι περιοχές που βρίσκονται σε υψόμετρο πάνω από 600 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας εντάσσονται στην επόμενη ψυχρότερη κλιματική ζώνη από εκείνη στην οποία ανήκουν») και το υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας. Γίνεται προφανές πως η μετάβαση στην ζώνη Δ, από την ζώνη Α, το κλίμα γίνεται ψυχρότερο.

Σύμφωνα με το χάρτη και τον Πίνακα 2.1, ο Δήμος Μουζακίου, του Νομού Καρδίτσας, από τον οποίο διαρρέει ο Πάμισος, υπάγεται στην κλιματική ζώνη Γ.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η κατανομή των νομών στις αντίστοιχες κλιματικές ζώνες:

Πίνακας 2. 1 Κλιματικές Ζώνες (Κοσκινιώτη, 2014).

Κλιματικές Ζώνες	NOMOI
Ζώνη Α	Χανίων, Ηρακλείου, Ρεθύμνου, Κυκλάδων, Λασιθίου, Δωδεκανήσου
	Μεσσηνίας, Σάμου, Αργολίδας, Λακωνίας, Κεφαλληνίας, Ζακύνθου, Ιθάκης
Ζώνη Β	Αρκαδίας (πεδινή), Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής)
	Κορινθίας, Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Ηλείας
	Αιτωλοακαρνανίας, Αχαΐας, Φθιώτιδας, Βοιωτίας, Φωκίδας, Εύβοιας
Ζώνη Γ	Λέσβου, Μαγνησίας, Χίου, Λευκάδας, Κέρκυρας, Πρέβεζας, Θεσπρωτίας
	Άρτας
	Ευρυτανίας, Αρκαδίας(ορεινή), Ιωαννίνων, Καρδίτσας, Λάρισας
	Πιερίας, Τρικάλων, Ημαθίας, Θεσσαλονίκης, Πέλλας, Χαλκιδικής, Κιλκίς
Ζώνη Δ	Καβάλας, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Ξάνθης, Έβρου, Ροδόπης
	Κοζάνης, Γρεβενών, Καστοριάς, Σερρών (Β.Α. τμήμα), Φλώρινας, Δράμας

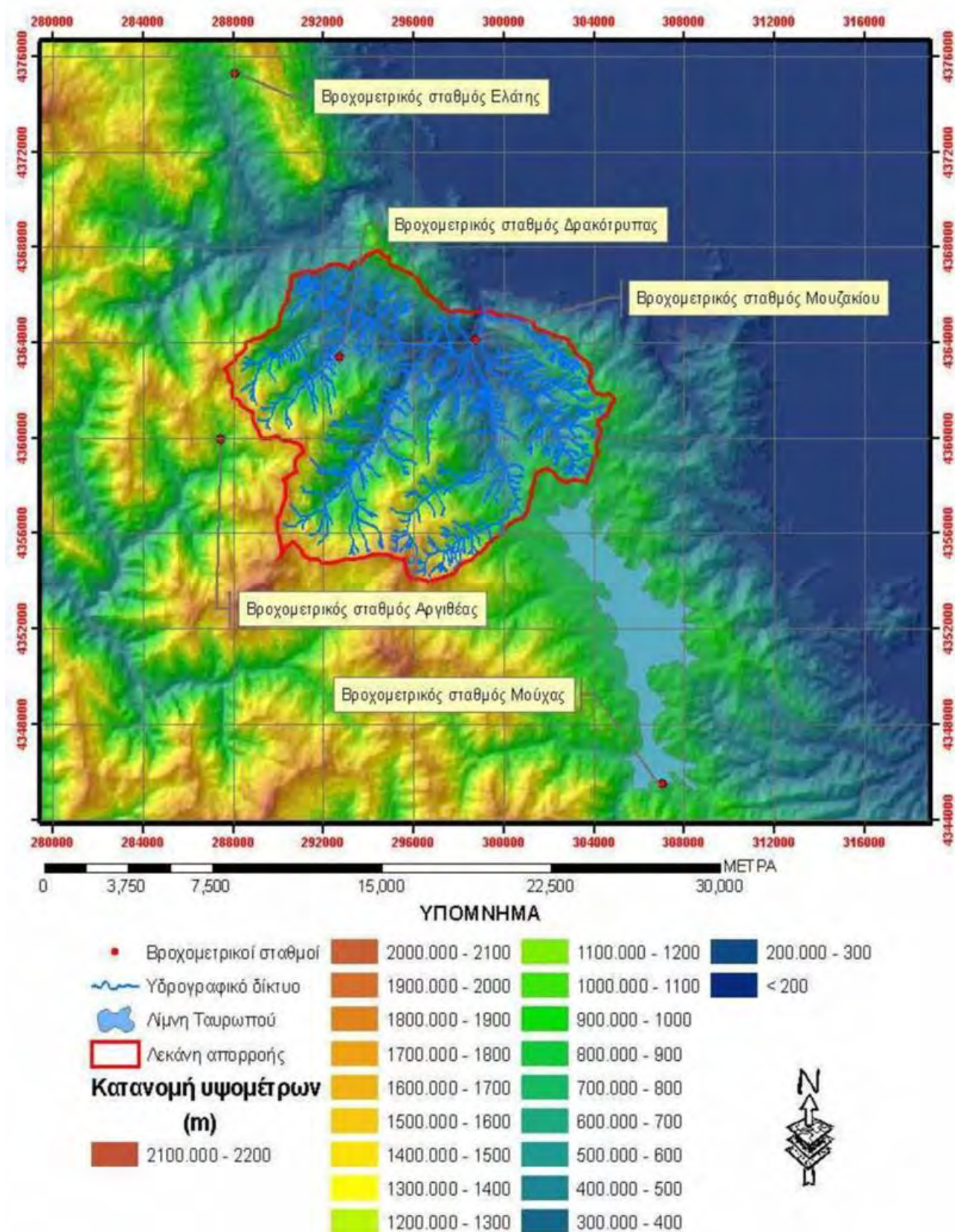
Με βάση την Ε.Μ.Υ. (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία), η πιο επιτυχημένη μελέτη του κλίματος ενός τόπου μπορεί να επιτευχθεί με τον υπολογισμό πέντε βασικών δεικτών: την υγρασία, την θερμοκρασία, την ένταση της ακτινοβολίας, την βροχόπτωση και την ένταση του ανέμου.

Καθώς οι πληροφορίες από τον μετεωρολογικό σταθμό της Καρδίτσας δεν είναι αρκετές εφόσον επιζητείται η προσέγγιση των δεικτών της τοποθεσίας, αξιοποιήθηκαν πληροφορίες οι οποίες αντλήθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό των Τρικάλων (ο οποίος βρίσκεται σε υψόμετρο 114m και είναι ιδιοκτησία ΥΠΕΧΩΔΕ), διότι υπάγεται στην ίδια κλιματική ζώνη και επομένως, είναι δυνατόν να θεωρηθούν ίδιοι, προσεγγιστικά.

Στον παρακάτω πίνακα εμπεριέχονται τα ομβροθερμικά διαγράμματα με τα οποία σημειώνονται οι θέσεις των βροχομετρικών σταθμών Δρακότρυπας, Μουζακίου και Αργιθέας, οι μηνιαίες μέσες θερμοκρασίες της περιόδου 1974 -1984, καθώς και το υψόμετρο και οι συντεταγμένες για τον κάθε βροχομετρικό σταθμό.

Πίνακας 2.2 Βροχομετρικοί σταθμοί (Κάψαλης, 2009).

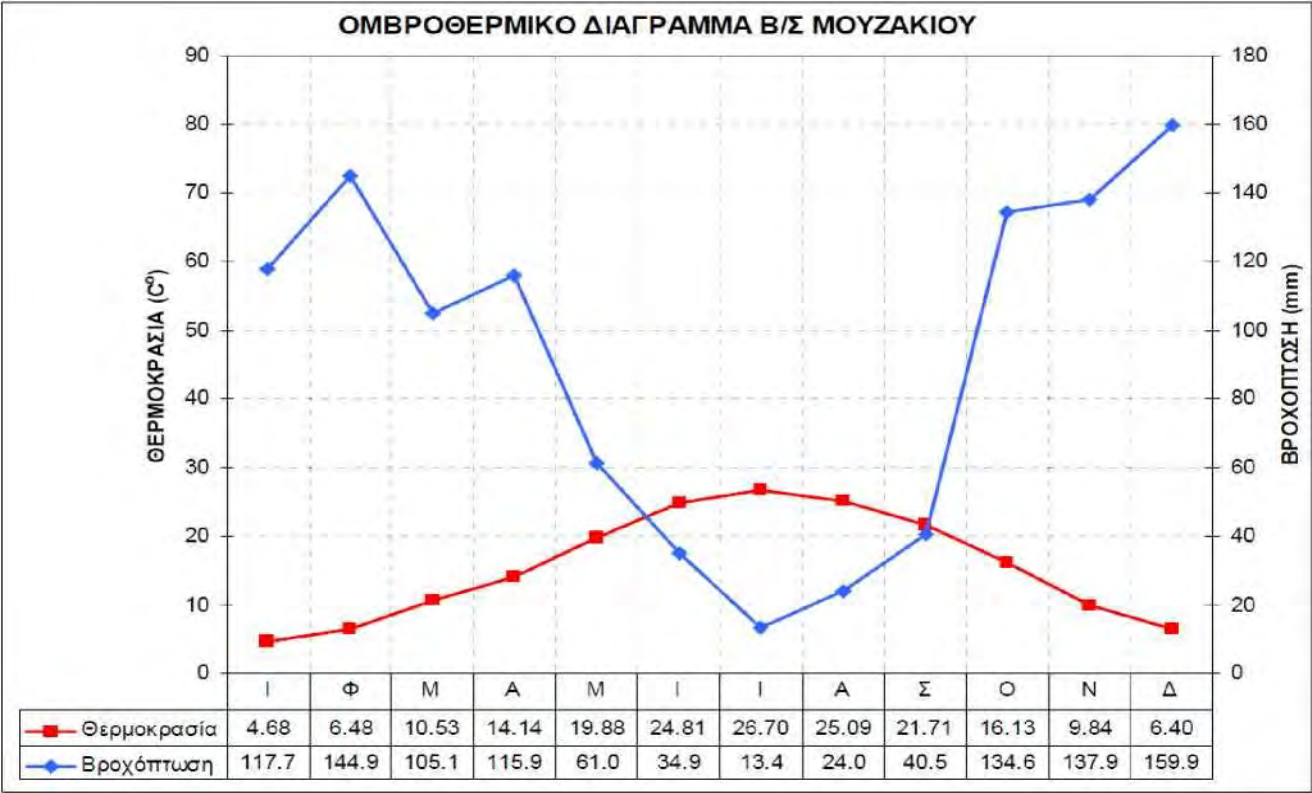
ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ Ι ΣΤΑΘΜΟΙ	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (Μ) ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΓΣΑ '87)		
	X	Y	Z
ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ	292721,50	4363406,50	680,00
ΑΡΓΙΘΕΑ	287440,29	4359937,80	980,00
ΜΟΥΖΑΚΙ	298732,00	4364100,50	226,00



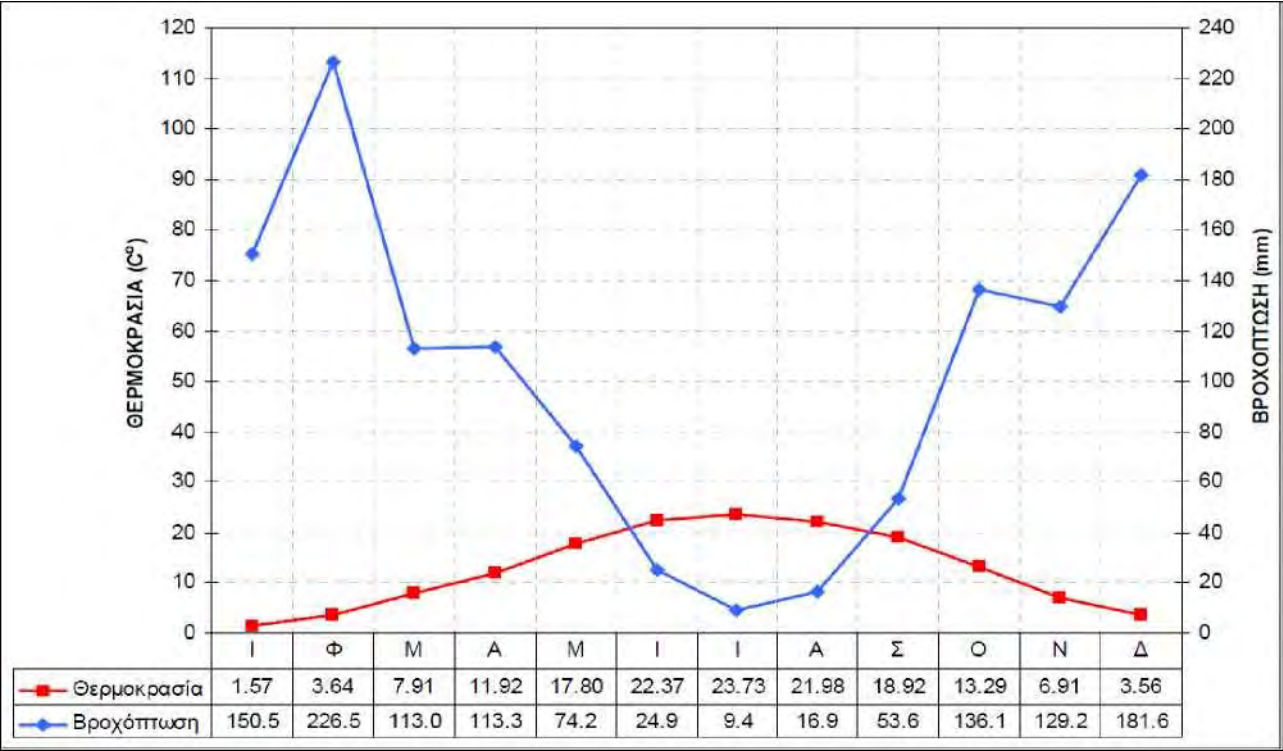
Σχήμα 2.8 Βροχομετρικοί σταθμοί: Δρακότρυπα, Μουζάκι, Αργιθέα στην λεκάνη απορροής του Πάμισου (Κάψαλης, 2009).

Πίνακας 2.3 Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μετεωρολογικού σταθμού Τρικάλων (Κάψαλης 2009)

ΕΤΟΣ							ΜΗΝΕΣ						
	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	ΕΤΟ
1974	6	8,2	10,4	12,6	19,5	24,7	27,6	26,8	22,1	17,4	10,7	6,2	16,0
1985	5,4	5,5	12,1	16	21,3	24,7	27,2	25	24,3	16,1	10	5,9	16,1
1976	6,6	6	9,3	15,1	19,5	23,6	25,8	23,6	21,4	17,3	11,4	7,1	15,6
1977	6,7	11,8	12,4	15,9	22,2	26,2	29,2	27,1	21,2	15,4	12,6	5,2	17,2
1978	3,9	9,2	11,9	14,3	20,2	26,2	27,8	25,9	20,7	15,2	8,3	9,2	16,1
1989	5,4	8,1	12,9	13,3	20,4	26,2	26,9	26,2	22,4	15,1	11,4	7,9	16,4
1980	4,2	6,6	10,2	14	18,3	25	28,5	26,9	22,7	17,4	12,7	7,4	16,2
1981	2,4	6,9	13,7	15,9	19,3	27,4	27,1	26,1	22,9	19,3	8,8	8,5	16,5
1982	6	4,8	9,5	13,6	19,9	26,9	27,3	26,7	23,5	16,7	9	8,2	16,0
1983	6,7	5,4	11,2	18,2	22,6	23,2	27,2	25,5	22,2	16	10	6,4	16,2
1984	6,8	6,7	9,5	12,8	21,3	25,6	27,4	24,8	29,2	19,4	11,5	6,3	16,3
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	5,5	7,2	11,2	14,7	20,4	25,4	27,5	25,9	22,4	16,8	10,6	7,1	16,2



Σχήμα 2.9 Ομβροθερμικό Διάγραμμα Β/Σ Μουζακίου (Κάψαλης, 2009).



Σχήμα 2.10 Ομβροθερμικό Διάγραμμα Β/Σ Δρακότρυπας (Κάψαλης, 2009).

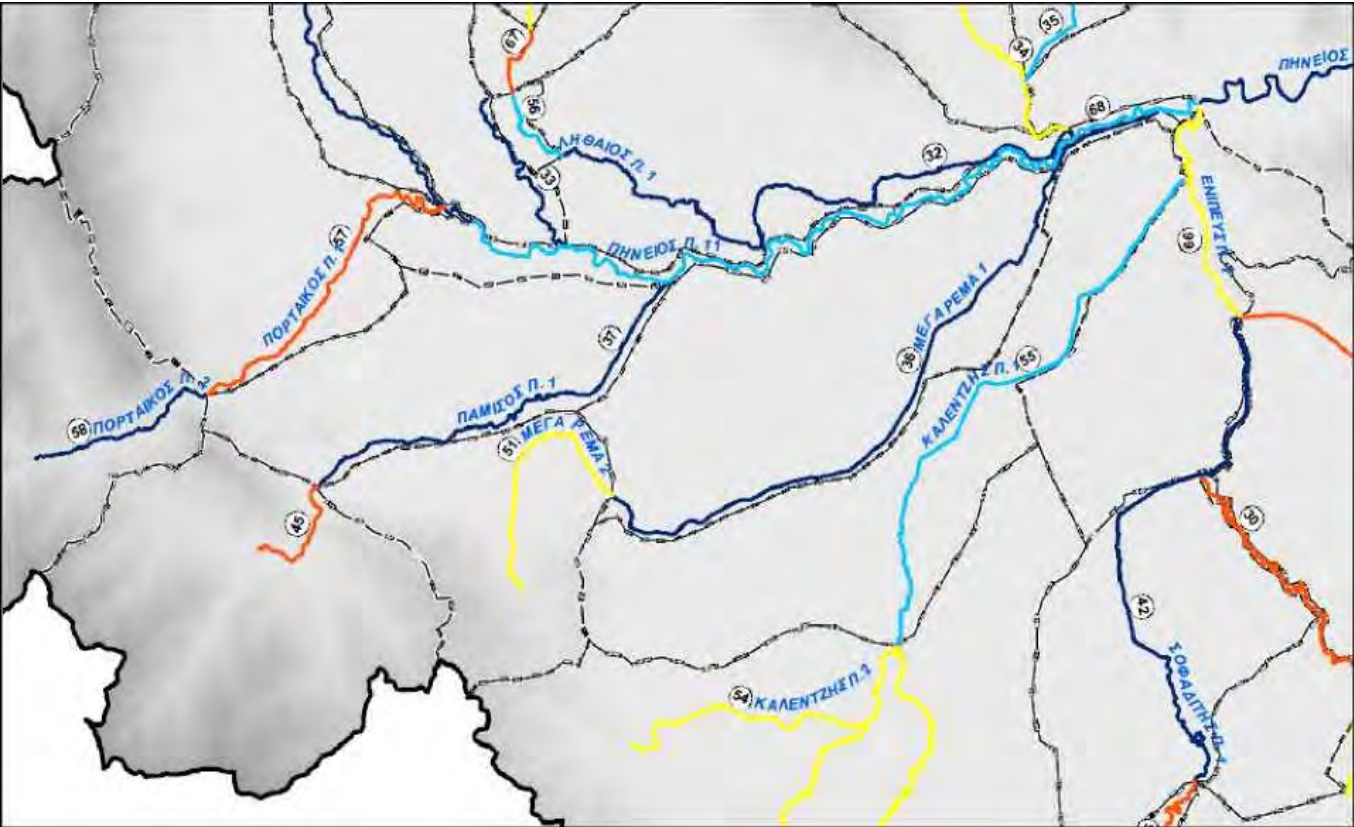


Σχήμα 2.11 Ομβροθερμικό Διάγραμμα Β/Σ Αργιθέας (Κάψαλης, 2009).

2.3 Περιοχής μελέτης - Πάμισος ποταμός

2.3.1 Λεκάνη Απορροής Πάμισου

Με βάση την τυπολογία και τον χαρακτηρισμό υδατικών και επιφανειακών συστημάτων του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (Σχήμα 2.12), το ποτάμιο σύστημα του Πάμισου και επιδεικνύει μια μέτρια απορροή, με ελάχιστη κλίση 1,2 ‰. Στον παρακάτω Πίνακα 2.4 επισημαίνονται τα επιπλέον χαρακτηριστικά του.



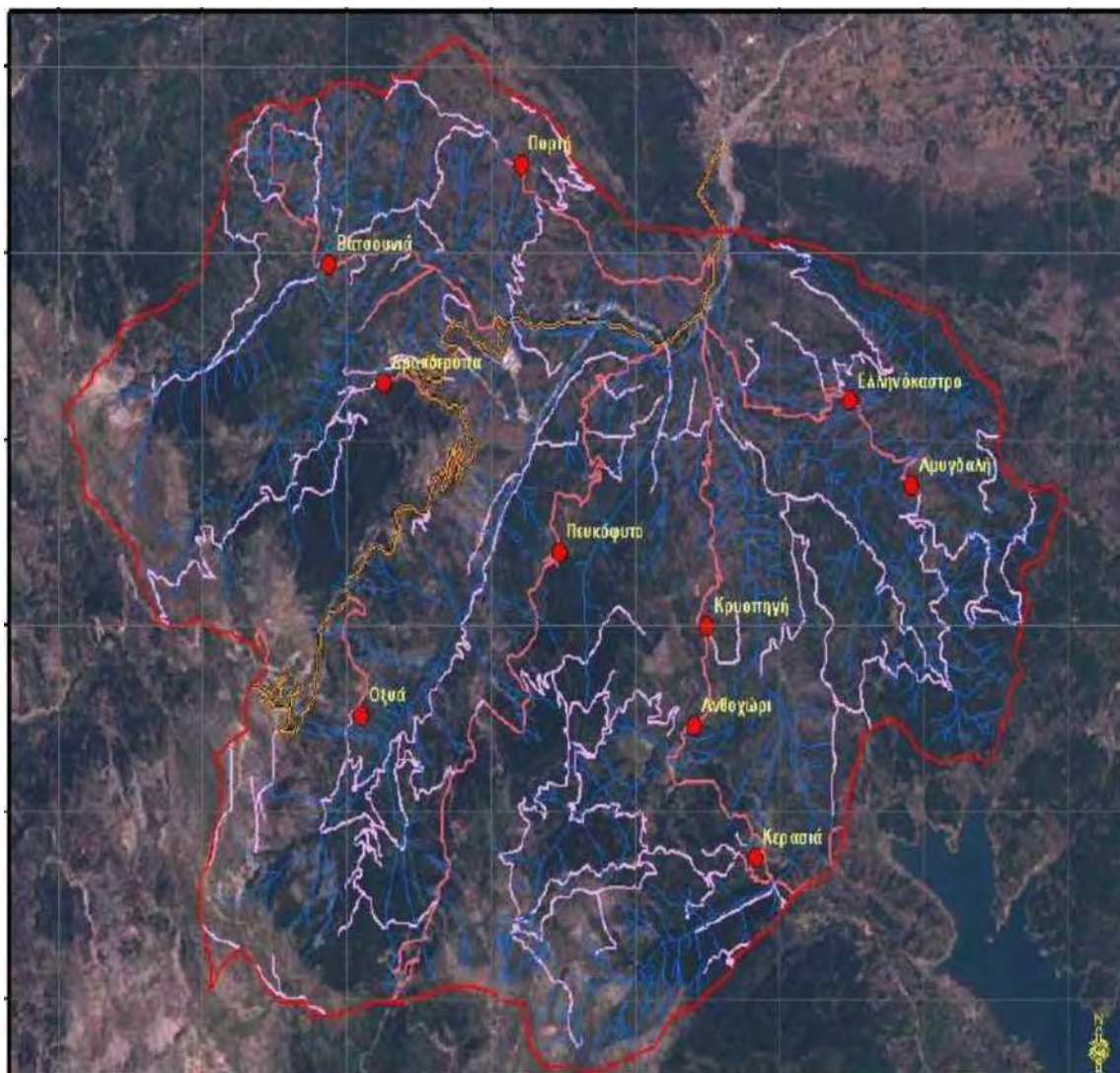
Σχήμα 2.12 Απεικόνιση του ποτάμιου συστήματος στο οποίο εντάσσεται ο Πάμισος ποταμός.

Πίνακας 2.4 Τυπολογία και Χαρακτηρισμό Πάμισου (Κοινοπραξία Διαχείρισης Υδάτων Ηπείρου, Θεσσαλίας & Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, 2011γ)

Έκταση Ανάντη Λεκάνης Απορροής (km ²)	248,06
Έκταση Λεκάνης Απορροής (km ²)	93,05
Μέση Φυσικοποιημένη Απορροή Λεκάνης κατά την θερινή περίοδο (hm ³ /μήνα)	3,32
Μέση Φυσικοποιημένη Απορροή Λεκάνης (hm ³ /yr)	132,91
Μέσος Όγκος Απόληψης για Ύδρευση και Άρδευση κατά την θερινή περίοδο (hm ³ /μήνα)	2,27
Ετήσιος Όγκος Απολήψεων λόγω Ύδρευσης & Άρδευσης (hm ³ /yr)	27,19

Η λεκάνη απορροής (Σχήμα 2.13) του ποταμού Πάμισου ανήκει στη λεκάνη απορροής της Θεσσαλίας έχοντας συνολική έκταση 93,05 km². Αποτελεί επίσης τμήμα της ευρύτερης υδρολογικής λεκάνης του Πηνειού ποταμού και είναι η βασική υδρολογική λεκάνη της υδατικής περιοχής με έκταση 9.500 km². Δημιουργείται στις νοτιοανατολικές πλαγιές της Πίνδου και εξαπλώνεται ανατολικά ως τα σύνορα του Μουζακίου. Ως φυσικό όριο έχει βουνά (βόρεια προς νότο), το όρος Ίταμος, τα Άγραφα και το όρος Κερκέτιον. Σύμφωνα με ένα περιγραφικό σύστημα ταξινόμησης των δικτύων νερού, το δίκτυο

ύδρευσης χαρακτηρίζεται από δενδροειδές σχήμα (Κωτούλας 1998).



Σχήμα 2.13 Η λεκάνη απορροής του ποταμού Πάμισου (Καραπάνος, 2007).

Εξαιτίας του τεράστιου ορεινού μεγέθους που έχει η περιοχή, το κλίμα της είναι ηπειρωτικό. Η μέση θερμοκρασία της λεκάνης είναι 12,9 °C. Κατά τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο καταγράφονται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες. Ο Ιούλιος και ο Αύγουστος με υψηλότερη θερμοκρασία τους 32 βαθμούς Κελσίου είναι οι πιο ζεστοί μήνες.

Όσον αφορά τα κατακρημνίσματα, αυτή η περιοχή παρουσιάζει μεγάλα ύψη βροχής και έχει μελετηθεί η δημιουργία ταμιευτήρων, λόγω της απώλειας μεγάλων ποσοτήτων βροχοπτώσεων το χειμώνα και της εκροής στη θάλασσα.

Το ανάγλυφο είναι ορεινό. Ένα μεγάλο μέρος της περιοχής είναι ημιορεινό με απότομες πλαγιές και έντονο ανάγλυφο. Το μέσο ύψος της λεκάνης είναι σχεδόν 825 m, με μέγιστο 2000 m και ελάχιστο 95 m.

Λαμβάνοντας υπόψιν την μικρή έως ανύπαρκτη επιρροή του ποταμού Πηνειού στη λεκάνη απορροής του Πάμισου ποταμού, και τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν εκεί, παρατηρούνται προσχώσεις οι οποίες προκαλούν μεγάλη μεταβολή της κοκκομετρικής σύστασης των αποθέσεων σε οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση. Αν και είναι κορεσμένες, οι απολήψιμες μονάδες νερού είναι μικρές καθώς και το δραστήριο πορώδες τους είναι επίσης μικρό. Επιπρόσθετα, παράγονται και συνθήκες αρτεσιανισμού, σε τοπικό επίπεδο.

2.3.2 Γεωλογία

Η ευρύτερη περιοχή από την οποία διατρέχει ο ποταμός Πάμισος, ιδίως μεταξύ των περιοχών Μουζακίου και Πύλης, είναι η γεωλογική ενότητα της Δυτικής Θεσσαλίας. Στην γεωτεκτονική ζώνη Πίνδου (ή ζώνη Ωλονού – Πίνδου) ανήκει η λεκάνη απορροής του ποταμού Πάμισου. Στην συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι παραπάνω ενότητες.

Σε δύο γεωμορφολογικές ενότητες χωρίζεται η Δυτική Θεσσαλία:

1. Πεδινή περιοχή που αναπτύσσεται ανατολικά στα Τρίκαλα και την Καρδίτσα,
2. Βορειοδυτικές-νοτιοανατολικές ορεινές περιοχές που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της Πίνδου.

Η γεωμορφολογική αυτή διάκριση αντανακλά γεωλογική δομή, η οποία υπάρχει ήδη. Αυτή περιλαμβάνει: α) τους τεταρτογενείς σχηματισμούς στα ανατολικά, οι οποίοι σχηματίζουν ένα σχεδόν υπέροχο οριζόντιο επίπεδο και που αποτελεί το δυτικό τμήμα του Θεσσαλικού Κάμπου και β) τους αλπικούς σχηματισμούς της υποαλπικής ζώνης και τους σχηματισμούς μολάσας της Μεσοελληνικής αύλακας που σχηματίζουν σχετικά ακανόνιστους κυματισμούς στα δυτικά.

Οι αλπικοί σχηματισμοί της δυτικής Θεσσαλίας περιέχονταν γεωλογικά στη ζώνη της Πίνδου, αλλά στα πεδινά εμφανίζονται κάτω από τα στρώματα των ζωνών Τεταρτογενών αποθέσεων, Μολάσας και σχηματισμών της υποπελαγονικής ζώνης.

Ωστόσο, βάσει πρόσφατων απόψεων, οι αλπικοί σχηματισμοί της δυτικής Θεσσαλίας ανήκουν σε τέσσερις μεγάλες γεωλογικές δομικές ενότητες (Παπανικολάου, 1986). Οι ενότητες είναι οι ακόλουθες:

1. Ζώνη Πίνδου: αναπτύσσεται δυτικά της περιοχής και αντιπροσωπεύεται από τους σχηματισμούς από το Άνω Τριασικό έως το Ηώκαινο.
2. Ενότητα της ανατολικής Ελλάδας: χαρακτηρίζεται από ασυμβατότητα του Άνω Κρητιδικού και αντιπροσωπεύεται από μάρμαρο και σχιστόλιθο της μέσης Πελαγονίας και αναπτύσσεται στο ανατολικό τμήμα της περιοχής.
3. Ενότητα οφιολίθων Βόρειας Πίνδου: δομικά τοποθετημένη στον φλύσχη της Πίνδου στην περιοχή βόρεια της Γέφυρας Μουργκάνι.

4. Το δυτικό τμήμα της Θεσσαλίας: βρίσκεται δυτικά της περιοχής, μετά τη πεδιάδα της Θεσσαλίας, κυρίως στην περιοχή του όρους Κόζιακας και Ταυρωπού (Παπανικολάου-Σιδέρης-Λέκκας). Αυτή η ενότητα περιέχει τους άνω Τριαδικούς έως Ηώκαινους σχηματισμούς που καλύπτονται από τον φλύσχη της Ηώκαινικής ζώνης της Πίνδου στο βόρειο Κόζιακα, αλλά όχι στην περιοχή του Ταυρωπού.

Ασυμβίβαστος με όλους τους αλπικούς σχηματισμούς είναι ο σχηματισμός μολάσας της Μεσοελληνικής αύλακας. Αυτός αναπτύσσεται στην επιμήκη βορειοδυτική-νοτιοανατολική ζώνη και εμφανίζεται κυρίως στις περιοχές των Καναλίων - Φαναρίου της Καρδίτσας και των Μετεώρων.

Πρόκειται κυρίως για κλαστικούς μηχανισμούς, οι οποίοι τοποθετήθηκαν το χρονικό διάστημα του Ανώτερου Ηώκαινου – Κατώτερου Μειόκαινου σε μία οπίσθια τάφρο. Αυτή λειτουργούσε πίσω από το τότε νησιωτικό πινδικό τόξο, το οποίο περιέχει την ενότητα της δυτικής Θεσσαλίας, τον οφιόλιθο της Βόρειας Πίνδου και την ζώνη της Πίνδου.

Οι παρακάτω μολασσικοί σχηματισμοί υπάρχουν στην δυτική Θεσσαλία:

1. Το κατώτερο μειόκαινο (Βουρδιγάλιο) που έχει αντίστοιχους σχηματισμούς με αυτούς του Τσοτυλίου (ανώτερα κροκαλοπαγή Μετεώρων)
2. Το oligόκαινο με σχηματισμούς ανάλογους του Επταχωρίου
3. Το ανώτερο Ηώκαινο, με τον αργιλάσβεστο του ριζώματος – φλύσχικης φάσης
4. Το κατώτερο Ηώκαινο (Ακουϊτάνιο), το οποίο έχει ανάλογους σχηματισμούς με του Πενταλόφου (κατώτερα κροκαλοπαγή Μετεώρων).



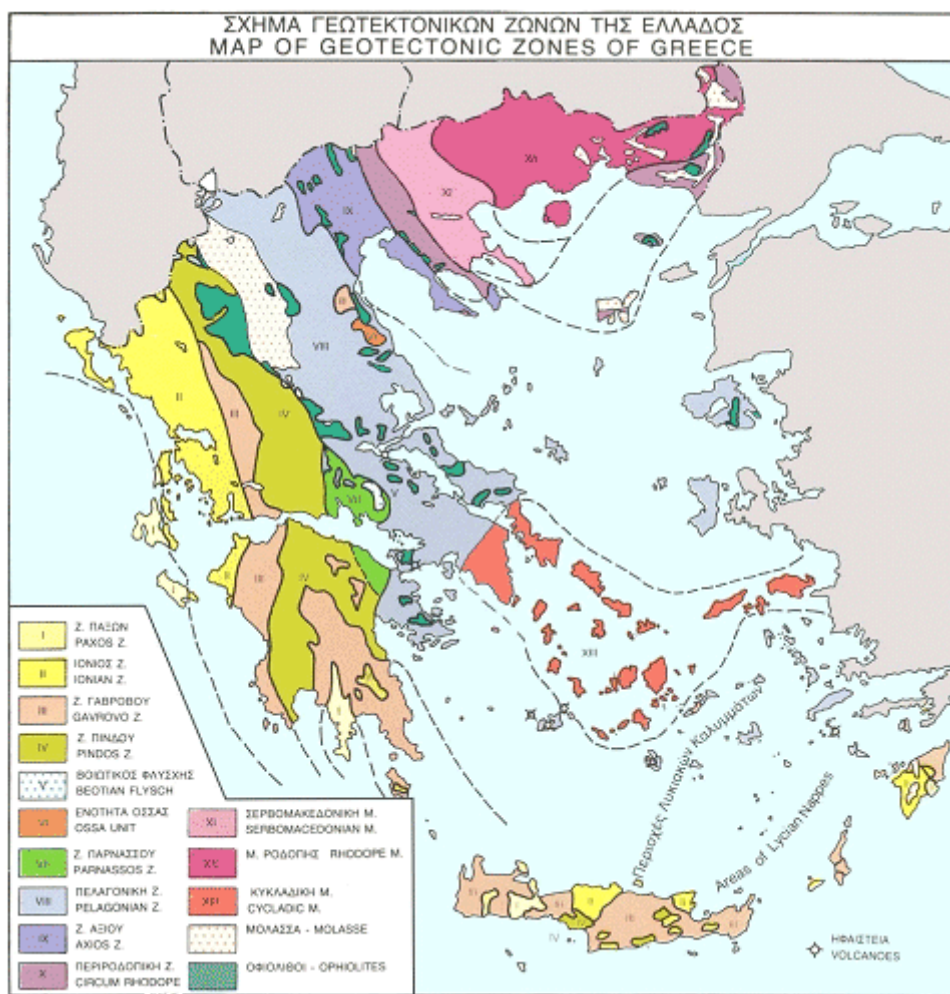
Σχήμα 2.14 Το γενικευμένο σκαρίφημα δυτικά της Θεσσαλίας. 1. Σχηματισμοί Ανατολικής Ελλάδας, 2. Η ενότητα της δυτικής Θεσσαλίας, 3. Πίνδος, 4. Οφιόλιθοι της βόρειας Πίνδου, 5. Μολασσικοί σχηματισμός της Μεσοελληνικής αύλακας, 6. Τεταρτογενής ζώνη (Κωνσταντινίδης, 1986).

Ζώνη Πίνδου

Ο πρώτος που περιέγραψε την Ζώνη της Πίνδου ήταν ο Philipson (1898). Την ονόμασε Ζώνη Ωλονού – Πίνδου από τους ομώνυμους ορεινούς όγκους της ηπειρωτικής Ελλάδας και της Πελοποννήσου, αν και είναι συνηθέστερος ο όρος Ζώνη Πίνδου.

Είναι τεκτονικό κάλυμμα και είναι γνωστό στην Πελοπόννησο, τα Δωδεκάνησα, της ηπειρωτικής Ελλάδας και την Κρήτη. Συνεχίζεται ανατολικά στα καλύμματα της Λυκίας στην Τουρκία και βόρεια στις Δειναρίδες Ζώνες, με τις ζώνες Bunđa και Cukali.

Η τοποθέτηση των ιζημάτων έγινε σε μια ωκεάνια λεκάνη ανάμεσα σε δύο πλατφορμών, της Πελαγονικής ή της Παρνασσικής πλατφόρμας και της Γαβρόβου – Τριπόλεως πλατφόρμας, από το ανώτερο Τριαδικό έως το Ηώκαινο.



Σχήμα 2.15 Ο Γεωτεκτονικός χάρτης του ελλαδικού χώρου (Λέκκας, Νασοπούλου, Παναγόπουλος).

Όπως γίνεται ορατό από το Σχήμα 2.15, η πολυσύνθετη στρωματογραφική κολώνα της Πίνδου περιέχει έξι σχηματισμούς από κάτω προς τα πάνω. Αυτοί οι σχηματισμοί δείχνουν αλλαγές από γειτονικές περιοχές και πλευρικές μεταβάσεις.

1. Ασβεστόλιθος του Δρυμού: Κυρίως αποτελείται από κονδύλους πυριτολίθων και από ασβεστόλιθο με ενδιαστρώσεις. Ηλικιακά κινείται από ανώτερο Τριαδικό ως το Λιάσιο και διαιρείται

σε τρία μέρη:

1α Ανώτερος Δρυμός: Κατά κύριο λόγο κοκκιώδεις ασβεστόλιθοι χωρίς την παρουσία Halobia.

1β Κατώτερος Δρυμός: Αποτελείται από εναλλασσόμενους ανοιχτόχρωμους ασβεστόλιθους με νημάτια Halobia, που είναι πλούσιοι σε ακτινόζωα, συνοδευόμενους από στρώματα πηλινών και πυροτόλιθων.

1γ Ορίζοντας με ίασπι: Αφορά την αλλαγή πυριτόλιθου με κόκκινο πηλίτη.

2. Ραδιολαρίτες s.l: Περιέχει πηλινικές και πυριτικές διαστρωματώσεις με ελάχιστες παρεμβολές από ασβεστόλιθο. Όσον αφορά την ηλικία, αυτή κυμαίνεται από το Δογγέριο έως το Τουρώνιο. Από κάτω προς τα επάνω διακρίνονται τα ακόλουθα μέλη:

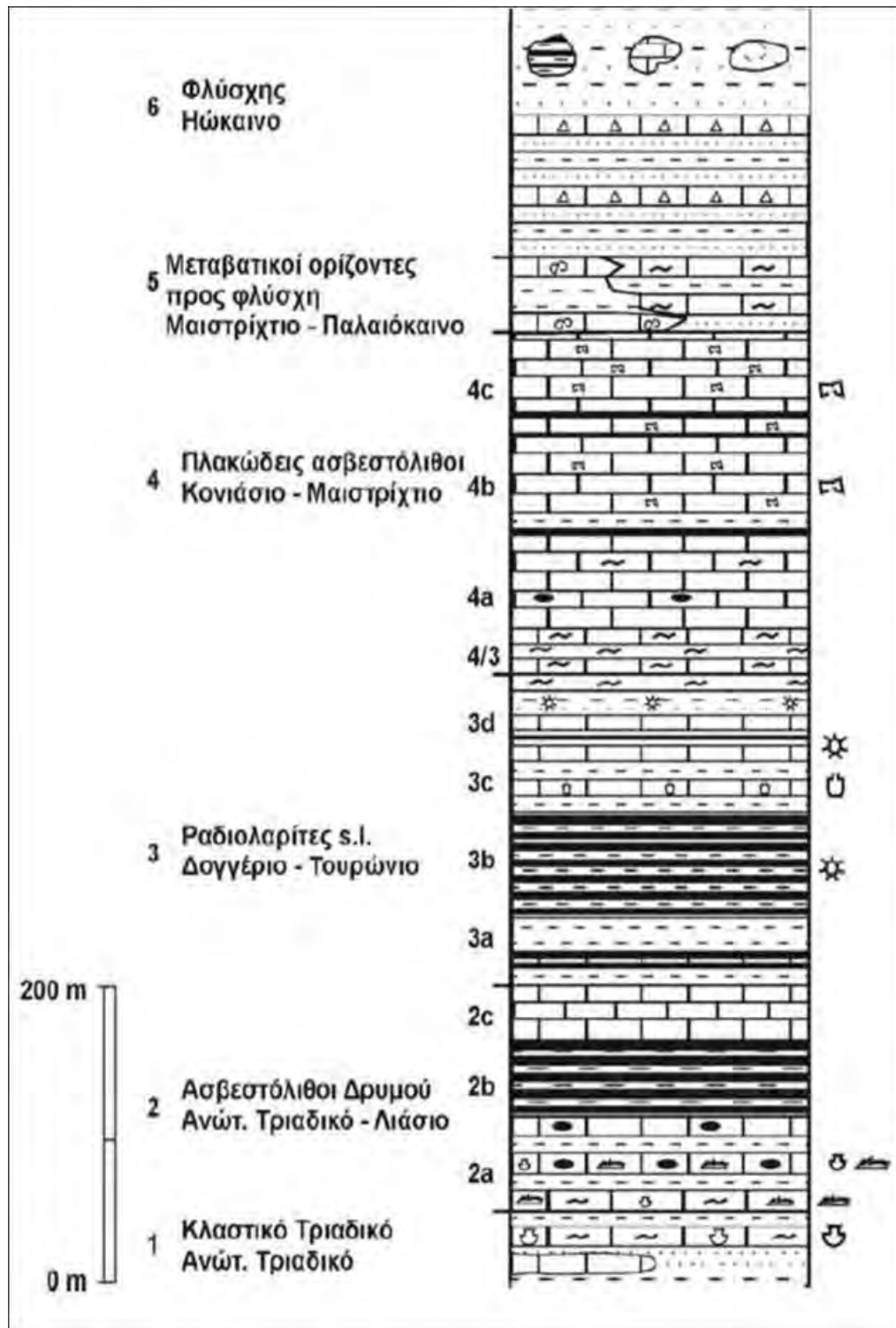
2α Ραδιολαρίτες s.s: Το ανώτερο και το κατώτερο τμήμα περιλαμβάνουν πηλινικές και ανθρακικές ενδιαστρώσεις. Το μεσαίο τμήμα είναι ολυπυριτικό.

2β Κόκκινες μάργες με ακτινόζωα: Εδώ δεσπόζει ο κόκκινος πηλίτης. Στην βασική πυλυτική μάζα είναι δυνατόν να παρεμβάλλονται μικριτικοί ασβεστόλιθοι με ακτινόζωα, ίασπες, λατυποπαγή και ψαμμιτικοί ορίζοντες.

2γ Πηλίτες του Καστελλίου: Σε αυτό κυρίαρχο ρόλο έχει ο πηλίτης. Στα κατώτερα στρώματα μπορεί να παρουσιαστούν ενδιαστρώσεις ασβεστόλιθου με ακτινόζωα και κοκκιώδεις ασβεστόλιθοι.

2δ Ασβεστόλιθοι με Calpionelles: Σε αυτό επικρατούν οι κόκκινοι και ροζ ασβεστόλιθοι με λίγο πάχος με κόκκινο πηλίτη και ίασπι.

3. Κλαστικό Τριαδικό: Αυτό αποτελείται από εναλλασσόμενο ασβεστόλιθο και ψαμμίτη. Η χρονολόγηση του σχηματισμού ως το ανώτερο Τριαδικό βασίζεται σε ανακαλύψεις δίθυρων (Daonella, Halobia) και κωνοδόντων. Τα κελύφη των Daonella και Halobia σχηματίζουν το lumachelle.. Στο τμήμα μαργαϊκού ασβεστόλιθου, αυτή η φάση αντιπροσωπεύεται από ασβεστόλιθο με filaments, ο οποίος περιέχει επίσης άπειρα ακτινοζώα.



Σχήμα 2.16 Στρωματογραφική στήλη Πίνδου.

4. Πλακώδης ασβεστόλιθος: Αυτός ο σχηματισμός ονομάζεται επίσης "ασβεστόλιθος Grobotunkan", αλλά μόνο ένα από τα μέλη του είναι πλούσιο σε αυτά τα πλαγκτονικά τρηματοφόρα. Οι σφοδρές πτυχές ευθύνονται για τη συχνή αναπαραγωγή αυτού του ορίζοντα και τη δυσκολία στην επαρκή εκτίμηση του πάχους του σχηματισμού, που υπολογίζεται ότι είναι 150-300 μέτρα. Η ηλικία σχηματισμού είναι η ύστερη Κρητιδική (Κονιάιο - Μασστρίχτιο). Υπάρχουν 4 μέλη:

4α «Ροζ ασβεστόλιθος»: Πρόκειται για λεπτές πλάκες από ροζ ασβεστόλιθο, ως επί το πλείστον μαργαικούς απαλλαγμένους από απολιθώματα, με ενδιαστρώσεις από κόκκινο πηλίτη και πυριτικά στρώματα και κονδύλους.

4β «Ασβεστόλιθος με Globotruncanes»: Αυτός είναι ο πιο πλούσιος σε απολιθώματα ορίζοντας. Αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα ασβεστόλιθου με ένα ενδιαστρώσεις σκουρόχρωμων πηλιτικών και πυριτικών στρωμάτων. Η αφθονία των globotruncanes δείχνει την ηλικία ανώτατου Σαντωνίου – βάσης Σκαμπανίου.

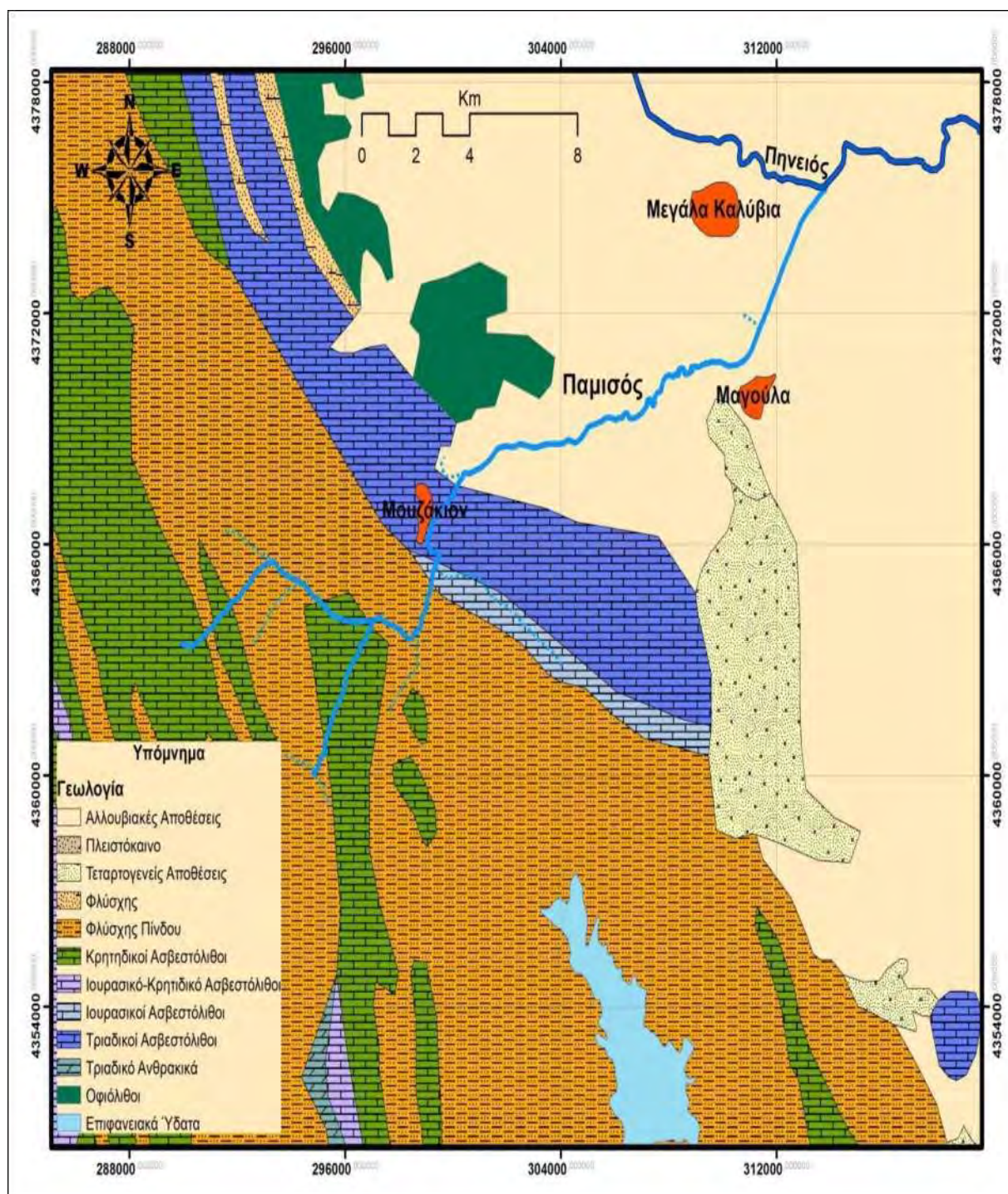
4γ «Γκρι ασβεστόλιθοι»: Αυτό το μέλος περιέχει ανοιχτό γκρι ασβεστόλιθο. Το κάτω στρώμα μπορεί επίσης να περιέχει κονδύλους ή στρώματα από πυριτόλιθους.

4δ «Μεταβατικοί ορίζοντες»: Είναι η μετάβαση, η οποία γίνεται σιγά σιγά, από τις κόκκινες μάργες με ακτινόζωα σε τυπικούς πλακώδεις ασβεστόλιθους.

5. Φλύσχης: Έχει πάχος 1000-1500 ή 4000 μέτρα και αποτελείται από εναλλασσόμενο ψαμμίτη, πηλτικό με ενδιάμεσο στρώμα αργιλώδους ασβεστόλιθου. Στο πάνω μέρος, ο «άγριος φλύσχης» βρίσκεται σε πολλές περιοχές και περιέχει μεγάλο όγκο ολισθόλιθου. Αυτός αποτελείται από ηφαιστειακά πετρώματα, νηρητικό ασβεστόλιθο και ραδιολαρίτη μέσα σε πράσινους και κόκκινους αργιλίτες. Ηλικιακά ο φλύσχης, ηώκαινο γενικά, εμφανίζει έντονο ετεροχρονισμό στα θεμέλιά του. Η ηλικία της βάσης του φλύσχη εκτείνεται από το ανώτερο τμήμα του Μαιστριχτίου στα βόρεια μέχρι το όριο μεταξύ του Κρητιδικού και του Παλαιόκαινου στο νότιο τμήμα της ηπειρωτικής Ελλάδας και του κεντρικού ή όψιμου Παλαιόκαινου στη βόρεια Πελοπόννησο.

6. Μεταβατικά προς φλύσχη στρώματα: Τα στρώματα σε αυτό το σχηματισμό παρέχουν μια σταδιακή μετάβαση στρωματοποίησης από το προηγούμενο στο επόμενο σχηματισμό. Η πρώτη βάση του στρώματος ψαμμίτη ορίζεται ως βάση του σχηματισμού και η τελευταία στρώση ασβεστόλιθου ορίζεται ως η οροφή. Οι ηλικίες του κυμαίνονται από το Μαστριχτιο έως το παλαιόκαινο. Εμφανίζει έντονο ετεροχρονισμό τόσο στη βάση όσο και στην οροφή του.

Το ανθρακικό υπόβαθρο της Πίνδου από το Τριαδικό έως την ιζηματογένεση του φλύσχη που κυριαρχεί στην περιοχή ενδιαφέροντος, απεικονίζεται στο παραπάνω Σχήμα 2.17. Ο οφιόλιθος εμφανίζεται στο βόρειο τμήμα, σε αντίθεση με τον Πάμισο που συναντά τον ποταμό Πηνειό στις σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις.

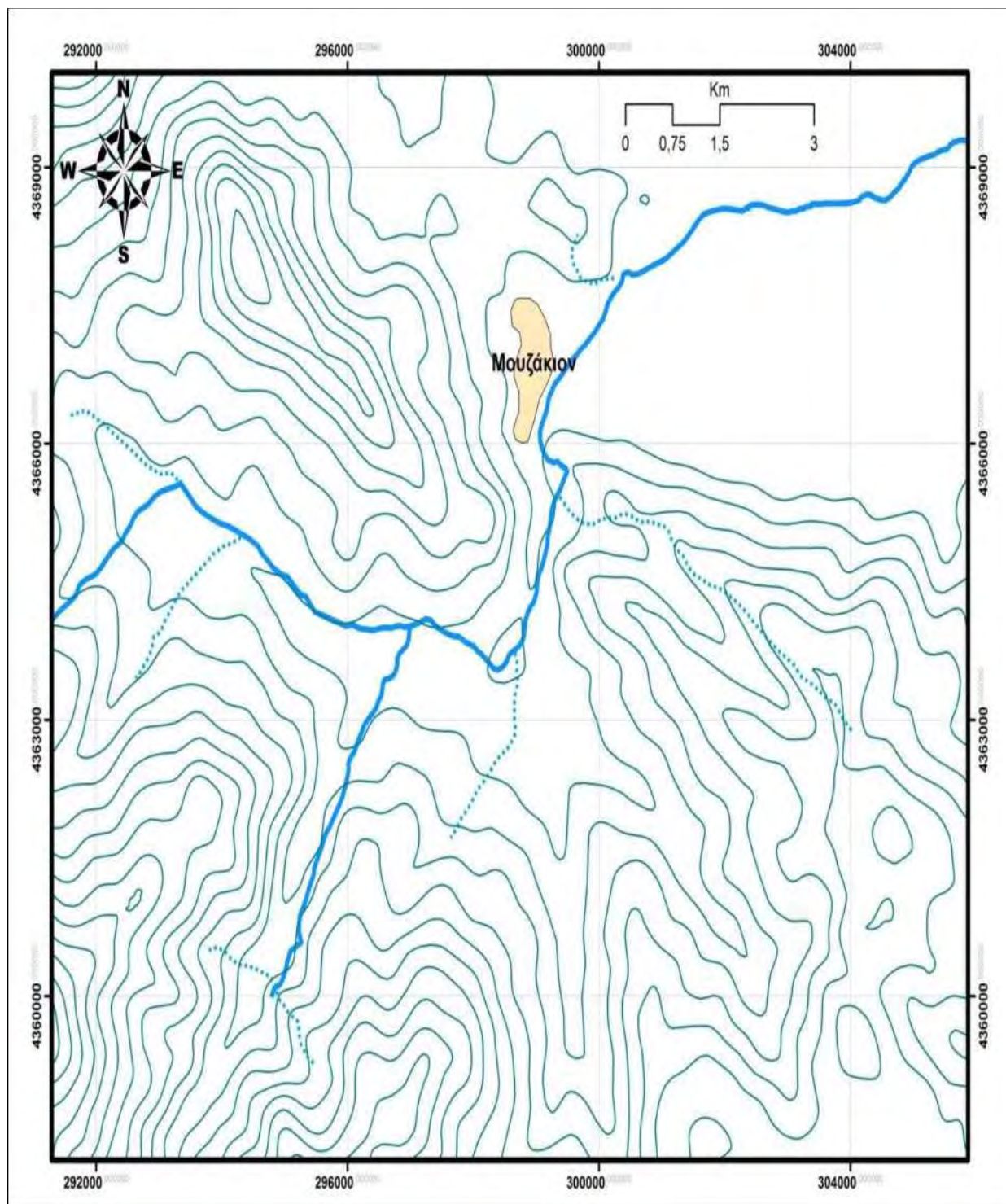


Σχήμα 2.17 Ο γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του ποταμού Πάμισου.

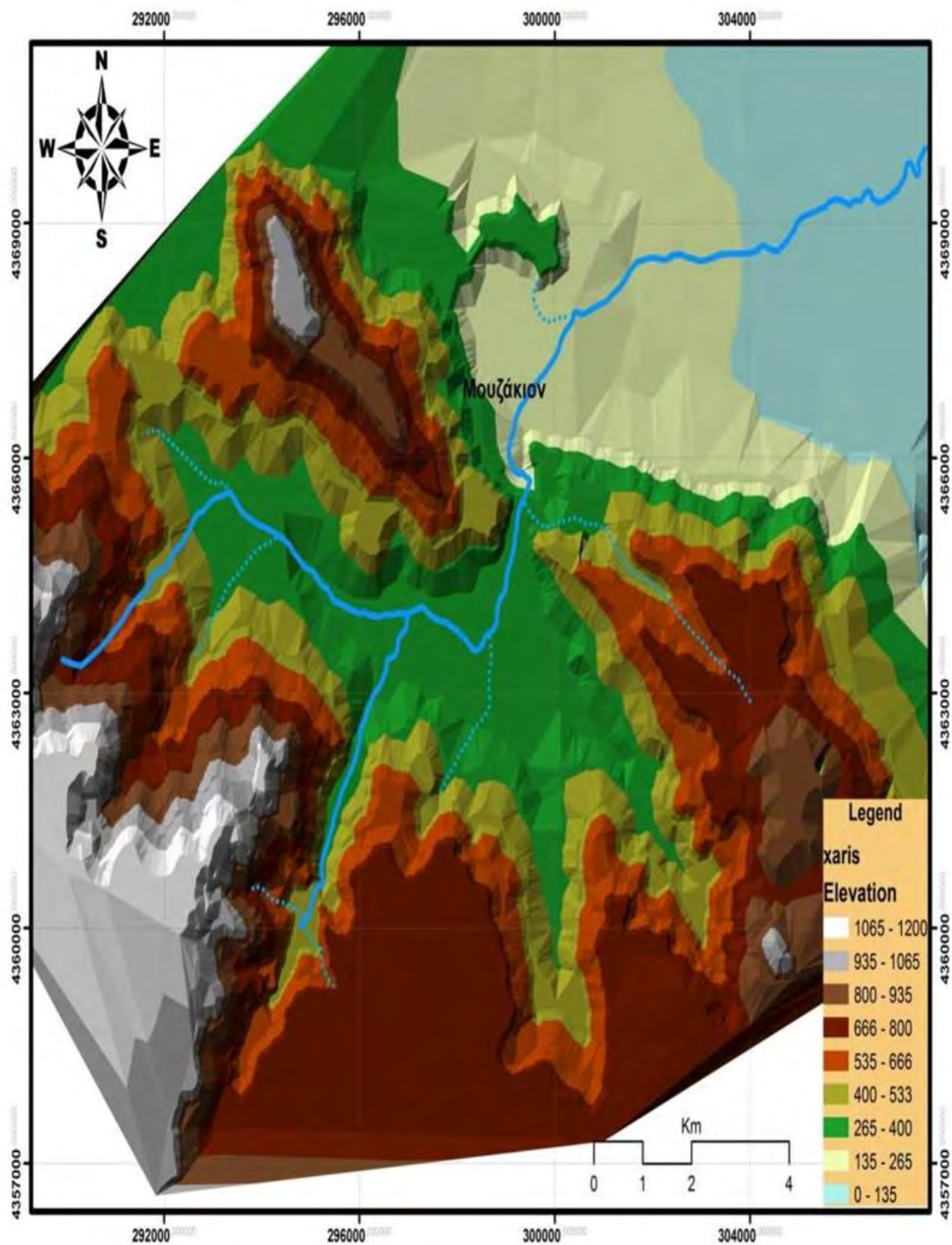
2.3.3 Γεωμορφολογία

Γίνεται φανερό από τα ακόλουθα σχήματα πως, η λεκάνη του Πάμισου, είναι γνωστή για τις μεγάλες κλίσεις στο νότιο και νοτιοανατολικό τμήμα της, στην οροσειρά της Πίνδου και τα μεγάλα υψόμετρα, καθώς και από το ομαλό ανάγλυφο και τις ήπιες κλίσεις στον Θεσσαλικό κάμπο. Στα παρακάτω

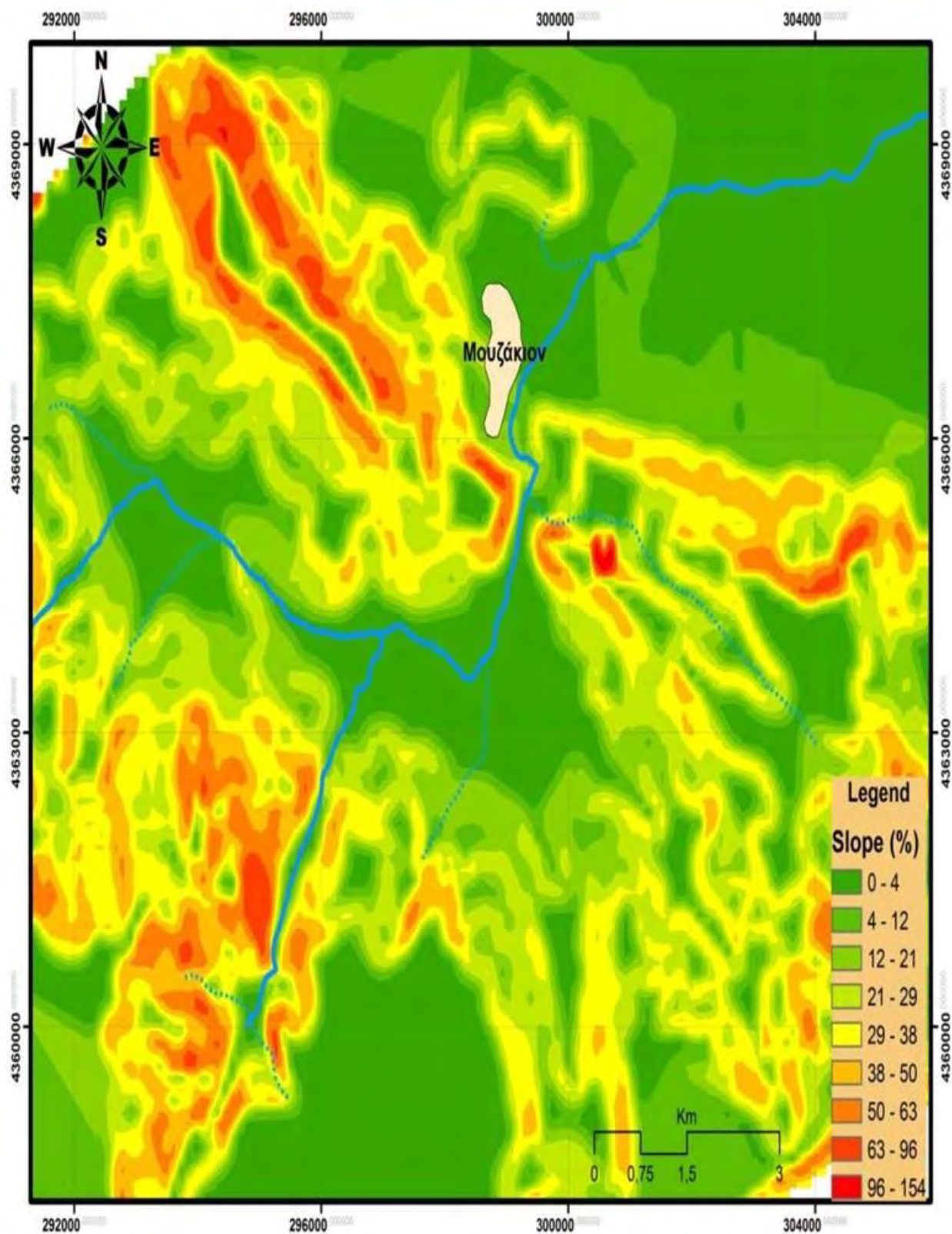
Σχήματα 2.18, 2.19 και 2.20 παρατηρούνται τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης,.



Σχήμα 2.18 Γεωμορφολογικός χάρτης λεκάνης Πάμισου (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, ΓΥΣ).



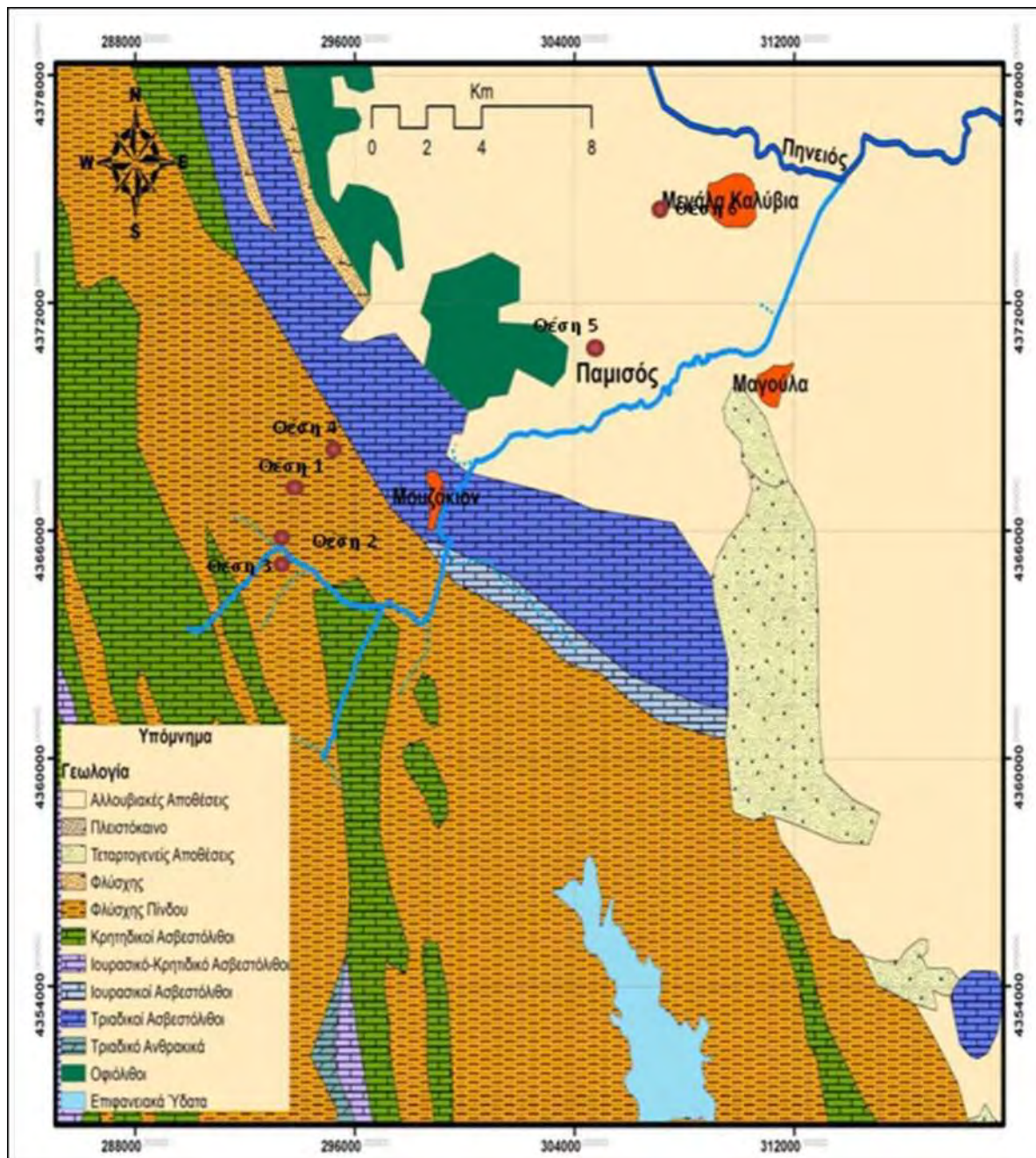
Σχήμα 2.19 Γεωμορφολογικός χάρτης Λεκάνης Πάμισου.



Σχήμα 2.20 Χάρτης τοπογραφικών κλίσεων.

2.3.4 Υδροχημεία - Φυσικοχημικές παράμετροι

Πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια του Σχέδιου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών για το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας (GR08) επιτόπιες (in site) μετρήσεις σε κάθε σημείο των φυσικοχημικών παραμέτρων (Σχήμα 2.21), με την χρησιμοποίηση πολυπαραμετρικού ηλεκτροδίου της εταιρείας YSI, όπως καταγράφεται στον Πίνακα 2.5 που ακολουθεί.



Σχήμα 2.21 Θέσεις Δειγματοληψίας επιφανειακού ύδατος κατά μήκος του Πάμισου και των παραποτάμων του.

Η συλλογή των δειγμάτων έγινε σε φιάλες πολυαιθυλενίου. Δύο φιάλες χρησιμοποιήθηκαν για την αποθήκευση του κάθε δείγματος. Στην πρώτη φιάλη, η οποία είχε όγκο 1L, το δείγμα αποθηκεύτηκε χωρίς να επεξεργαστεί. Στην δεύτερη φιάλη, η οποία είχε όγκο 100ml, το δείγμα διυλίστηκε αμέσως με φίλτρα μεμβράνης 0.45μm και οξινίστηκε με 0.5ml υπερκάθαρου νιτρικού οξέος (HNO₃). Οι ευμετάβλητες φυσικοχημικές παράμετροι (pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, θερμοκρασία) υπολογίστηκαν κατευθείαν.

Ειδικότερα, οι μετρήσεις που καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα είναι οι εξής: το pH κυμαίνεται από 8,17 - 8,6 με μέση τιμή 8,42. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (E.C.) εμφανίζει μέσο όρο στα 389,58 μS/cm με αντίστοιχη μικρότερη τιμή της στα 163,2 μS/cm στην Θέση 3 και την μεγαλύτερη στα 559 μS/cm στην Θέση 6. Όσον αφορά την διακύμανση της θερμοκρασίας (T), αυτή κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 11,2° C και 14,1° C με μέση τιμή 12,7° C.

Πίνακας 2. 5 Φυσικοχημικές Παράμετροι.

Σημεία Δειγματοληψίας	T (oC)	PH	E.C. (25 oC) ^S/cm)	COD (mg/l)	Αλκαλικότητα (mg/l CaCO ₃)
Θέση 1 (προς λίμνη Πλαστήρα)	11,4	8,47	420,7	15,0	148
Θέση 2 (Μουζάκι)	13,1	8,45	324,8	8	151
Θέση 3	13,9	8,6	163,2	11	109
Θέση 4	12,5	8,34	416,2		161
Θέση 5 (Μέγα Ρέμα)	11,2	8,5	453,6	9	242
Θέση 6 (Μπαμπαλόμα- Μαρούλα)	14,1	8,17	559		275
ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	12,7	8,42	389,58		

Έπειτα από κάθε δειγματοληψία, το εργαστήριο Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας, του Πανεπιστημίου Πατρών, δεχόταν όλα τα δείγματα, εφαρμόζοντας, στη συνέχεια, εργαστηριακές μετρήσεις για τον προσδιορισμό των βασικών κατιόντων και ανιόντων των δειγμάτων.

Χρησιμοποιώντας το φασματοφωτόμετρο Hach DR/4000 παρατηρήθηκαν ιόντα: νιτρώδη (NO₂⁻), νιτρικά (NO₃⁻), αμμωνιακά (NH₄⁺), φωσφορικά (PO₄³⁻) θειικά (SO₄²⁻) και του φθορίου (F⁻)

με τις προτεινόμενες, από την κατασκευάστρια εταιρία, μεθόδους. Τα ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) και χλωρίου (Cl^-) παρατηρήθηκαν με τη μέθοδο της τιτλοδότησης της εταιρίας Hach. Τέλος, τα κατιόντα νατρίου (Na^+), μαγνησίου (Mg^{2+}) και καλίου (K^+) παρατηρήθηκαν ακολουθώντας την μέθοδο της ατομικής απορρόφησης σε φασματοφωτόμετρο GBC AVANTA.

Στους παρακάτω πίνακες 2.6 και 2.7 είναι καταγεγραμμένες οι τιμές των βασικών ανιόντων και κατιόντων. Όσον αφορά τα κατιόντα του Νατρίου (Na^+) εμφανίζουν την μεγαλύτερη τιμή 8,48 mg/l (Θέση 1), την μικρότερη 6,3 mg/l (Θέση 2) με μέσο όρο 7,45 mg/l ενώ οι αντίστοιχες τιμές για το ασβέστιο (Ca^{+}) διακυμαίνονται μεταξύ 57,25 mg/l και 100,1 mg/l, με μέση τιμή 77,2 mg/l.

Πίνακας 2.6 Βασικά Κατιόντα

Κατιόντα	Ca + mg/l	Mg 2+ mg/l	Na+ mg/l	K+ mg/l
Θέση 1 (προς λίμνη Πλαστήρα)	74.03	6.81	8.48	1.27
Θέση 2 (Μουζάκι)	70.33	5.4	6.3	1.1
Θέση 3	57.25	4.96	7.18	0.9
Θέση 4	73.25	5.74	7.68	0.96
Θέση 5 (Μέγα Ρέμα)	88.23	6.3	7.48	0.55
Θέση 6 (Μπαμπαλόμα-Μαγούλα)	100.13	7.72	7.62	1.29

Αντιθέτως, καταγράφοντας τις τιμές των ανιόντων, παρατηρούμε ότι η μέση τιμή του όξινου ανθρακικού (HCO_3^-) είναι 220,82 mg/l με ακραίες τιμές 335,50 mg/l (Θέση 6) και 132,98 mg/l (Θέση 3). Για το θεικό (SO_4^{2-}), η ελάχιστη τιμή των 19,1 mg/l παρουσιάζεται στην Θέση 5 η αντίστοιχη μέγιστη τιμή στα 47,9 mg/l εντοπίζεται στην Θέση 1 ενώ έχουμε μια μέση τιμή στα 32 mg/l. Τέλος, οι τιμές του Cl κυμαίνονται από 4,2 mg/l στην Θέση 2 έως 7,8 mg/l στην Θέση 5, με μέση τιμή στα 5,4 mg/l.

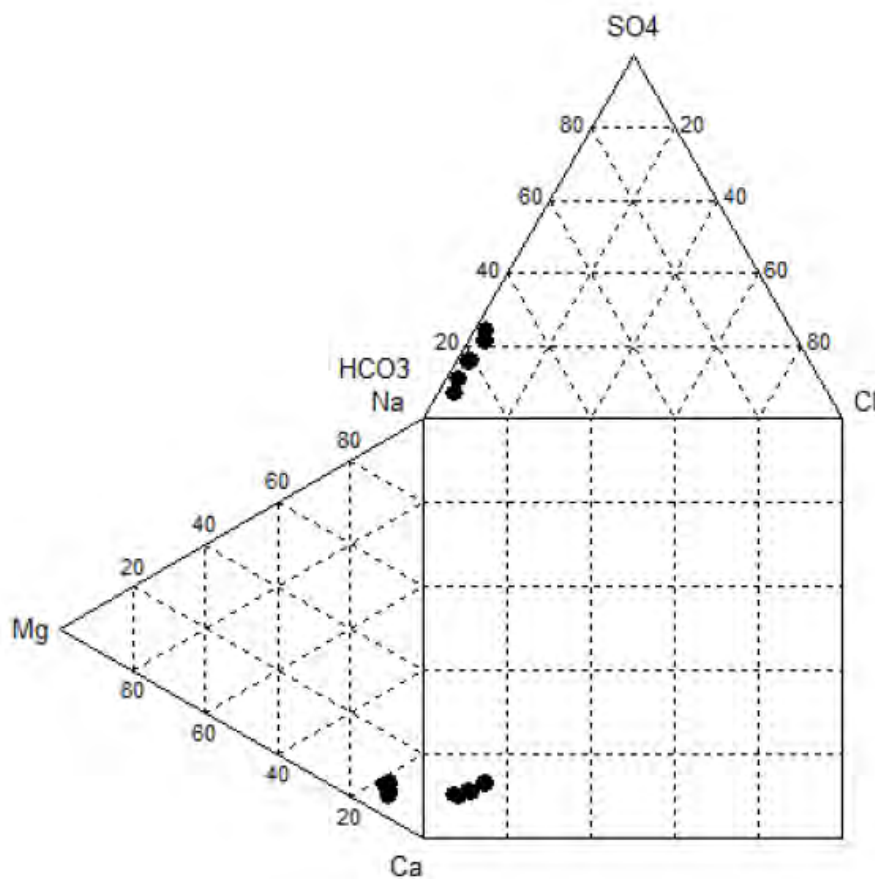
Πίνακας 2.7 Βασικά ανιόντα

Ανιόντα	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	NO ₂ ⁻ mg/l	NH ₄ ⁺ mg/l	PO ₄ ³⁻ mg/l	F ⁻ mg/l
Θέση 1 (προς λίμνη Πλαστήρα)	180.56	47.9	4.9	8	0.009	0.107	0.149	0.15
Θέση 2 (Μουζάκι)	184.22	29.7	4.2	1	0.005	0.037	0.051	0.06
Θέση 3	132.98	30.1	4.4	2	0.0029	0.004	0.024	0.16
Θέση 4	196.42	30.3	4.8	4	0.0207	0.018	0.04	0.08
Θέση 5 (Μέγα Ρέμα)	298.24	19.1	7.8	11	0.0012	0.154	0.05	0.11
Θέση 6 (Μπαμπαλόμα - Μαγούλα)	335.50	34.9	6.3	5	0.051	0.128	0.172	0.05

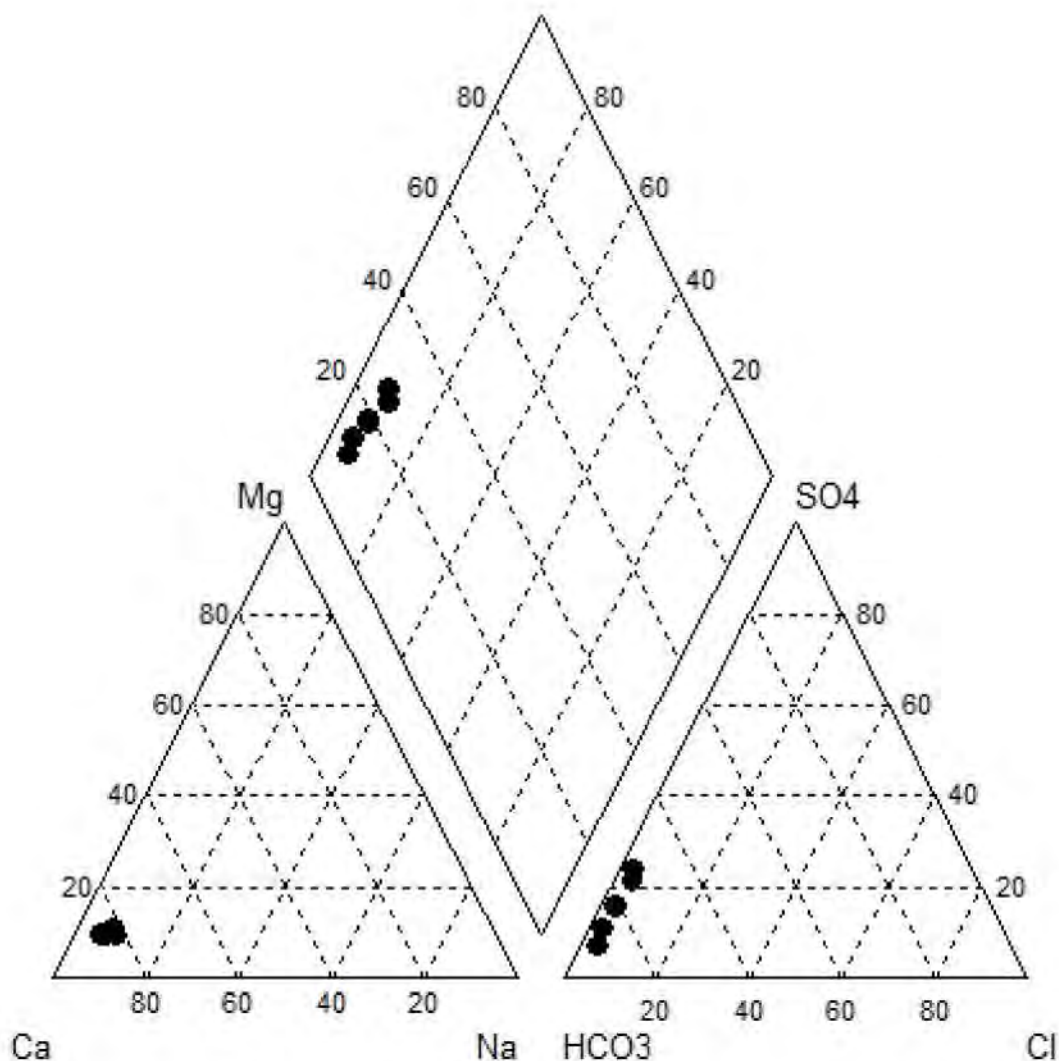
Διαγράμματα Piper - Durov

Το λογισμικό πρόγραμμα AquaChem χρησιμοποιήθηκε στο «Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (GR08)» για την κατασκευή των διαγραμμάτων Piper και Durov (Σχήματα 2.22 και 2.23)), με σκοπό την επεξεργασία των συμπερασμάτων των χημικών αναλύσεων. Τα διαγράμματα αυτά εμφανίζονται συνήθως στην βιβλιογραφία και καθιστούν εφικτή τη γρήγορη κατηγοριοποίηση δειγμάτων του υπόγειου ύδατος σε διαφόρους τύπους.

Εισάγοντας τις τιμές των συγκεντρώσεων των βασικών ιόντων στα διαγράμματα Piper και Durov, εξάγεται το συμπέρασμα ότι στα επιφανειακά νερά της υπό εξέταση περιοχής κυριαρχούν ως βασική χημική σύνθεση το ασβέστιο και τα όξινα ανθρακικά και ως δευτερεύουσα το νάτριο και το μαγνήσιο. Οπότε, τα νερά χαρακτηρίζονται ως γαιοαλκαλικά - οξυανθρακικά, με χημικό τύπο: $\text{Ca} - \text{HCO}_3$. Η παρουσία και η διάλυση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων, που κυριαρχούν στην περιοχή, μπορεί να εξηγήσει τον παραπάνω χαρακτηρισμό.



Σχήμα 2.22 Διάγραμμα Durov.



Σχήμα 2.23 Διάγραμμα Piper.

2.3.5 Στοιχεία ιστορικής πλημμύρας

Στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας οι βροχοπτώσεις αρχίζουν συνήθως τον Οκτώβριο και διαρκούν μέχρι τον Απρίλιο, ενώ τα τελευταία χρόνια έχουν σημειωθεί πάνω από εκατό έντονα πλημμυρικά φαινόμενα. Αιτία των πλημμυρών, στο γεωγραφικό αυτό διαμέρισμα, αποτελούν οι έντονες βροχοπτώσεις σε αντίθεση με τη νότια Ελλάδα όπου κυριαρχούν οι καταιγίδες (Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας 2018), σε συνδυασμό με τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

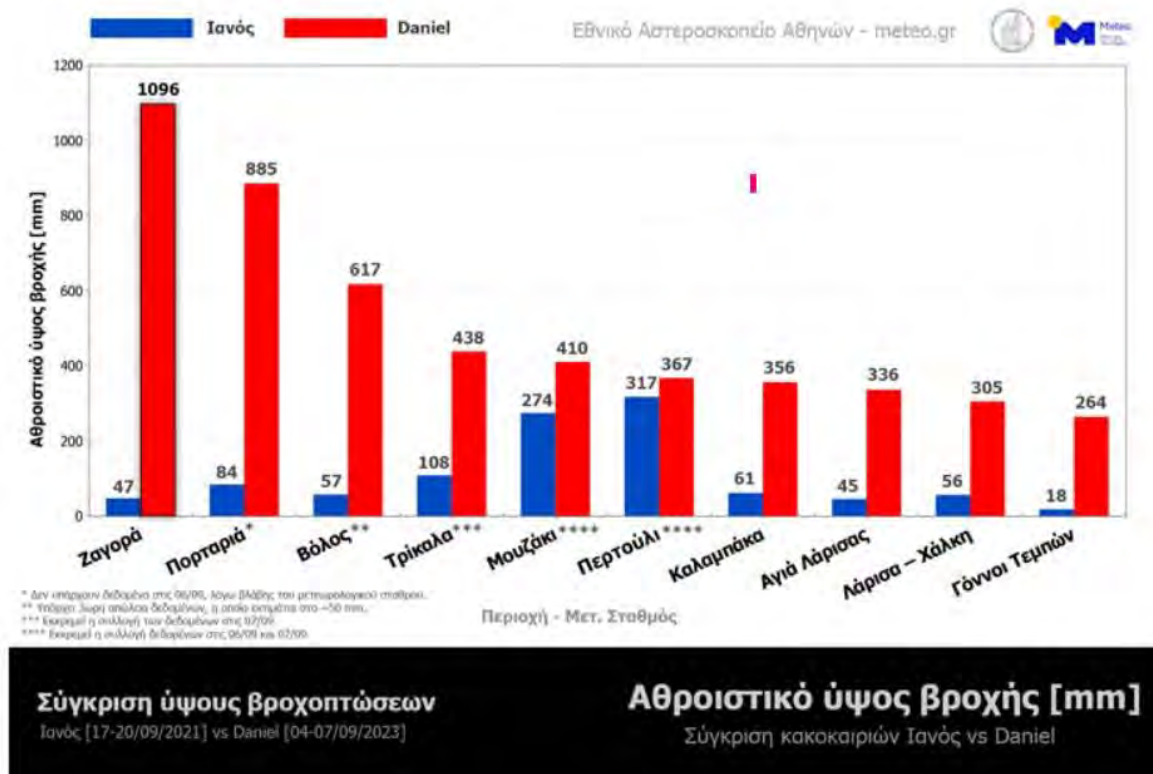
Οι συνεχείς κι έντονες βροχοπτώσεις, σε συνδυασμό με την εκδήλωση καταιγίδων, ενώ πιο σπάνια η γρήγορη ρευστοποίηση του χιονιού, προκαλούν έντονα πλημμυρικά φαινόμενα. Κυρίαρχο ρόλο στις πλημμύρες διαδραματίζουν ο Πηνειός ποταμός με τους κύριους παραποτάμους του. Ωστόσο πλημμυρικά φαινόμενα έχουν καταγραφεί και σε μικρότερους παραποτάμους του Πηνειού, όπως ο Πάμισος ποταμός που εξετάζεται στην παρούσα εργασία.

Να σημειωθεί, ότι η περιοχή του νομού Καρδίτσας έχει πληγεί σε σημαντικά από πλημμύρες και έχουν καταγραφεί σειρά πλημμυρικών επεισοδίων, συμπεριλαμβανομένης και της λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου. Τα πλημμυρικά επεισόδια των τελευταίων είκοσι δύο ετών σύμφωνα με τη μετεωρολογική υπηρεσία, καταδεικνύουν την ανάγκη κατανόησης της υδρολογικής και υδραυλικής συμπεριφοράς της ευρύτερης λεκάνης απορροής του Πηνειού. Τα κυριότερα είναι τα εξής:

- 6/9/2023 Κακοκαιρία “Daniel”

Σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης από την Πολιτική Προστασία, κηρύχθηκαν στο σύνολο τους οι Π.Ε. Μαγνησίας, Σποράδων, Καρδίτσας, Τρικάλων καθώς και οι Δήμοι Αγιάς, Κιλελέρ, Φαρσάλων της Π.Ε. Λάρισας, στις **6/9/2023** μετά την εκδήλωση του μεσογειακού κυκλώνα “Daniel”, με χαρακτηριστικό τα πολύ μεγάλα ύψη βροχής σε σχετικά σύντομο χρόνο, με επακόλουθες μεγάλης έκτασης πλημμύρες και καταστροφές σε υποδομές και ιδιωτικές περιουσίες.

Στην περιοχή μελέτης που διατρέχει ο Πάμισος ποταμός, ωστόσο η σφοδρότητα του φαινομένου “Daniel” ήταν ηπιότερη σε σχέση με περιοχές του Πηλίου και του Βόλου, και ίδιας τάξης μεγέθους με αυτήν του μεσογειακού κυκλώνα «Ιανός» καθώς ο κύρια δομή του “Daniel” κινήθηκε και εκδηλώθηκε πιο ανατολικά. Ενδεικτικά δίνονται συγκριτικά τα ολικά ύψη βροχής σε διάφορες περιοχές, συμπεριλαμβανομένου του Μουζακίου στην Εικόνα.



Σχήμα 2.24 Σύγκριση ύψους βροχοπτώσεων των κακοκαιριών «Ιανού» και “Daniel” (mm).

Παρά τις επεμβάσεις στην θωράκιση των πρανών της υφιστάμενης κοίτης του Πάμισου στο Μουζάκι μετά τις διαβρώσεις που παρατηρήθηκαν κατά τον «Ιανό», επαναλήφθηκαν παρόμοια φαινόμενα (Σχήμα 2.25). Το γεγονός αυτό κατέδειξε τον εσφαλμένο πολεοδομικό σχεδιασμό, που ενέταξε στο πολεοδομικό δίκτυο μπαζωμένα τμήματα της κοίτης (Σχήμα 2.26).

Επιπρόσθετα στην πεδινή έκταση που διατρέχει ο ποταμός Πάμισος, παρατηρήθηκαν πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή των οικισμών Μεγάλα Καλύβια, Αγναντερό όπως και κατά την περίπτωση του «Ιανού», και σε μικρότερο βαθμό στον οικισμό της Μαγούλας.



Σχήμα 2.25 Διαβρώσεις στην βόρεια όχθη του ποταμού Πάμισου και άποψη γυμναστηρίου που κατέρρευσε, Μουζάκι Καρδίτσας μετά το πέρασμα της κακοκαιρίας “Daniel”.



Σχήμα 2.26 Πολεοδομικός ιστός σε σχέση με τα όρια της κοίτης του ποταμού Πάμισου πριν την ανάπτυξη του οικισμού Μουζάκι.

Χαρακτηριστικά, στις 6/9/2023, διακόπηκε η κυκλοφορία στη γέφυρα του Μουζακίου, καθώς κρίθηκε επικίνδυνη προς υπερχειλίση η ροή του ποταμού Πάμισου, στο ύψος του κόμβου για την Αργιθέα.

Στη συνέχεια παρατίθενται χαρακτηριστικά πρόσφατα πλημμυρικά συμβάντα στην ευρύτερη περιοχή μελέτης συμπεριλαμβανομένης της λεκάνης απορροής του Πάμισου ποταμού, η συχνότητα των οποίων καταδεικνύει την ανάγκη κατάρτισης σχεδίων αντιπλημμυρικής προστασίας.

- 11/1/2022: κατά την κακοκαιρία «Διομήδης» πλημμύρισε η περιοχή της Καρδίτσας, και ειδικότερα στην περιοχή Κοσκινά της Καρδίτσας, έσπασε το φράγμα του ποταμού Καλέντζη απειλώντας παρακείμενους οικισμούς. Η υπερχειλίση του ποταμού Καλέντζη έπληξε και το δήμο Μουζακίου. Πλημμύρισαν αρκετές αγροτικές εκτάσεις και διεκόπει η κυκλοφορία σε οδικούς άξονες εξαιτίας της ανόδου της στάθμης των ποταμών.



Σχήμα 2.27 Άποψη πλημμύρας από την κακοκαιρία «Διομήδης».

- 17/9/2020: Ο κυκλώνας «Ιανός» ξέσπασε με μεγάλη ένταση στη χώρα μας τον Σεπτέμβριο του 2020. Προκάλεσε κατολισθήσεις, χειμάρρους και τεράστιες καταστροφές, ενώ αποτελεί την πιο ισχυρή καταγραφή Μεσογειακού κυκλώνα από τα μέσα του 20ου αιώνα. Ο Ιανός εξελίχθηκε από τις 15/9 στον Κόλπο της Σύρτης, πέρασε πάνω από τα Επτάνησα στις 17-18/9, καταλήγοντας στις ακτές της Αιγύπτου στις 21/9. Ιδιαίτερα καταστροφικές, ήταν οι πλημμύρες στη Θεσσαλία, με μέγιστη καταγραφή ύψους βροχής τα 317 mm στο Περτούλι. Πιο συγκεκριμένα, ο μεσογειακός κυκλώνας

«Ιανός» προκάλεσε καταστροφικές πλημμύρες στην περιοχή της Καρδίτσας αλλά και στο δήμο Μουζακίου. Χαρακτηριστική ήταν η κατάρρευση της ιστορικής γέφυρας «Μπαλάνου».

Αρκετά ακόμα μικρότερης έντασης πλημμυρικά συμβάντα έχουν καταγραφεί στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (βλ. Πετρίτσης 2022).

2.4 Συμπεράσματα

- Ο Πάμισος αποτελεί κομμάτι του νότιου τμήματος του Υδατικού Διαμερίσματος της Θεσσαλίας, ευδοκιμεί στις νοτιοανατολικές πλαγιές της οροσειράς της Πίνδου, από όπου πηγάζει και επεκτείνεται ανατολικά έως τα όρια της κωμόπολης του Μουζακίου.
- Κατέχει έκταση λεκάνης απορροής 148,6 km² και μήκος ροής 60 km. Η λεκάνη απορροής του είναι μέρος της ευρύτερης υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πηνειού, η οποία αποτελεί την κύρια υδρολογική λεκάνη του συγκεκριμένου υδατικού διαμερίσματος, με συνολική έκταση 9.500 km².
- Η λεκάνη απορροής του Πάμισου ανήκει στην γεωτεκτονική ζώνη της Πίνδου (ή ζώνη Ωλονού - Πίνδου) ενώ στην ευρύτερη περιοχή όπου διαρρέει ο ποταμός, ειδικότερα μεταξύ των περιοχών Μουζακίου και Πύλης, επεκτείνεται η γεωλογική ενότητα της Δυτικής Θεσσαλίας.
- Η λεκάνη του Πάμισου, είναι γνωστή για τις απότομες κλίσεις στο νότιο και νοτιοανατολικό τμήμα της, στην οροσειρά της Πίνδου και τα μεγάλα υψόμετρα (έως και 1000+ m), καθώς και από το ομαλό ανάγλυφο και τις ήπιες κλίσεις, κατά την έξοδο του ποταμού στον Κάμπο της Θεσσαλίας.
- Μέσα από τις αναλύσεις των δειγμάτων επιφανειακού νερού, τα οποία προήλθαν από διαφορετικά σημεία κατά μήκος του ποταμού, προκύπτει πως στα νερά κυριαρχούν τα όξινα ανθρακικά και το ασβέστιο. Επομένως, πρόκειται για γαιοαλκαλικά - οξυανθρακικά ύδατα τα οποία κατέχουν υψηλό ποσοστό αλκαλίων.
- Με βάση το ιστορικό πλημμυρών της περιοχής που διατρέχει ο Πάμισος, ιδίως στο πεδινό τμήμα, υπάρχει ο κίνδυνος πλημμυρικών επεισοδίων και κατά συνέπεια απαιτείται σειρά παρεμβάσεων για την πρόληψή τους.

Κεφάλαιο 3 Προσομοίωση λεκάνης Πάμισου ποταμού στο λογισμικό Hec-Ras

3.1 Το λογισμικό HEC-RAS

Το HEC-RAS (River Analysis System) είναι ένα λογισμικό υδραυλικής ανάλυσης που αναπτύχθηκε από το Κέντρο Τεχνικής Υδρολογίας (Hydrologic Engineering Center -HEC) του Ινστιτούτου Υδατικών Πόρων του Σώματος Μηχανικών του Στρατού των ΗΠΑ. Το γραφικό περιβάλλον του λογισμικού, στο οποίο προσομοιώνεται ο υπό εξέταση ποταμός, παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να αλληλεπιδρά με αυτό. Μετά την ταυτόχρονη εκτέλεση κατάλληλων υπολογισμών, από το πρόγραμμα, προκύπτει το προφίλ της στάθμης του νερού υπό διάφορες συνθήκες σχετικές με τον τύπο της ροής. Πιο συγκεκριμένα το πρόγραμμα δύναται να επιλύσει περιπτώσεις μόνιμης ή μη μόνιμης ροής, μονοδιάστατης ροής και βαθμιαίας μεταβαλλόμενης ροής, για τις περιπτώσεις υποκρίσιμης, υπερκρίσιμης ή μικτής ροής.

Για τους υπολογισμούς γίνεται θεώρηση μονοδιάστατης ροής. Για την ορθή προσομοίωση του υδατορέματος υπάρχει ο περιορισμός οι κατά μήκος κλίσεις της κοίτης του να μην υπερβαίνουν το 10%. Η υπόθεση ότι η ροή μεταβάλλεται βαθμιαία παύει να ισχύει στην περίπτωση που λαμβάνει χώρα απότομη αλλαγή της ροής λόγω της ύπαρξης κάποιου τεχνικού έργου (π.χ. γέφυρα)

Τα αρχεία που περιέχουν δεδομένα σχετικά με ένα ποτάμιο σύστημα αποτελούν για το λογισμικό ένα έργο (project).

Τα δεδομένα εισόδου για την συγκρότηση ενός έργου (project) είναι τα παρακάτω:

1. Τοπογραφικά στοιχεία
2. Γεωμετρικά στοιχεία
3. Στοιχεία υδρολογίας για μόνιμη ή μόνιμη ροή
4. Τεχνικά έργα στην περιοχή μελέτης (γέφυρες, υπερχειλιστές κλπ)

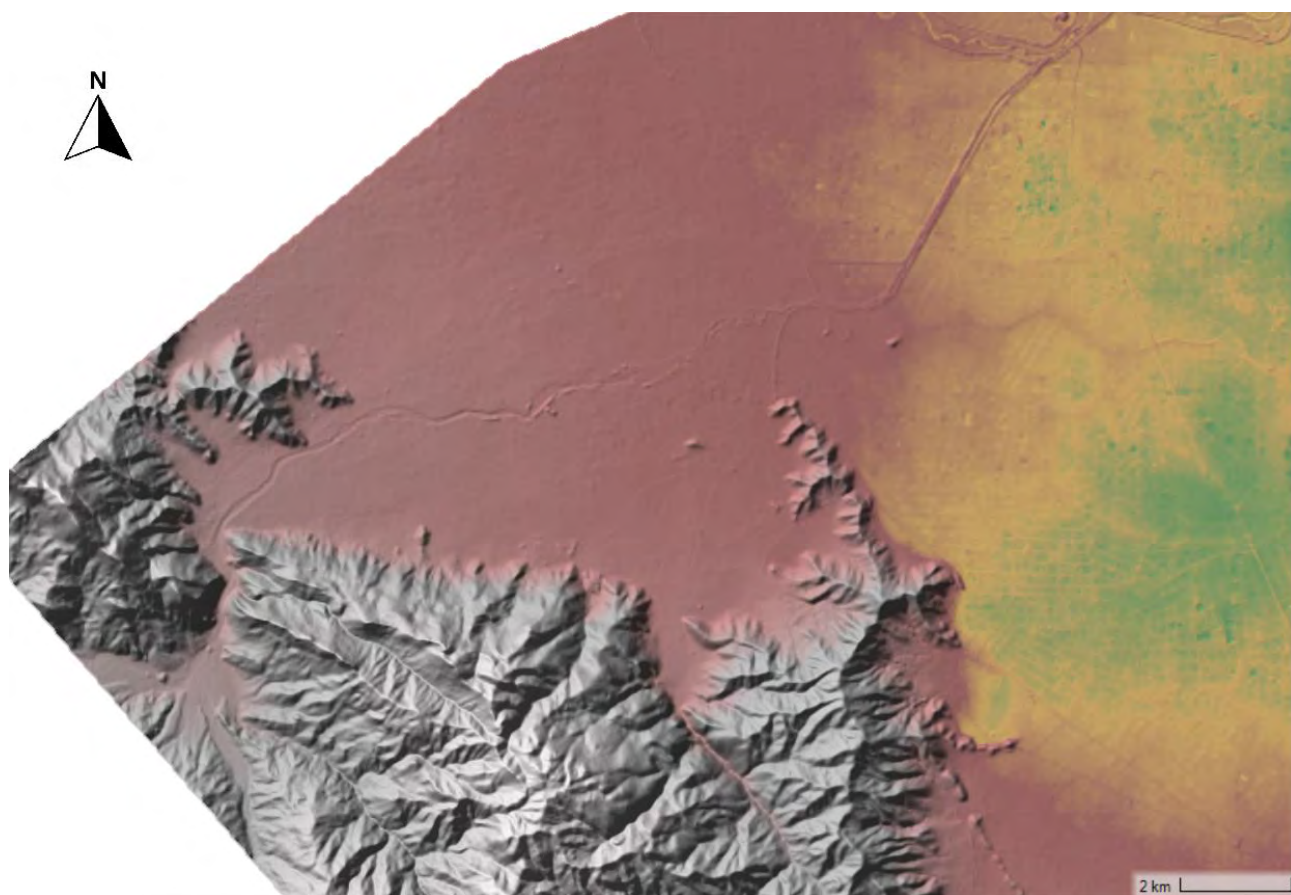
Η υπολογιστική διαδικασία βασίζεται στην εξίσωση διατήρησης της ενέργειας για τον υπολογισμό στάθμης ελεύθερης επιφάνειας, χρησιμοποιώντας την προσεγγιστική μέθοδο του σταθερού βήματος (standard step method), συνδυαζόμενη με την εξίσωση του Manning με στόχο την εκτίμηση της κλίσης της γραμμής ενέργειας (απώλειες λόγω τριβής). Επιλύεται η διαφορική μορφή της εξίσωσης ενέργειας μεταξύ διαδοχικών διατομών και υπολογίζονται οι απώλειες λόγω εμποδίων στη ροή, όπως γέφυρες, οχετοί, καθώς και λόγω διευρύνσεων και στενώσεων κατά μήκος ενός υδατορέματος. Αν το φορτίο της κινητικής ενέργειας κατάντη είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο στα ανάντη γίνεται η θεώρηση

στένωσης από το λογισμικό, και αντίστοιχα, όταν το φορτίο της κινητικής ενέργειας ανάντη είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο κατόντη, γίνεται η θεώρηση διεύρυνσης. Η περιγραφή του αριθμητικού μοντέλου και των σχετικών εξισώσεων αποτυπώνεται λεπτομερώς στα τεχνικά εγχειρίδια από τον Brunner (2021 and 2022)

3.2 Πρωτογενή Δεδομένα

3.2.1 Τοπογραφικά στοιχεία

Βασικό δεδομένο για την δημιουργία ενός γεωμετρικού μοντέλου για την υδραυλική προσομοίωσή του στο HEC-RAS είναι ένα λεπτομερές Ψηφιακό Μοντέλου Εδάφους (ΨΜΕ/DEM), που απεικονίζει τα υψόμετρα και τις ισοϋψείς μιας περιοχής. Συγκεκριμένα αξιοποιήθηκε ΨΜΕ από τη βάση δεδομένων της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε., το οποίο καλύπτει όλη την υπό διερεύνηση περιοχή μελέτης (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους από τη βάση δεδομένων της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε., το οποίο καλύπτει την υπό διερεύνηση λεκάνη απορροής.

Ειδικότερα, το διαθέσιμο ΨΜΕ (DEM) που είναι αρχείο μορφής raster έχει μέγεθος εικονοστοιχείων 5 m x 5 m και ακολουθεί τη διανομή ΕΓΣΑ87 κλίμακας 1:5000, με γεωμετρική ακρίβεια $RMSE_z \leq 2.00$ m και απόλυτη ακρίβεια ≤ 3.92 m για επίπεδο εμπιστοσύνης 95 %.

Το εν λόγω ΨΜΕ, συνοδεύεται από Αεροφωτογραφία (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2 Απόσπασμα αεροφωτογραφίας που συνοδεύει το ΨΜΕ της περιοχής μελέτης.

3.2.2 Στοιχεία γεφυρών

Κατά μήκος του Πάμισου ποταμού έχουν αναπτυχθεί οικισμοί και υπάρχει έντονη γεωργική δραστηριότητα, με την εκμετάλλευση της πεδινής περιοχής από το χωριό Μουζάκι έως την εκβολή στον Πηνειό ποταμό. Λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας προκύπτουν ανάγκες διέλευσης από την μία όχθη του Πάμισου ποταμού στην άλλη, οι οποίες εξυπηρετούνται από μία σειρά γεφυρών που έχουν κατασκευαστεί κατά μήκος του. Εντοπίζονται συνολικά 7 γέφυρες που εξυπηρετούν την οδική κυκλοφορία, καθώς υπάρχει και μία για τις ανάγκες του σιδηροδρόμου με εφαπτόμενη αυτής μία που βρίσκεται εκτός χρήσης. Η πληροφορία για αυτού του είδους τα τεχνικά έργα είναι σημαντική για πιο αξιόπιστη υδραυλική προσομοίωση της περιοχής μελέτης, καθώς επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά της ροής του ποταμού.

Στο Σχήμα 3.3 φαίνονται οι αντίστοιχες θέσεις των γεφυρών με την αντίστοιχη κωδικοποίηση όπως έχει καταρτιστεί από το αρμόδιο υπουργείο (Πίνακας 3.1). Στα Σχήματα 3.4 και 3.5 δίνονται για παράδειγμα τα δεδομένα καταγραφής όπως έχουν καταρτιστεί για λογαριασμό του αρμόδιου υπουργείου της γέφυρας BR_218. Διακρίνονται σε γεωμετρικής-τοπογραφικής φύσης (Σχήμα 3.4), και

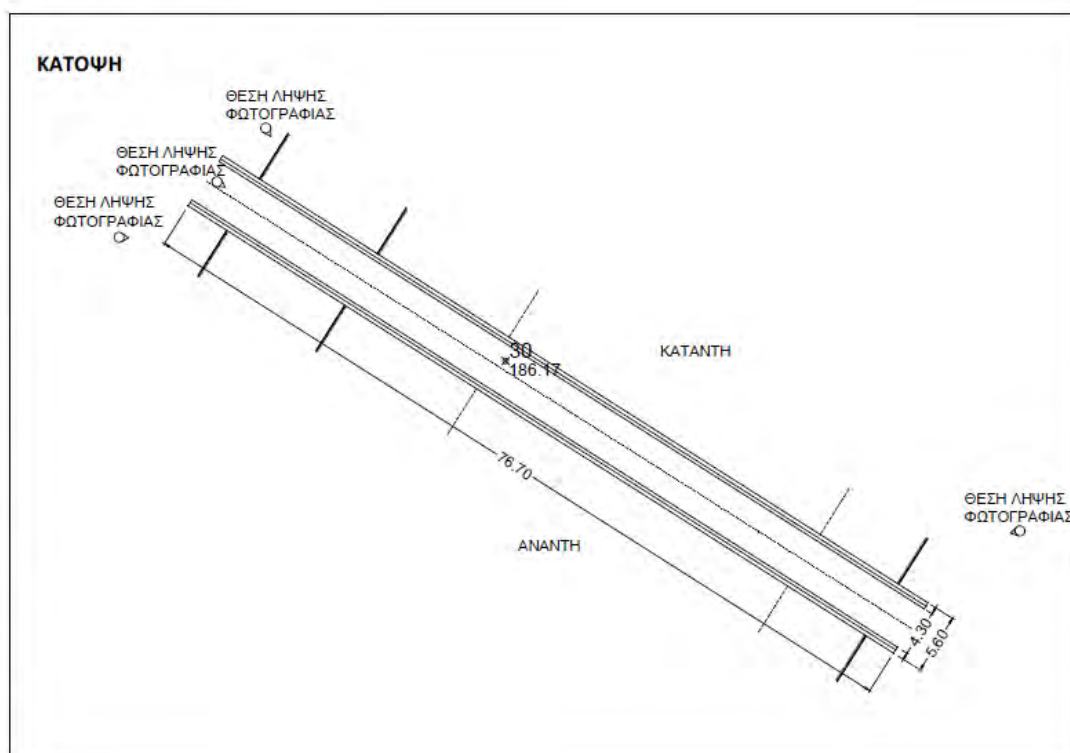
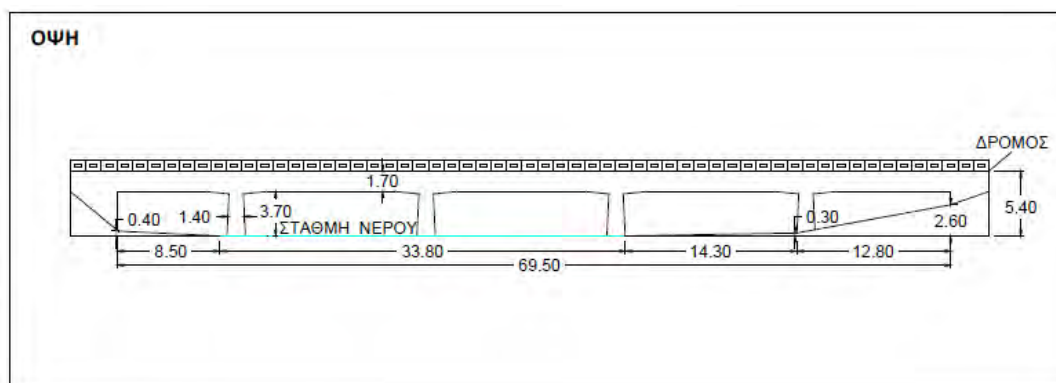
φωτογραφικό υλικό (Σχήμα 3.5). Διάφορα τοπογραφικά και γεωμετρικά στοιχεία που συμπεριλαμβάνονται μπορούν να αξιοποιηθούν για τις ανάγκες υδραυλικής προσομοίωσης, και ενδεικτικά στον Πίνακα 3.1 δίνονται συγκεντρωτικά κάποια βασικά στοιχεία των γεφυρών όπως το υψόμετρο οδοστρώματος και το προσεγγιστικό εμβαδό ελεύθερης διατομής που διαμορφώνεται κάτω από αυτές.



Σχήμα 3.3 Θέσεις γεφυρών κατά μήκος του Πάμισου ποταμού σε περιβάλλον Google Earth, με την αντίστοιχη κωδικοποίηση όπως έχει υιοθετηθεί από το αρμόδιο υπουργείο (GR08, ΥΠΕΚΑ).

ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΡΓΟ		ΓΕΦΥΡΕΣ
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ: ΓΕΦΥΡΑ (BR)		
ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΡΓΟΥ: BR_218		
ΠΕΡΙΟΧΗ: GR08_ΜΟΥΖΑΚΙ		
ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑ: ΠΑΜΙΣΟΣ		
ΗΜ/ΝΙΑ ΑΠΟΤ.: 9/04/2016		
ΟΜΑΔΑ ΑΠΟΤ.: ΧΡΗΣΤΟΣ ΣΑΛΟΓΙΑΝΝΟΣ		
ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ		ΣΗΜΕΙΟ
X	298961,514	30
Y	4366345,508	
Z	186,170	

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ	
ΤΥΠΟΣ	ΠΛΑΚΟΣΚΕΠΗΣ
ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (ΜxΠ)	76,70 x 5,60
ΚΑΘΑΡΟ ΠΛΑΤΟΣ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ/ΩΝ	ΑΝΑΝΤΗ: 69,50 ΚΑΤΑΝΤΗ: 69,50
ΥΨΟΜ.ΠΥΘΜ. ΚΟΙΤΗΣ:	180,80
ΥΨΟΜ. ΔΙΑΦΟΡΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ / ΑΡΧΗ ΓΕΡΦΥΡΑΣ	5,40
ΤΥΠΟΣ ΡΟΗΣ	ΣΤΑΘΕΡΗ / ΜΗ ΣΤΑΘΕΡΗ
ΣΤΑΘΜΗ ΝΕΡΟΥ	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΝΕΡΟΥ	
ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	
ΥΠΑΡΕΧ ΕΜΠΟΔΙΩΝ ΣΤΗΝ ΡΟΗ	ΝΑΙ / ΟΧΙ
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:	4 ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ 4x1,40x3,70
ΤΥΠΟΣ ΟΔΟΣΤ/ΤΟΣ:	ΠΛΑΤΟΣ ΟΔΟΣΤ/ΤΟΣ:
ΑΣΦΑΛΤΟΣ	4,30
ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ ΟΔΟΣ/ΤΟΣ:	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΟΔΟΣ/ΤΟΣ:
ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜ.	186,20
ΥΨΟΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ:	0,90
ΠΑΧΟΣ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ:	1,70
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ:	P094742, P100009, P100019, P100033



Σχήμα 3.4 Γεωμετρικά-Τοπογραφικά στοιχεία της γέφυρας BR-218, στο χωριό Μουζάκι, (εκπόνηση μελέτης, Χρήστος Σαλογιάννος).



Σχήμα 3.5 Φωτογραφικές απόψεις της γέφυρας BR-218, στο χωριό Μουζάκι (Χρήστος Σαλογιάννος).

Πίνακας 3.1 Στοιχεία Γεφυρών περιοχής μελέτης.

Κωδικός Γέφυρας	Είδος Γέφυρας	Υψόμετρο οδοστρώματος (μ)	Προσεγγιστικό εμβαδό ελεύθερης διατομής (μ²)
GR08-BR_218	Οχημάτων-Πεζών	186,20 μ	221,00
GR08-BR_217	Οχημάτων-Πεζών	183,40	222,00
GR08-BR_216	Οχημάτων-Πεζών	147,30	410,00
GR08-BR_215	Οχημάτων-Πεζών	118,10	192,00
GR08-BR_214	ΕΡΓΟΣΕ	111,00	245,00
GR08-BR_214A	Βοηθητική ΕΡΓΟΣΕ	108,70	235,00
GR08-BR_213	Οχημάτων-Πεζών	109,80	202,00
GR08-BR_212	Οχημάτων-Πεζών	107,00	223,00
GR08-BR_211	Οχημάτων-Πεζών	106,60	265,00

3.2.3 Υδρολογικά δεδομένα

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκε σχετική υδρολογική μελέτη σε συνεργασία με τον κ. Βασιλειάδη που αποτελεί συνέχεια της μελέτης των Βασιλειάδη και Μυλόπουλου (2021). Περιέχει ανάλυση των σχετικών στοιχείων για την περιοχή του ποταμού Πάμισου, και υπολογίστηκε η παροχή σχεδιασμού για περίοδο επαναφοράς τα 100 έτη με την αντίστοιχη παραγωγή πλημμυρογραφημάτων για τον ποταμό Πάμισο.

Πέρα από τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, βασική παράμετρος για την παραγωγή πλημμυρογραφήματος στη υδρολογική λεκάνη του ποταμού Πάμισου που έχει ληφθεί υπόψη στην εν λόγω μελέτη, είναι ο αριθμός καμπύλης απορροής (runoff curve number, CN, SCS, 1972) ο οποίος συμπυκνώνει τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης σε μια μοναδική αντιπροσωπευτική τιμή.

Από τα υφιστάμενα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας του [ΥΠΕΚΑ](#), ελήφθησαν όμβριες καμπύλες για την υπό διερεύνηση περιοχή που βρίσκεται στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας (EL08).

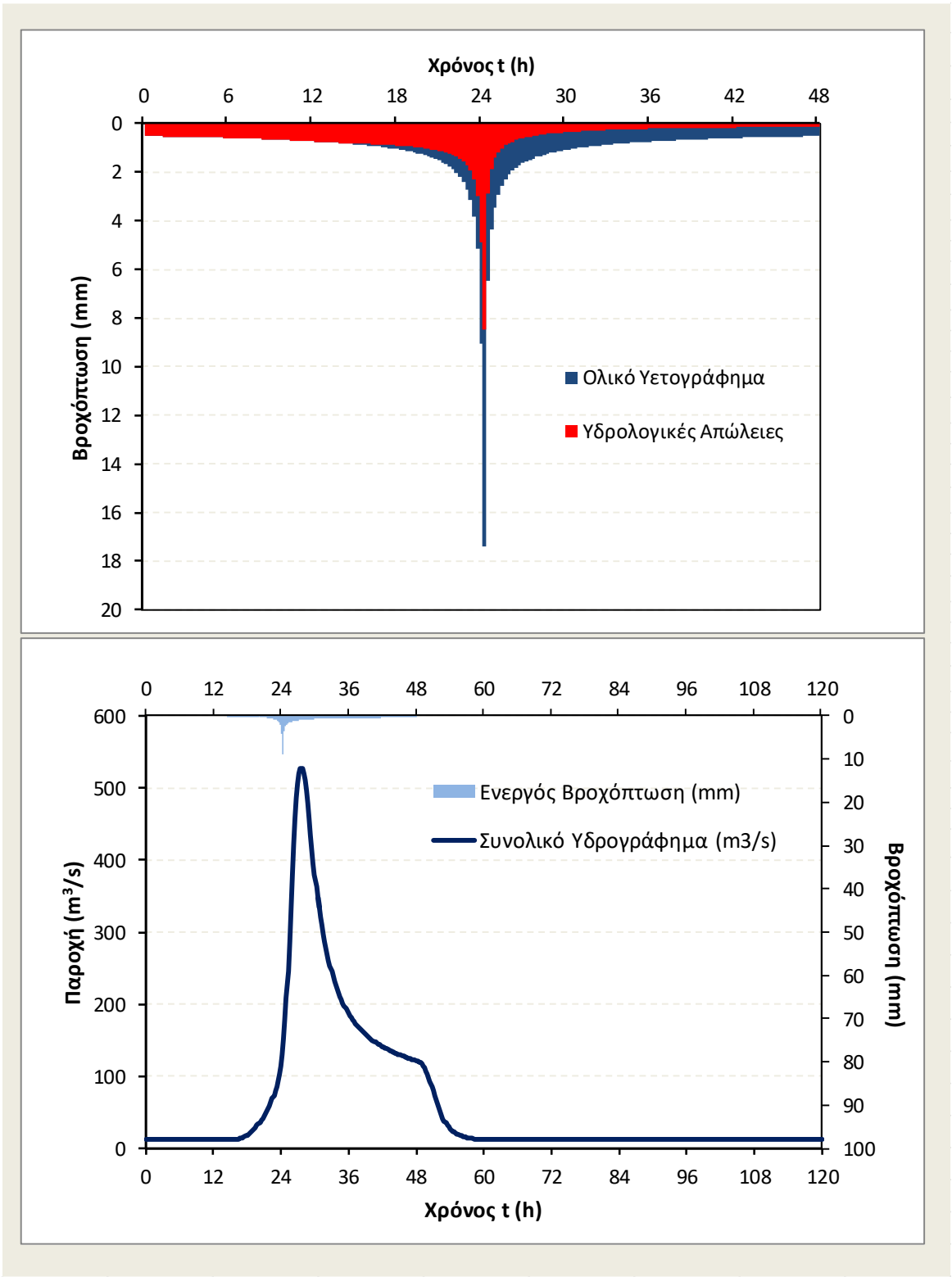
Στη παρούσα μελέτη εκτιμήθηκε πλημμύρα σχεδιασμού για περίοδο επαναφοράς 100-ετίας με τη θεώρηση ότι η περίοδος επαναφοράς πλημμύρας ισοδυναμεί με την περίοδο επαναφοράς μίας ακραίας τυπικής καταιγίδας περιόδου επαναφοράς 100-ετών, μέσω επιφανειακής ολοκλήρωσης των σημειακών μετρήσεων σε επίπεδο υπολεκάνης με τη διάρκεια της καταιγίδας που επιλέχθηκε για όλες τις υπολεκάνες να είναι σταθερή και ίση με 48h ώστε οι καταιγίδες σχεδιασμού στις υπολεκάνες να

έχουν διάρκεια μεγαλύτερη ($\approx$ πολλαπλάσια) του χρόνου συγκέντρωσης ολόκληρης της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πάμισου ($\approx 6 t_c$).

Σε κάθε υπολεκάνη, για δεδομένο υπολογισμένο υετογράφημα σχεδιασμού, εφαρμόζεται η συνδυαστική μέθοδος SCS-CN και μοναδιαίου υδρογραφήματος, για την παραγωγή πλημμυρογραφημάτων στις εξόδους όλων των υπολεκανών, που στη συνέχεια διοδεύονται κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου, μέχρι την έξοδο της συνολικής λεκάνης του Πηνειού.

Για την περίοδο επαναφοράς που επιλέχθηκε, εξετάζονται μέσες αλλά και δυσμενείς υδρολογικές συνθήκες, έτσι ώστε τα σενάρια αυτά να λαμβάνουν υπόψη τόσο την αβεβαιότητα στην εκτίμηση της βροχόπτωσης σχεδιασμού, αλλά και τις πιθανές συνθήκες εδαφικής υγρασίας.

Για το μέσο υδρολογικό σενάριο (υδρολογικές συνθήκες αρχικής υγρασίας τύπου II) στο Σχήμα 3.6 παρουσιάζεται το υετογράφημα της Λεκάνης απορροής του Πάμισου ποταμού και δίνεται το αντίστοιχο υδρογράφημα ως συγκεντρωτικά αποτελέσματα της υδρολογικής προσομοίωσης από την ανάλυση σε επίπεδο υπολεκανών.

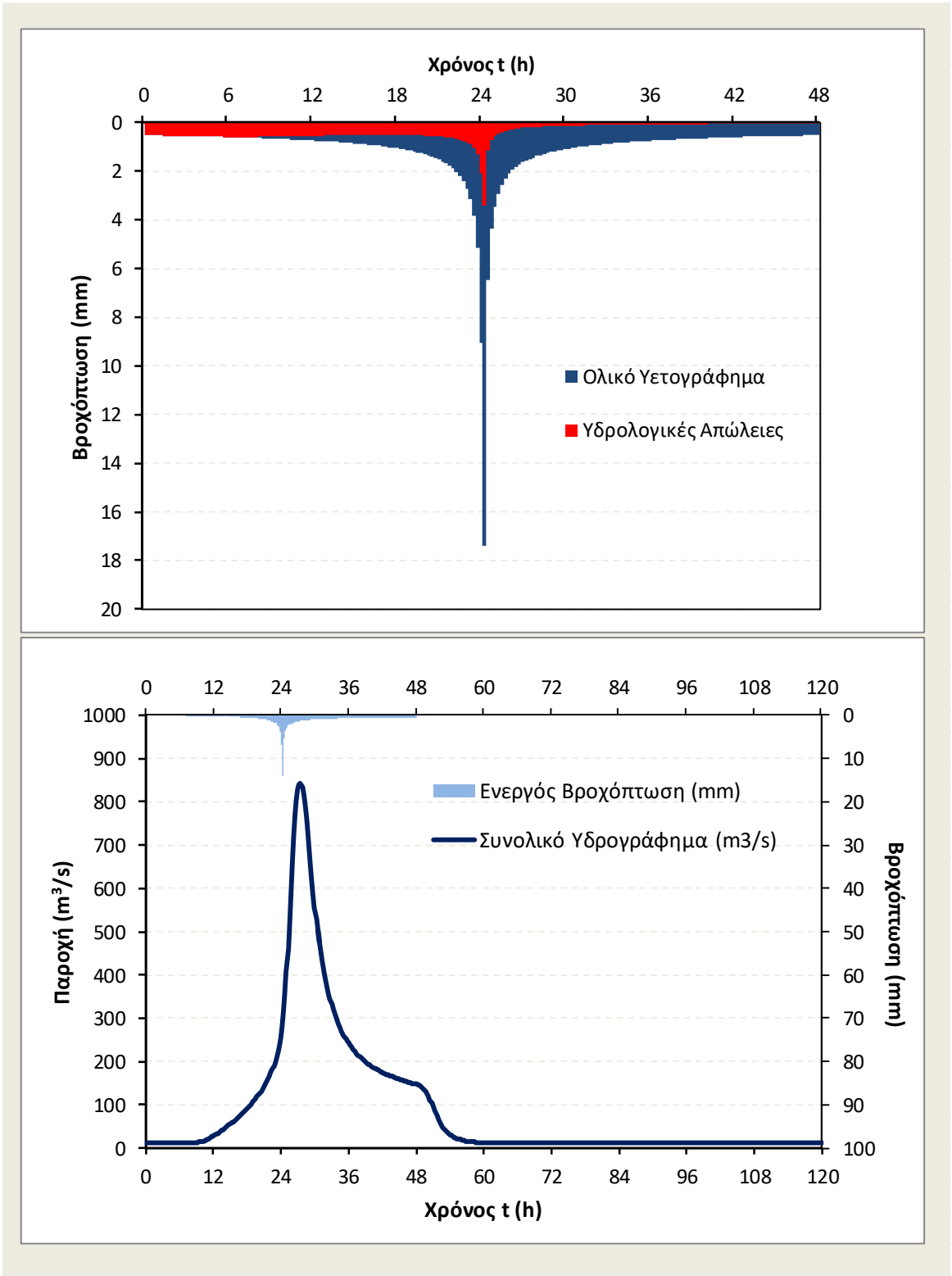


Σχήμα 3.6 Υετογράφημα και υδρογράφημα: Λεκάνη απορροής ποταμού Πάμισου, υδρολογικές συνθήκες αρχικής υγρασίας τύπου II (Βασιλειάδης 2023).

Από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της υδρολογικής προσομοίωσης για το μέσο υδρολογικό σενάριο (αρχικές συνθήκες υγρασίας τύπου II) για την λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη προκύπτει παροχή σχεδιασμού ίση με 526,7 m³/s.

Για το δυσμενές υδρολογικό σενάριο (υδρολογικές συνθήκες αρχικής υγρασίας τύπου III) στο

Σχήμα 3.7 παρουσιάζεται το γετογράφημα της Λεκάνης απορροής του Πάμισου ποταμού και δίνεται το αντίστοιχο υδρογράφημα ως συγκεντρωτικά αποτελέσματα της υδρολογικής προσομοίωσης από την ανάλυση σε επίπεδο υπολεκανών όπως υπολογίστηκαν ομοίως με την περίπτωση του μέσου υδρολογικού σεναρίου.



Σχήμα 3.7 Γετογράφημα και υδρογράφημα: Λεκάνη απορροής ποταμού Πάμισου, υδρολογικές συνθήκες αρχικής υγρασίας τύπου III (Βασιλειάδης Λ. 2023).

Από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της υδρολογικής προσομοίωσης για το δυσμενές υδρολογικό σενάριο (αρχικές συνθήκες υγρασίας τύπου ΙΙΙ) για την λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη προκύπτει παροχή σχεδιασμού ίση με $842,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

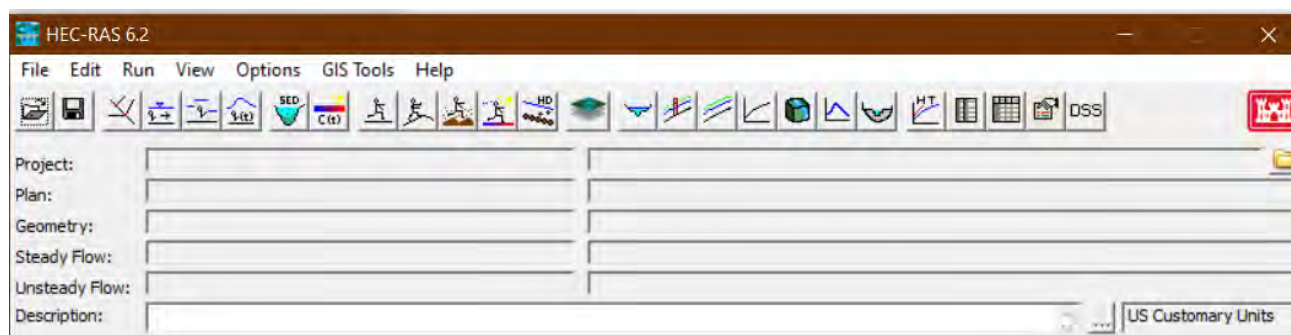
Για τις ανάγκες της υδραυλικής προσομοίωσης για συνθήκες μόνιμης ροής που ακολουθεί σε επόμενα Κεφάλαια, η παροχή σχεδιασμού λαμβάνεται ίση με αυτήν που προκύπτει από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της υδρολογικής προσομοίωσης λαμβάνοντας υπόψη και τα δύο σενάρια, μέσο και δυσμενές, ενώ για την υδραυλική προσομοίωση για συνθήκες μη μόνιμης ροής αξιοποιείται το υδρογράφημα για υδρολογικές συνθήκες αρχικής υγρασίας τύπου ΙΙΙ.

3.3 Προκαταρκτική Υδραυλική προσομοίωση με Hec – Ras

Στο πλαίσιο προκαταρκτικής μελέτης και αξιολόγησης των πρωτογενών δεδομένων πραγματοποιήθηκε υδραυλική προσομοίωση του ποταμού Πάμισου, για συνθήκες μόνιμης ροής και περίοδο επαναφοράς T τα 100 έτη. Μετά από ψηφιοποίηση του ποταμού με βάση τα πρωτογενή δεδομένα του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. και με την υπόθεση ο ποταμός Πάμισος πηγάζει από τα Θεσσαλικά Άγραφα, ορεινός όγκος στα Δυτικά, πραγματοποιήθηκε μια πρώτη υδραυλική προσομοίωση. Ακολουθεί αναλυτικά η διαδικασία.

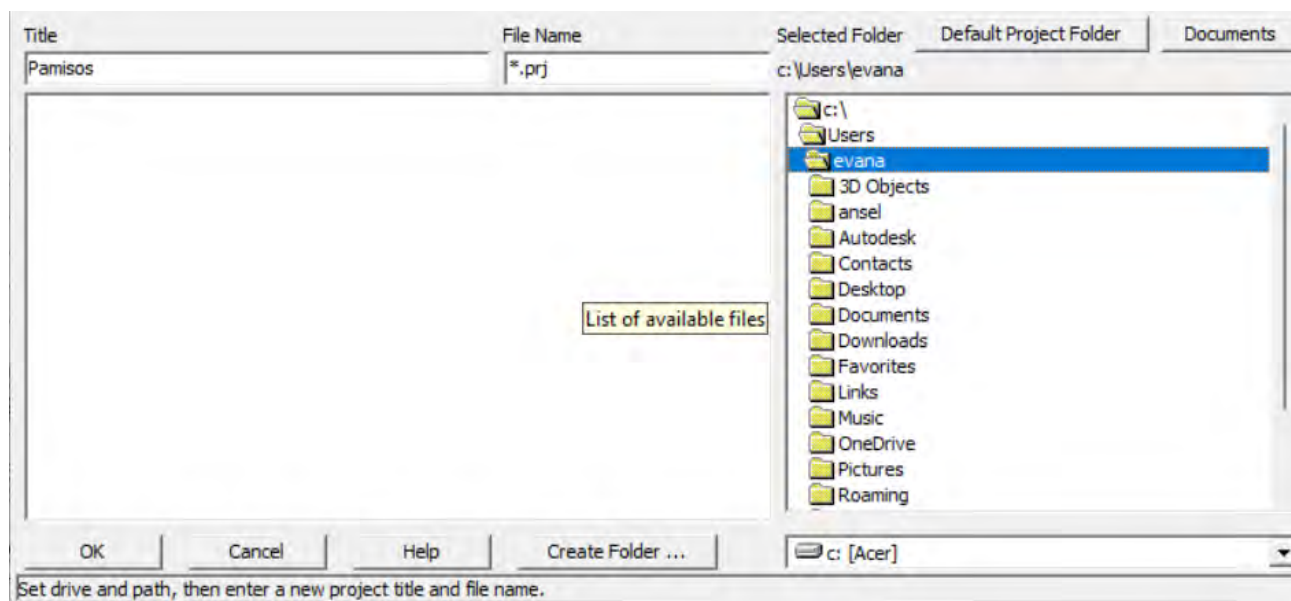
3.3.1 Δημιουργία αρχείου μοντέλου στο Hec-Ras

Εκκινούμε το HEC-RAS από το μενού Έναρξη κάνοντας κλικ στο Έναρξη >> HEC-RAS 6.2 Εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο (Σχήμα 3.8).



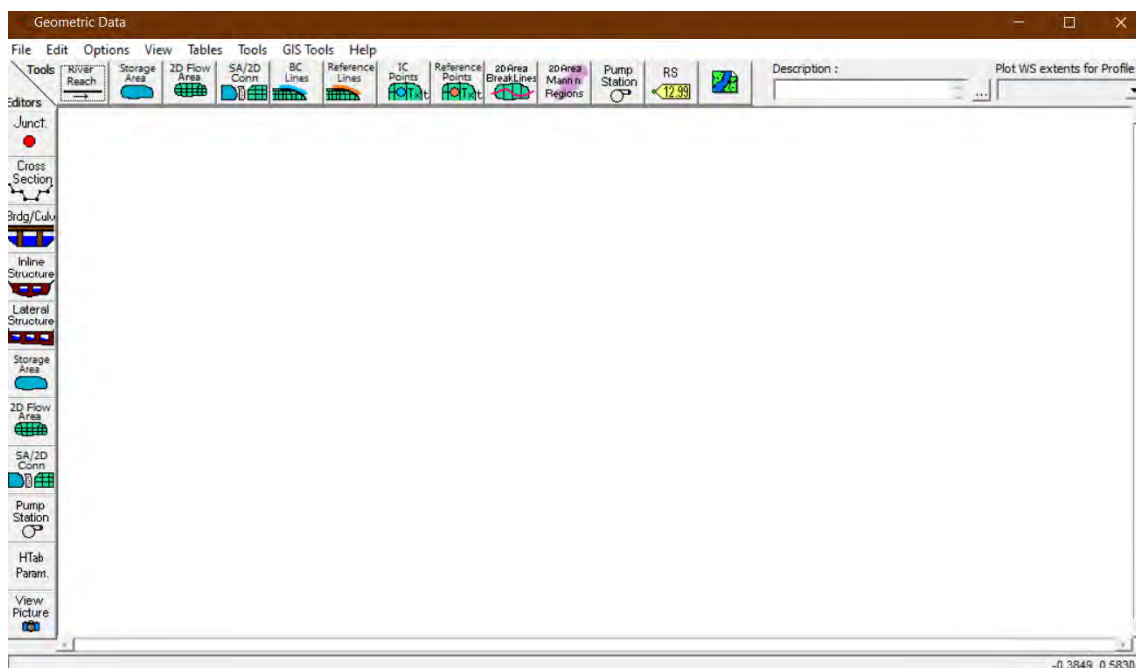
Σχήμα 3.8 Κεντρικό menu λογισμικού Hec – Ras.

Στη συνέχεια, κάνουμε κλικ στο File >> New Project. Μεταβαίνουμε στον φάκελο εργασίας μας στο δεξιό παράθυρο, καθορίζουμε ένα όνομα (εν προκειμένω Pamisos) για το έργο στο πλαίσιο «Title» και κάνουμε κλικ στο OK (Σχήμα 3.9).



Σχήμα 3.9 Αποθήκευση αρχείου αναλύσεων σε φάκελο με το όνομα Pamisos.

Εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο που επιβεβαιώνει τις λεπτομέρειες του έργου και το σύστημα μονάδων (SI). Κάνουμε κλικ στο OK. Στο παράθυρο HEC-RAS, κάνουμε κλικ στο Edit>>Geometric Data (Σχήμα 3.10).

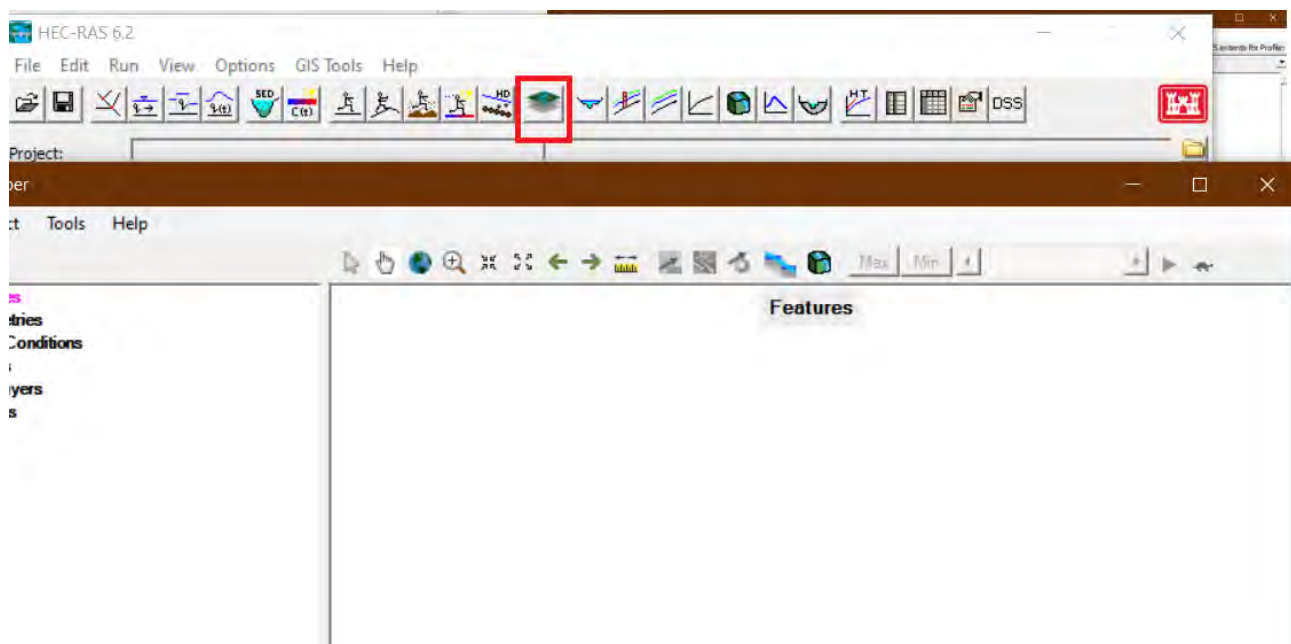


Σχήμα 3.10 Εισαγωγή στο menu γεωμετρικών δεδομένων του Hec -Ras.

Κάνουμε κλικ στο File >> Save Geometry Data as. Καθορίζουμε ένα όνομα (pamisos) και το αποθηκεύουμε στον ίδιο φάκελο με το αρχείο του έργου και κάνουμε κλικ στο "OK". Αυτό το αρχείο

περιέχει τη γεωμετρική πληροφορία που θα χρησιμοποιήσει το HEC-RAS για τους υπολογισμούς του. Κλείνουμε το πρόγραμμα επεξεργασίας γεωμετρίας.

Από το κύριο παράθυρο του HEC-RAS, ανοίγουμε το RAS Mapper κάνοντας κλικ στο κουμπί RAS Mapper που φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα.



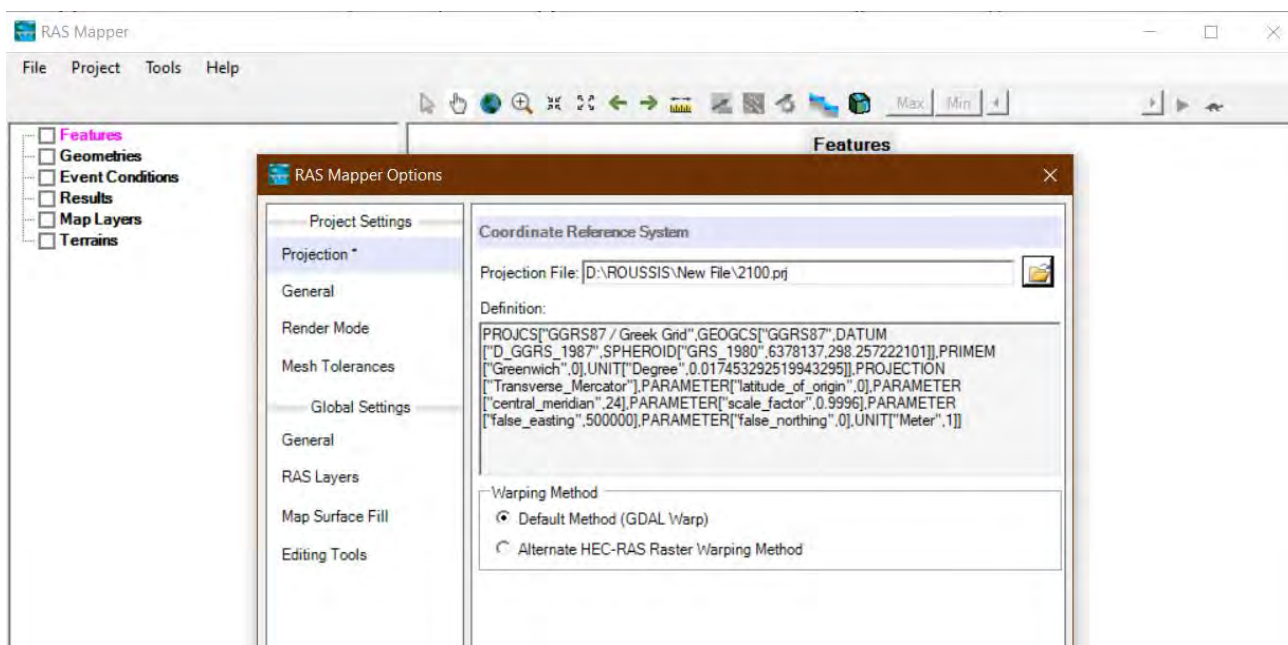
Σχήμα 3.11. Άνοιγμα φακέλου RAS Mapper.

Το επάνω αριστερό παράθυρο ονομάζεται παράθυρο επιπέδου δεδομένων. Περιέχει μια δενδρική δομή όλων των διαθέσιμων επιπέδων και των σχετικών δεδομένων. Τα στρώματα ομαδοποιούνται σύμφωνα με τη δομή του στρώματος HEC-RAS. Το δεξί παράθυρο ονομάζεται παράθυρο εμφάνισης. Εμφανίζει γεωχωρικά δεδομένα που αντιστοιχούν στις εισόδους, τις εξόδους (αποτελέσματα) και τα εισαγόμενα σύνολα δεδομένων HEC-RAS. Το παράθυρο κάτω αριστερά ονομάζεται Παράθυρο Κατάστασης. Εμφανίζει τα μηνύματα κατάστασης για τις λειτουργίες RAS Mapper.

3.3.2 Εισαγωγή Δεδομένων στο RAS Mapper

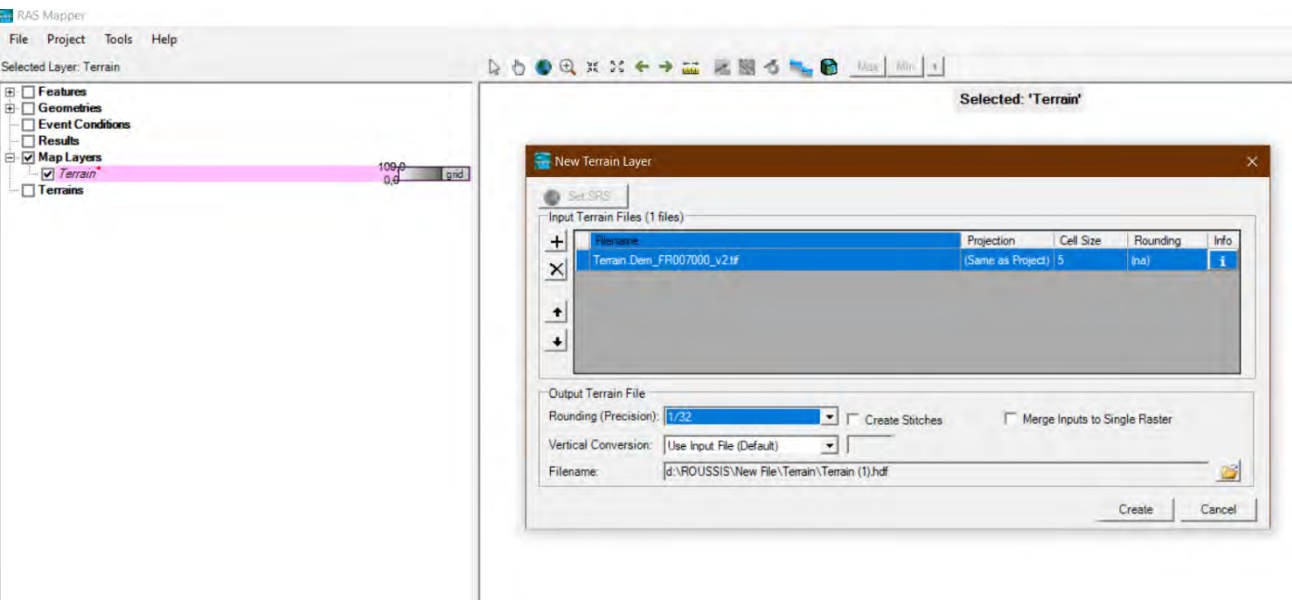
Πριν από την εισαγωγή δεδομένων, είναι σημαντικό να ρυθμίσουμε το σύστημα συντεταγμένων στο RAS Mapper. Όλα τα σύνολα δεδομένων πρέπει να βρίσκονται σε αυτό το σύστημα συντεταγμένων. Κάνουμε κλικ στο Tools >> Set Projection for Project. Ανοίγει ένα νέο παράθυρο (παράθυρο επιλογών χαρτογράφησης RAS) όπως φαίνεται παρακάτω. Το RAS Mapper χρησιμοποιεί ένα αρχείο προβολής ESRI για την εισαγωγή του συστήματος συντεταγμένων. Κάνουμε κλικ στο κουμπί αναζήτησης (επισημαίνεται με κόκκινο περίγραμμα στο παρακάτω σχήμα). Από το διαδικτυακό τόπο <https://spatialreference.org/ref/epsg/2100/> κατεβάζουμε το αρχείο 2100.prj που αφορά το σύστημα

συντεταγμένων για την Ελλάδα και το σώζουμε στο φάκελο ramisos. Επιλέγουμε το αρχείο «2100.prj» από το φάκελο InputData και κάνουμε κλικ στο OK. Σημειώστε ότι ένα αρχείο έργου HEC-RAS, όπως αυτό που δημιουργήθηκε νωρίτερα, έχει επίσης την ίδια επέκταση (.prj). Μην συγχέετε το αρχείο GEC-RAS .prj με το αρχείο ESRI .prj που σχετίζεται με το shapefile. Οι λεπτομέρειες του συστήματος συντεταγμένων εξάγονται αυτόματα από το αρχείο .prj και συμπληρώνονται στο παράθυρο "Επιλογές χαρτογράφησης RAS". Κάντε κλικ στο Apply και μετά στο OK (Σχήμα 3.12).

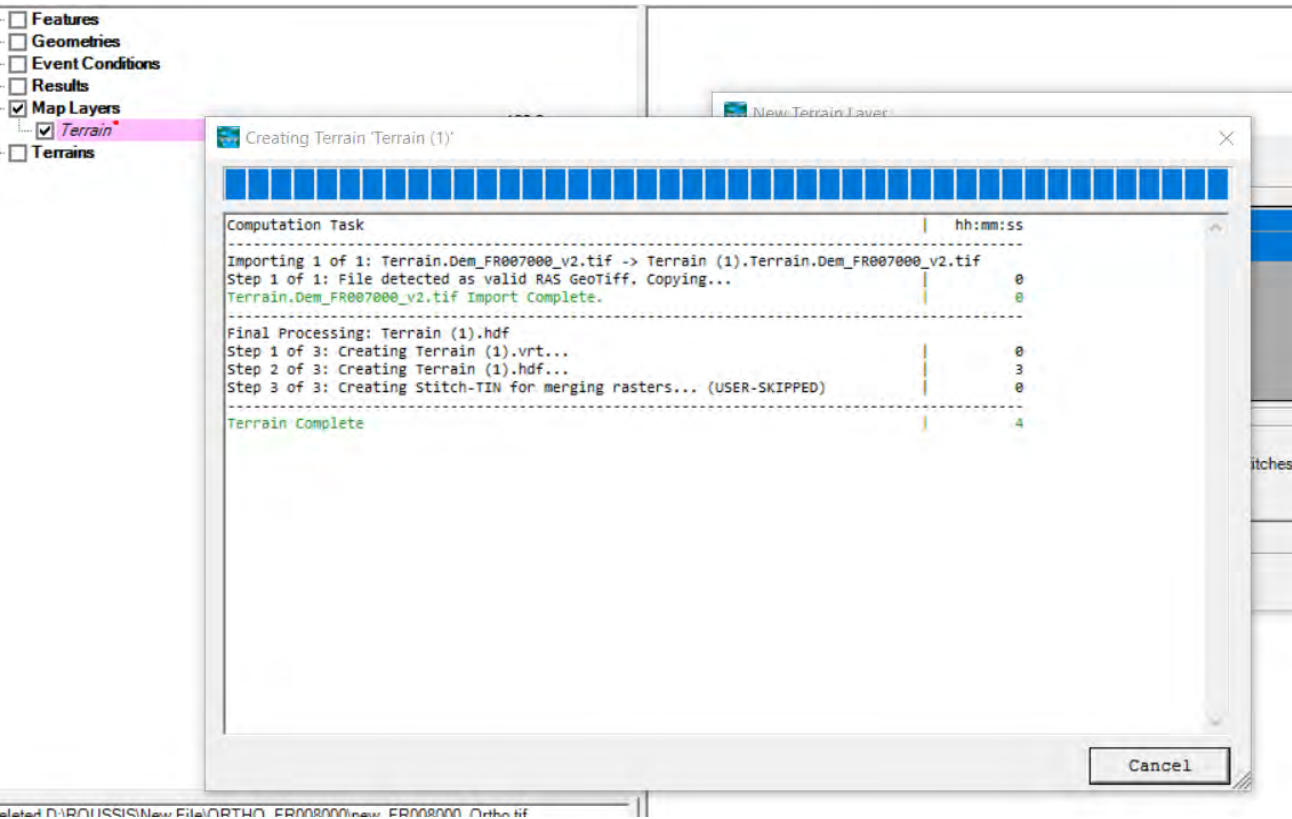


Σχήμα 3.12 RAS Mapper Options Menu και φόρτωση συστήματος συντεταγμένων για Ελλάδα

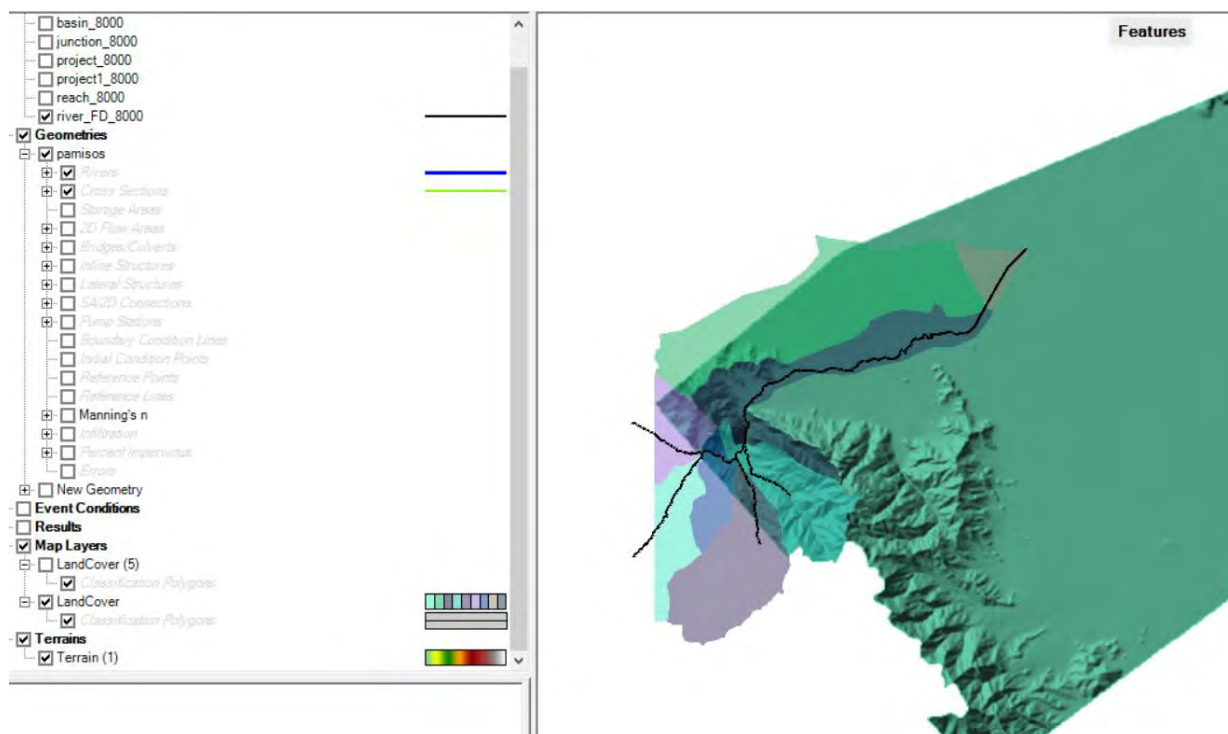
Στη συνέχεια θα εισαγάγουμε το έδαφος ή το DEM στον χαρτογράφο RAS. Κάνουμε κλικ στο Tools >> New Terrain. Το παράθυρο «New Terrain Layer» ανοίγει όπως φαίνεται παρακάτω. Κάνουμε κλικ στο κουμπί "+" και μεταβαίνουμε στο αρχείο Terrain.Dem_FR007000_v2.tif που περιέχει το ράστερ μέσα στο φάκελο που δημιουργήσαμε ονόματι ramisos. Κάνουμε κλικ στο Open. Θα δούμε ότι το αρχείο προστίθεται στη λίστα Input Terrain Files. Κάνουμε κλικ στο Create (Σχήμα 3.13). Ανοίγει ένα νέο παράθυρο που δείχνει την πρόοδο της εισαγωγής εδάφους (Σχήμα 3.14). Μόλις ολοκληρωθεί η εισαγωγή, κάνουμε κλικ στο Close.



Σχήμα 3.13 Εισαγωγή αρχείου tif. ως υπόβαθρο χάρτη για τις αναλύσεις



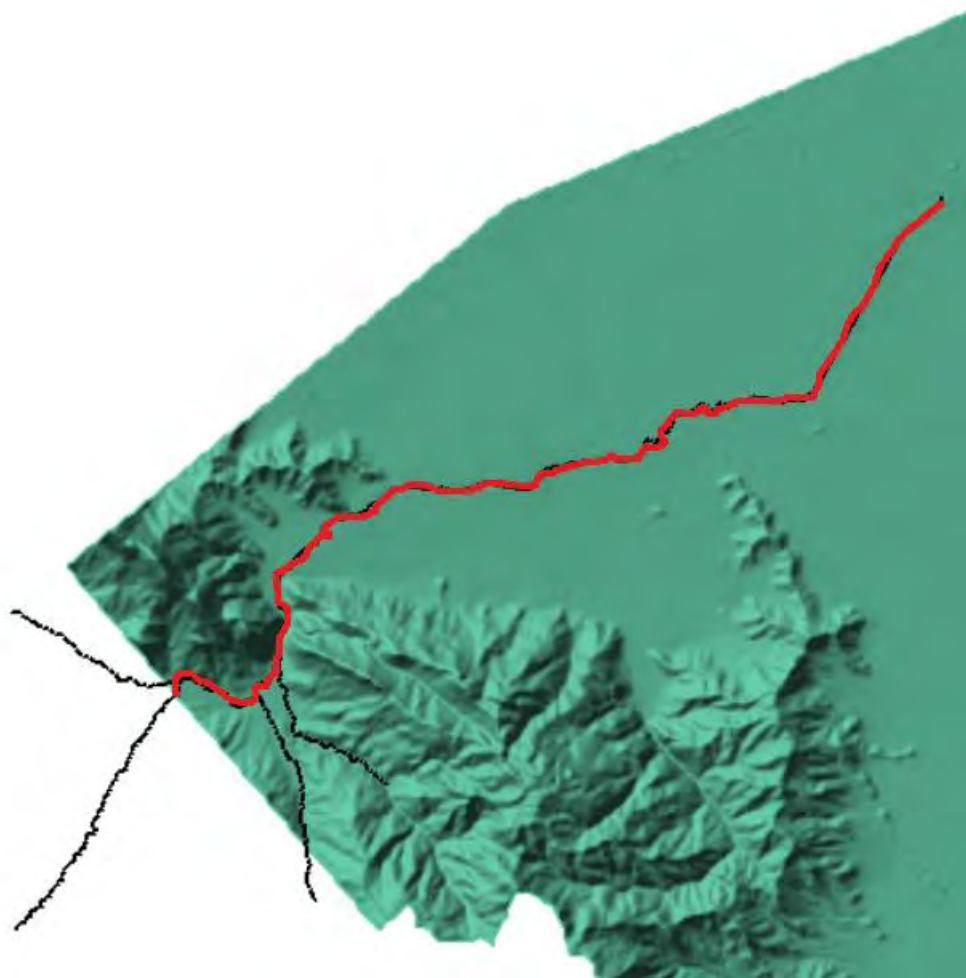
Σχήμα 3.14 Διεξαγωγή ανάλυσης από το HEC – RAS για τη δημιουργία υποβάθρου από αρχείο tif.



Σχήμα 3.15 Αποτύπωση του αναγλύφου εδάφους και της γραμμής του κεντρικού άξονα του ποταμού Πάμισου στην περιοχή μελέτης.

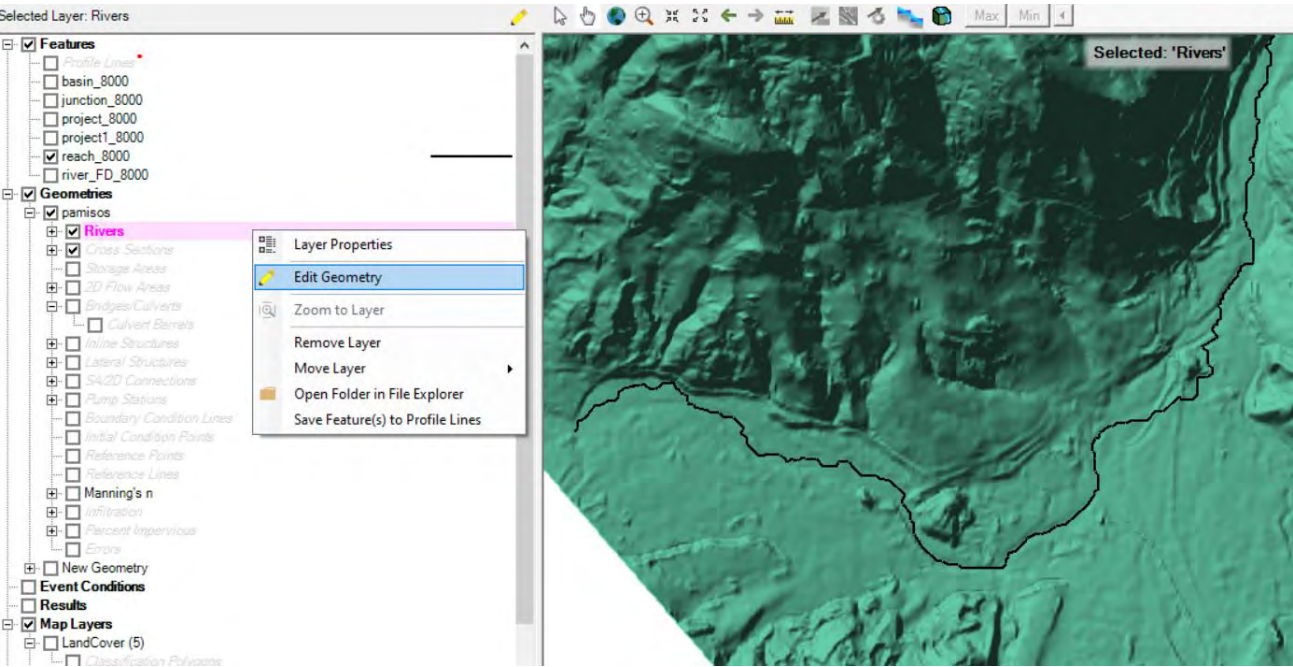
3.3.3 Δημιουργία κεντρικής γραμμής ποταμού (River Centerline)

Αρχικά, θα δημιουργήσουμε μια κεντρική γραμμή για να ορίσουμε τη συνολική έκταση του μοντέλου. Η κεντρική γραμμή του ποταμού χρησιμοποιείται επίσης για τη δημιουργία του δικτύου πρόσβασης ποταμού για το HEC-RAS. Θα λάβουμε υπόψιν μόνο τον κεντρικό ποταμό Πάμισο αγνοώντας κάποια σκέλη παραποτάμων που εμφανίζονται στο κομμάτι της πορείας που εξετάζουμε.



Σχήμα 3.16 Κεντρικός κλάδος ποταμού Πάμισου υπό μεξέταση. Αγνοούνται μικροί παραπόταμοι κατά μήκος της διαδρομής μελέτης.

Θα δημιουργήσουμε/ψηφιοποιήσουμε ένα χαρακτηριστικό για τον κεντρικό κλάδο του ποταμού ακολουθώντας περίπου το κέντρο του ποταμού και ευθυγραμμισμένο προς την κατεύθυνση της ροής. Μεγεθύνουμε στο πιο ανάντη τμήμα του άνω ποταμού Πάμισου για να εντοπίσουμε το κύριο κανάλι. Στο παράθυρο επιπέδου δεδομένων, κάνουμε δεξί κλικ στο Rivers και κατόπιν κλικ στο Επεξεργασία γεωμετρίας (BETA) (Σχήμα 3.17).



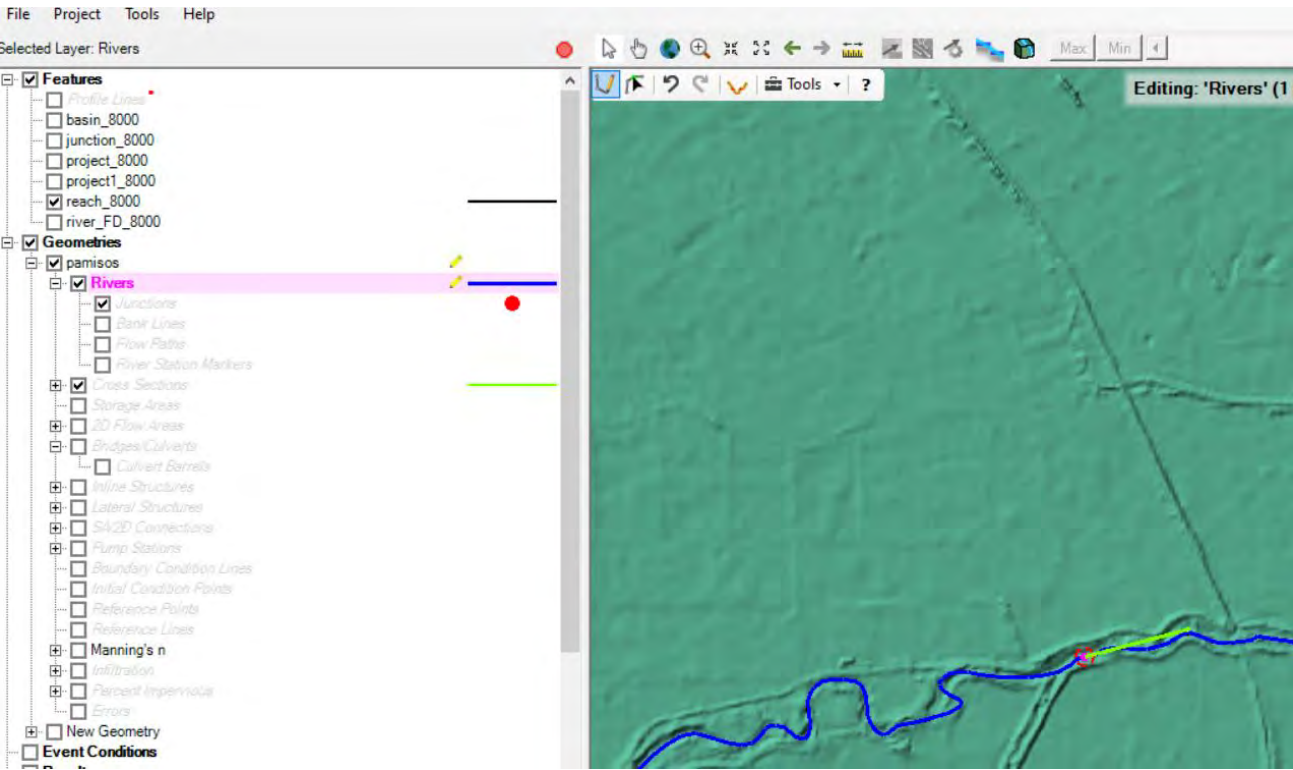
Σχήμα 3.17. Επιλογή διαμόρφωσης γεωμετρίας κεντρικής γραμμής ποταμού Πάμισου.

Μια γραμμή εργαλείων εμφανίζεται στην επάνω αριστερή γωνία του παραθύρου Εμφάνιση όπως φαίνεται παρακάτω:

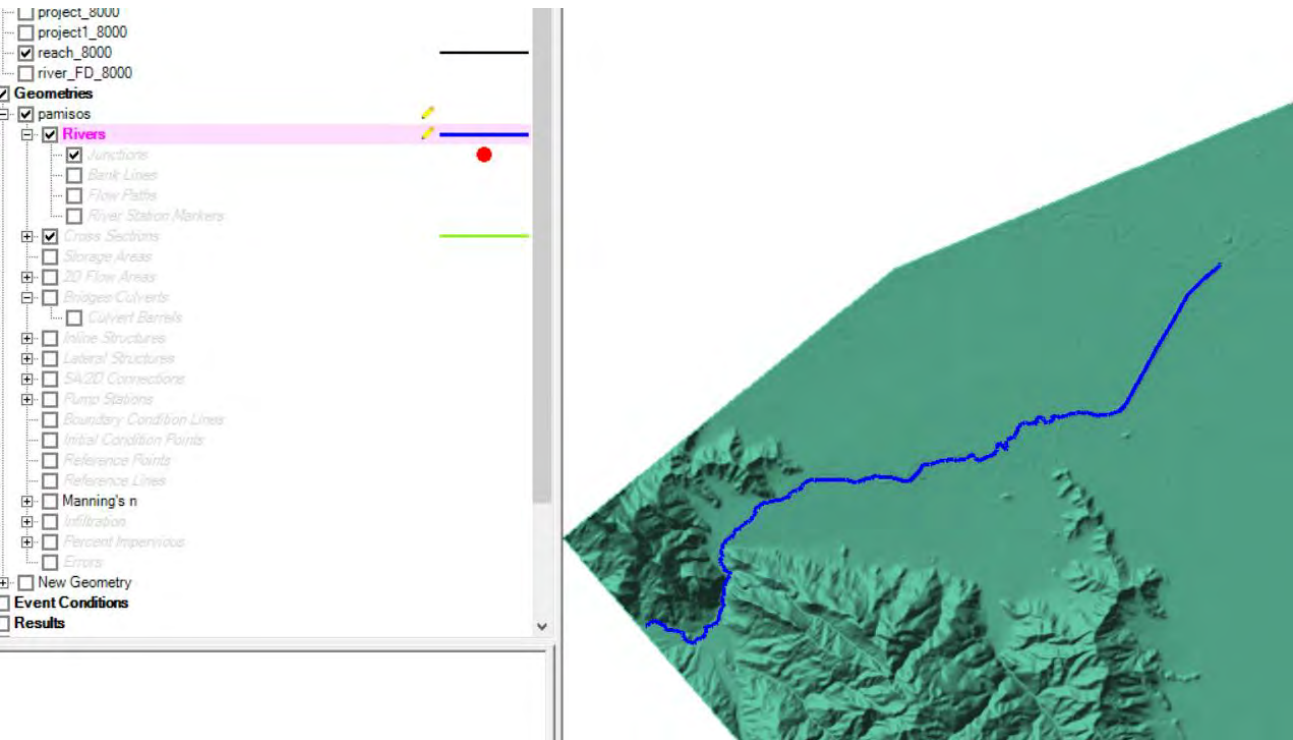


Σχήμα 3.18 Γραμμή εργαλείων διαμόρφωσης γεωμετρίας ποταμού.

Βεβαιωνόμαστε ότι είναι επιλεγμένο το πρώτο κουμπί (Προσθήκη νέας λειτουργίας). Αφήνουμε λίγο χώρο από το όριο και ξεκινούμε την ψηφιοποίηση της κεντρικής γραμμής του ποταμού από το άνω άκρο του ποταμού Πάμισου προς τα κάτω μέχρι να φτάσουμε στο όριο της περιοχής μελέτης (Σχήμα 3.19).

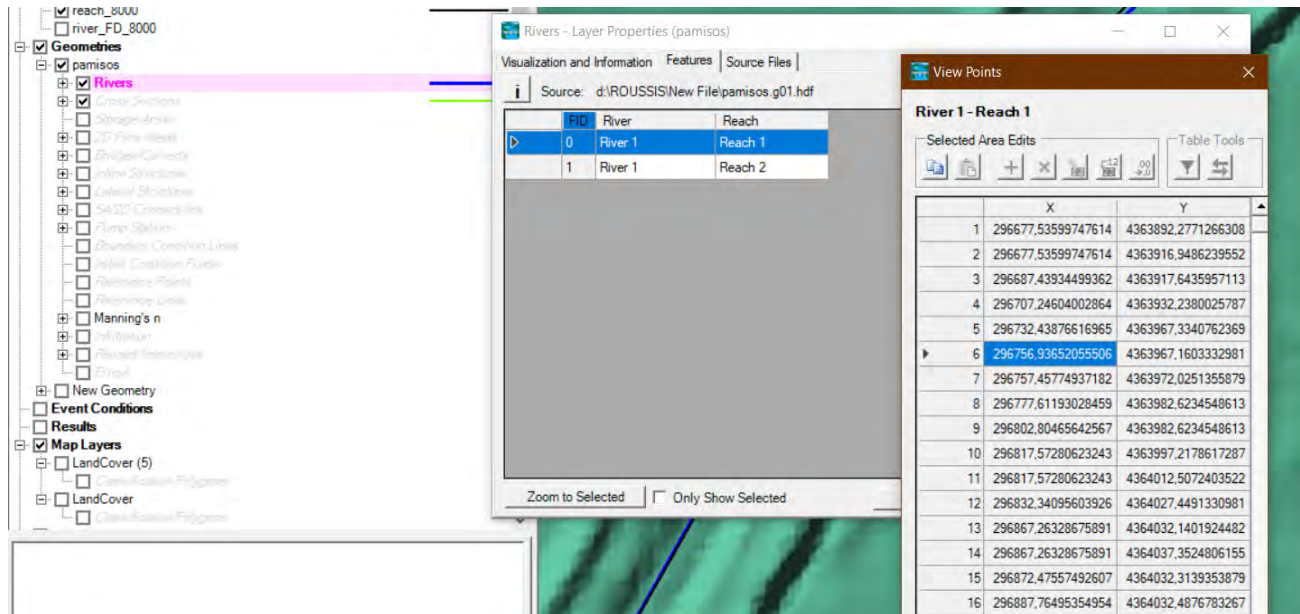


Σχήμα 3.19 Διαδικασία χάραξης κεντρικής γραμμής ποταμού Πάμισου.



Σχήμα 3.20 Τελική αποτύπωση χάραξης κεντρικής γραμμής ποταμού Παμίσου.

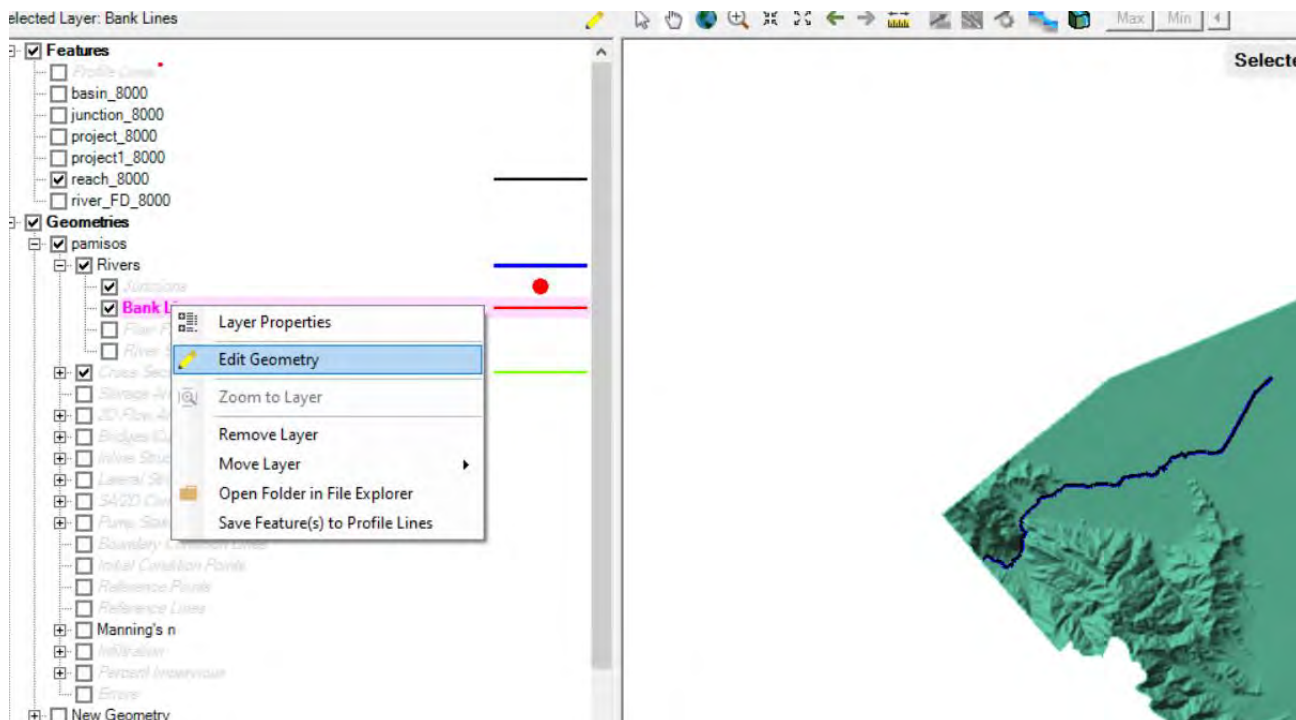
Είναι εφικτό να ανοίξουμε τον πίνακα χαρακτηριστικών του συνόλου δεδομένων River κάνοντας δεξί κλικ στο Rivers και κάνοντας κλικ στο Open Attribute Table και μπορεί κανείς να δει ότι οι πληροφορίες που μόλις παρείχαμε εισάγονται ως χαρακτηριστικά όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 3.21 Δεδομένα χωρικών συντεταγμένων κατά ΕΓΣΑ του ποταμού Παμίσου κατά την εισαγωγή του manually στο Ras Mapper Geometry.

3.3.4 Δημιουργία γραμμών όχθων (Bank lines) ποταμού και παρόχθιας ζώνης (Flow Paths)

Οι γραμμές όχθης χρησιμοποιούνται για τη διάκριση του κύριου καναλιού από τις πλημμυρικές πεδιάδες. Οι πληροφορίες που σχετίζονται με τις τοποθεσίες των όχθων του ποταμού χρησιμοποιούνται για την εκχώρηση διαφορετικών ιδιοτήτων για διατομές. Για παράδειγμα, σε κάποιες διατομές ίσως πρέπει να εκχωρηθούν υψηλότερες τιμές συντελεστή Manning n για να ληφθεί υπόψη η μεγαλύτερη τραχύτητα που προκαλείται από τη βλάστηση. Η δημιουργία γραμμών όχθης είναι παρόμοια με τη δημιουργία της κεντρικής γραμμής καναλιού, αλλά δεν υπάρχουν συγκεκριμένες οδηγίες σχετικά με τον προσανατολισμό και τη συνδεσιμότητα - μπορούν να ψηφιοποιηθούν είτε κατά μήκος της κατεύθυνσης ροής είτε αντίθετα προς την κατεύθυνση ροής ή μπορεί να είναι συνεχείς ή σπασμένες. Για να δημιουργήσουμε γραμμές όχθης, κάνουμε δεξί κλικ στις Bank Lines (κάτω από το Rivers) και επιλέγουμε Επεξεργασία γεωμετρίας (BETA) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



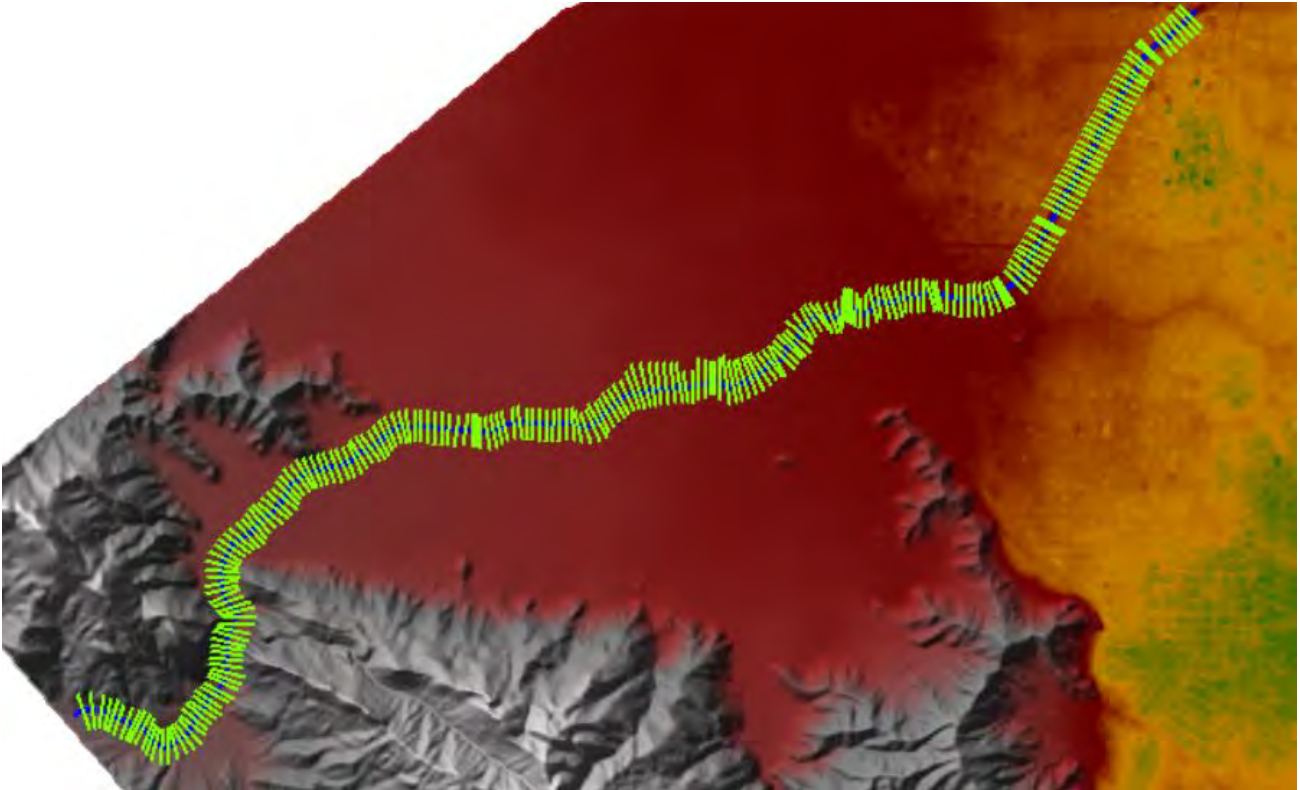
Σχήμα 3.22 Επιλογή επεξεργασίας γεωμετρίας γραμμών όχθων.

Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία ψηφιοποίησης με την κεντρική γραμμή του ποταμού οπότε ξεκινώντας από το ανάντη άκρο και κοιτάζοντας προς τα κάτω, ψηφιοποιούμε πρώτα την αριστερή όχθη και έπειτα τη δεξιά όχθη. Στην συνέχεια γίνεται με όμοιο τρόπο η ψηφιοποίηση των γραμμών που θα ορίσουν την παρόχθεια ζώνη του ποταμού (flow paths).

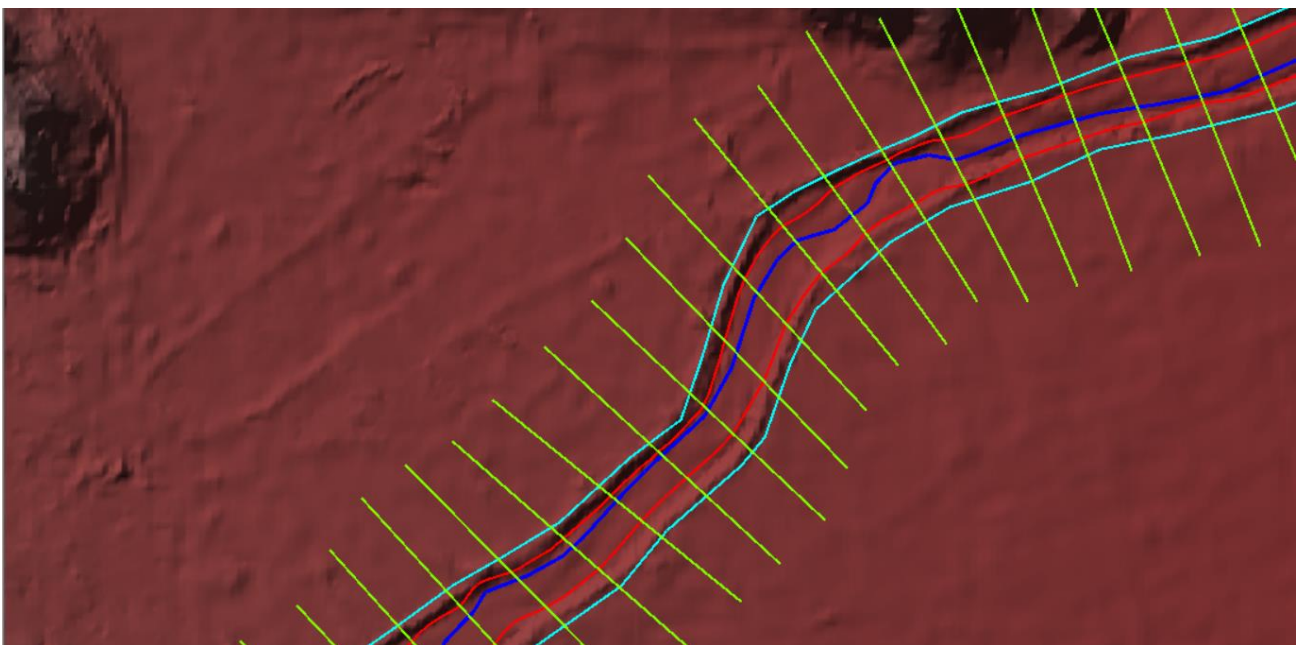
3.3.5 Χάραξη διατομών (Cross Sections)

Η χάραξη των διατομών είναι ίσως το βασικότερο δεδομένο εισόδου που απαιτείται για την υδραυλική προσομοίωση. Οι κανόνες που ακολουθούνται για την ψηφιοποίηση τους συνοπτικά είναι:

1. Σχεδιάζονται κάθετα στην κατεύθυνση της ροής του ποταμού
2. Ψηφιοποιούνται πάντα από τα αριστερά προς τα δεξιά κοιτώντας κατάντη ενώ πρέπει να εκτείνονται σε ολόκληρο το πλημμυρικό πεδίο που πρόκειται να μοντελοποιηθεί
3. Κάθε μια διατομή ξεχωριστά πρέπει να τέμνει την κεντρική γραμμή ροής, τις δύο γραμμές των όχθων και τις δύο γραμμές που ορίζουν την παρόχθεια ζώνη μόνο μία φορά.



Σχήμα 3.23 Υπό εξέταση περιοχή μετά την ψηφιοποίηση των διατομών.

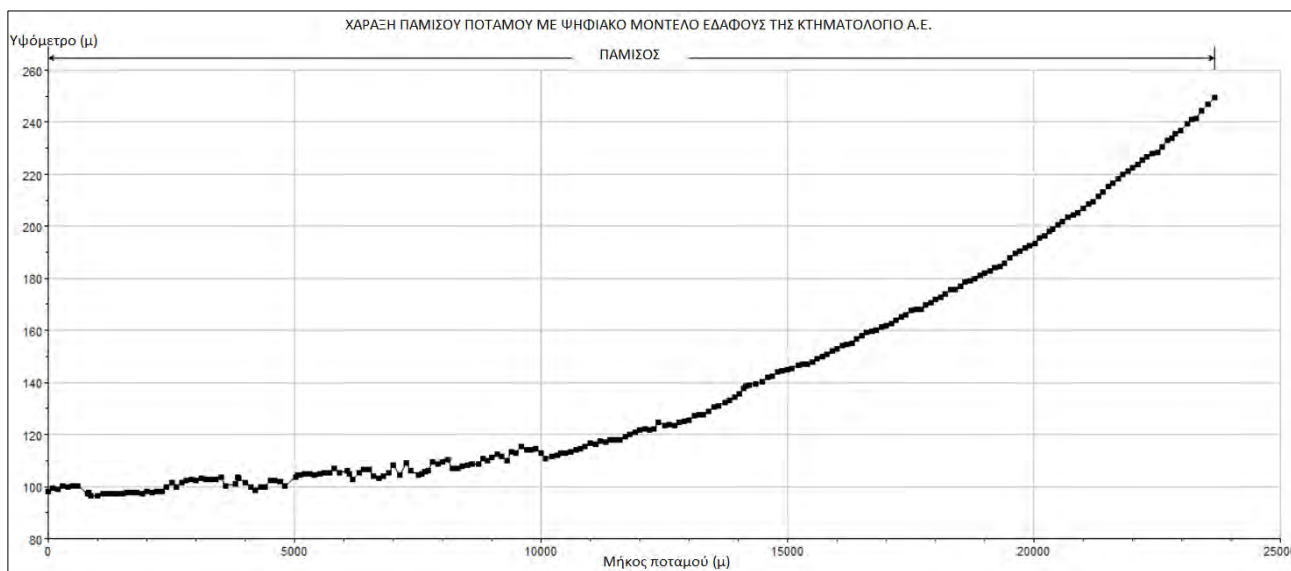


Σχήμα 3.24 Λεπτομέρεια στην περιοχή μελέτης μετά την δημιουργία των διατομών.

Σε αυτό το σημείο ακολουθούν κάποιες παρατηρήσεις σε σχέση με την αποτύπωση της τοπογραφίας από το ΨΜΕ από διασταύρωση/σύγκριση με υψομετρικά δεδομένα από συμπληρωματικές πηγές.

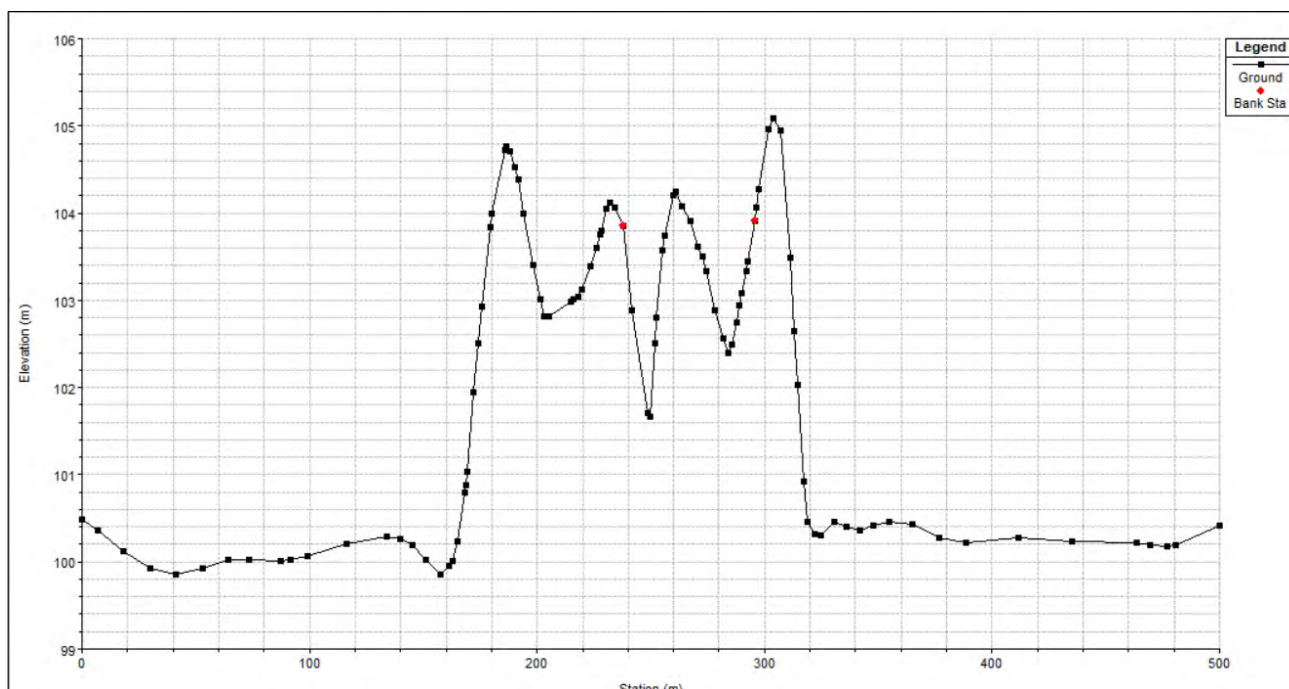
Ειδικότερα, με βάση την χάραξη της κεντρικής γραμμής (centerline) του Πάμισου ποταμού,

σύμφωνα με την αεροφωτογραφία που συνοδεύει το ΨΜΕ και στην οποία απεικονίζεται ευκρινώς η κοίτη κατά την αποτύπωση της κλίσης του ποταμού παρατηρείται ανακολουθία στην σταδιακή μείωση του υψομέτρου του πυθμένα από τα ανάντη προς τα κατάντη. Μεγάλες αποκλίσεις από την φυσική κατωφέρεια του ποταμού εντοπίζονται κυρίως στο πεδινό τμήμα μεταξύ των οικισμών Μαγουλίτσας και Αγναντερού (Σχήμα 3.25, 0-15000 μ κατά τον άξονα x). Αυτές οι αποκλίσεις αποτυπώνονται και ως αναβαθμοί εντός της κοίτης του ποταμού σε αυτό το τμήμα όπως χαρακτηριστικά φαίνεται αν χαραχθούν αντίστοιχες κάθετες κατά τη ροή διατομές της τοπογραφίας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ακολουθεί στα Σχήματα 3.26 και 3.27 όπου παρατίθενται δύο διαδοχικές διατομές του ποταμού που βρίσκονται σε απόσταση 100μ και εμφανίζεται μια ανακολουθία στα υψόμετρα του πυθμένα της κοίτης από τα ανάντη προς τα κατάντη, σε σχέση με την πραγματική τοπογραφία της και σε ότι αφορά την κλίση του ποταμού. Στις διατομές αυτές, με βάση το ΨΜΕ, είναι χαρακτηριστική η ύπαρξη αναβαθμών τόσο εντός της κοίτης. Στα πεδινά, το κατά τόπους μικρό σχετικό βάθος του πυθμένα από τη στέψη των αναχωμάτων που αποτυπώνεται στο ΨΜΕ επίσης δεν αντιστοιχεί με την υφιστάμενη τοπογραφία. Ειδικότερα, από τα τοπογραφικά δεδομένα που συνοδεύουν το αρχείο καταγραφής των γεφυρών της περιοχής μελέτης, εκτιμάται ένα πραγματικό μέσο βάθος της τάξης των 4 έως 6 μέτρων.

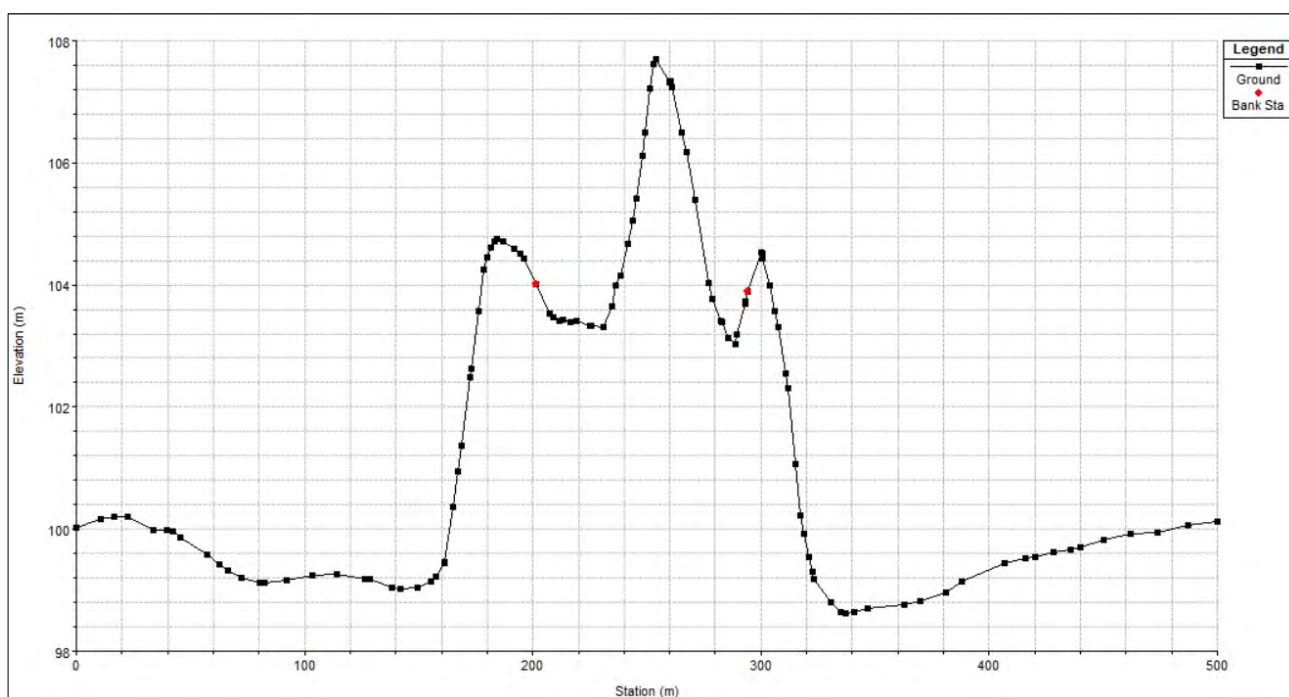


Σχήμα 3.25 Κατά μήκος υψόμετρο κοίτης Πάμισου ποταμού σύμφωνα με το διαθέσιμο ψηφιακό μοντέλο εδάφους της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.

Συγκρίνοντας τα ελάχιστα βάθη εντός της κοίτης του ποταμού για τις δύο διαδοχικές διατομές με απόσταση 100 μ μεταξύ τους, με βάση τα παρακάτω σχήματα παρατηρείται ότι η πρώτη εμφανίζει ελάχιστο βάθος αισθητά μικρότερο, 101,7 μ η ανάντη διατομή και 103 μ η κατάντη διατομή γεγονός που δεν συνάδει με την αναμενόμενη κατωφέρεια του ποταμού.



Σχήμα 3.26 Διατομή ποταμού που διακρίνονται αναβαθμοί εντός της κοίτης με βάση το ΨΜΕ, 100 μ ανάντη γέφυρας (GR 212) περιοχή οικισμού Παλαιοχωρίου.

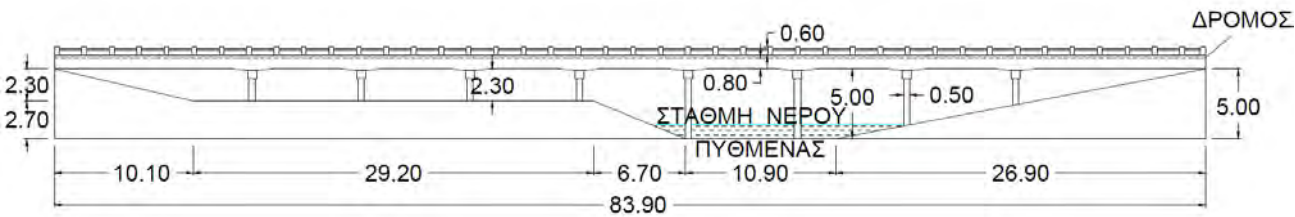


Σχήμα 3.27 Διατομή ποταμού που διακρίνεται αναβαθμός εντός της κοίτης, πλησίον γέφυρας (GR 212) περιοχή οικισμού Παλαιοχωρίου.



Σχήμα 3.28 Απόσπασμα της περιοχής όπου διακρίνεται η διατομή (μωβ γραμμή) του Σχήματος 3.27 (σε περιβάλλον Google Hybrid).

Παρατηρώντας τα πλευρικά αναχώματα στην διατομή του Σχήματος 3.27, η στέψη τους βρίσκεται περίπου σε υψόμετρο 104,7 μ., με το ελάχιστο υψόμετρο πυθμένα κοίτης στα 103 μ.. Στη θέση αυτή υπάρχουν τοπογραφικά δεδομένα από μελέτη αποτύπωσης της γέφυρας (BR 212), όπου αναγράφεται ως υψόμετρο οδοστρώματος στα 107 μ, και το υψόμετρο πυθμένα κοίτης 101,2. Υπάρχουν δηλαδή σημαντικές αποκλίσεις στα υψόμετρα τόσο των εκατέρωθεν αναχωμάτων όσο και της τοπογραφίας του πυθμένα της κοίτης. Τέτοιας τάξης μεγέθους αποκλίσεις παρατηρήθηκαν σε όλο το μήκος του ποταμού με αποτέλεσμα την ασυνέπεια στην κλίση του ποταμού (δεν έχουμε κατωφέρεια καθ' όλο το μήκος), ανακολουθία υψών των αναχωμάτων καθώς και ανακόλουθη τοπογραφία της κοίτης του ποταμού σε σχέση με την πραγματική εικόνα. Στο Σχήμα 3.29 όπου αποτυπώνεται η διατομή στη θέση της αντίστοιχης γέφυρας, δεν υπάρχει διπλή κοίτη όπως εμφανίζεται από το ΨΜΕ (Σχήμα 3.7), ενώ στο Σχήμα 3.30 είναι εμφανής η πυκνή βλάστηση που καλύπτει σημαντικό μέρος της κοίτης.

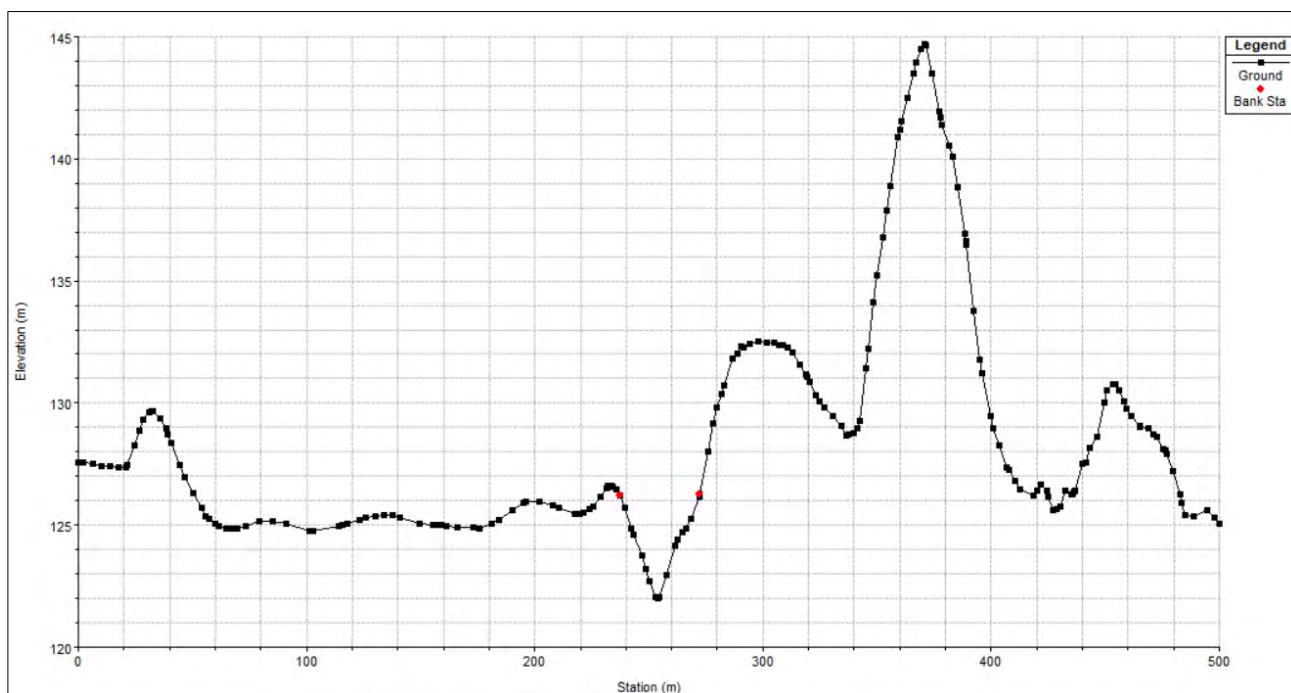


Σχήμα 3.29 Στοιχεία διατομής γέφυρας BR 212.

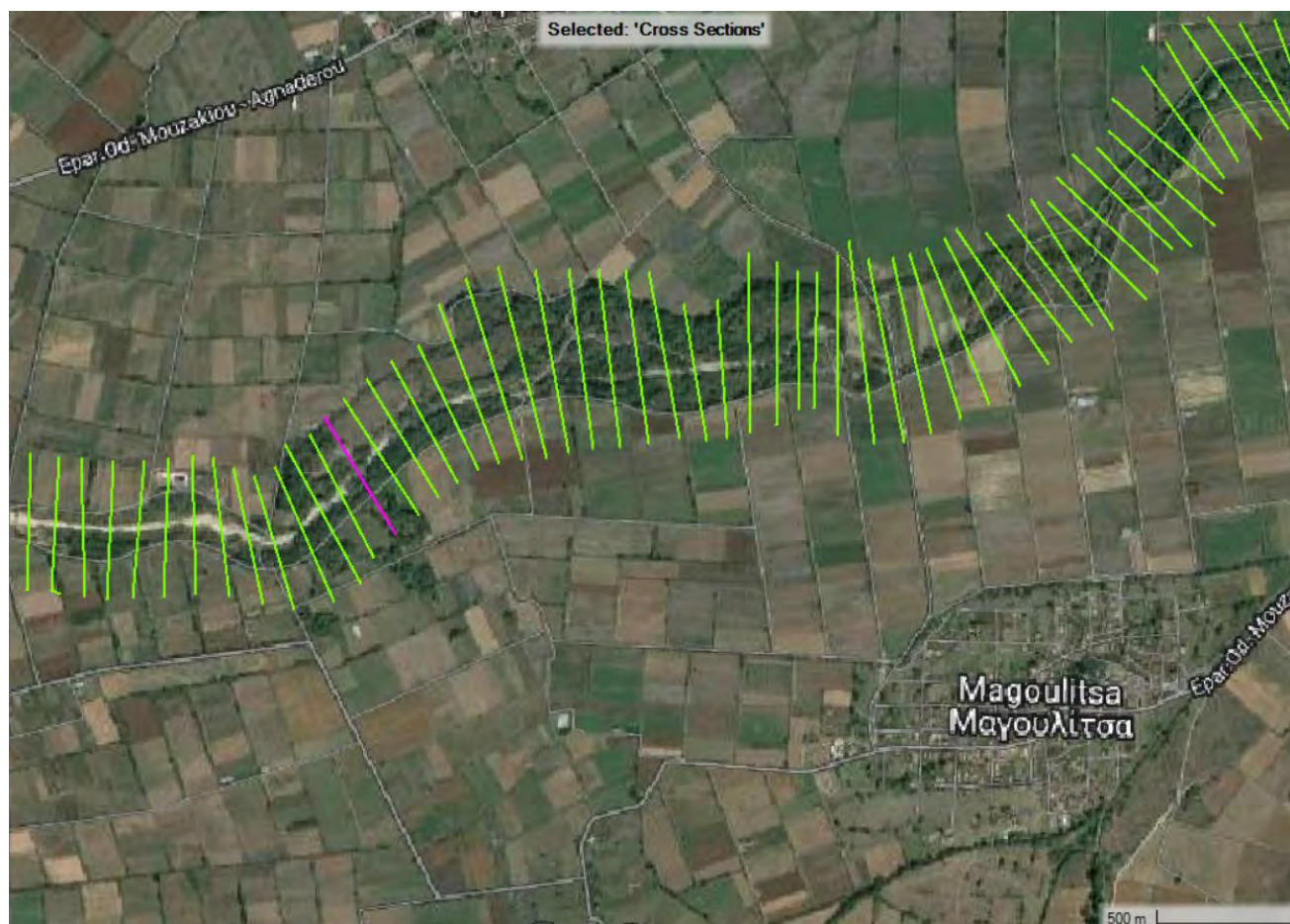


Σχήμα 3.30 Άποψη της κοίτης του ποταμού ανάντη της γέφυρας BR 212.

Επιπρόσθετα υπάρχουν περιοχές όπου εμφανίζονται αναβαθμοί και σε παρόχθιες πεδινές περιοχές. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα φαίνεται σε διατομή του ποταμού στην περιοχή πλησίον του οικισμού Μαγουλίτσας (Σχήμα 3.31), όπου στη νότια παρόχθια πλευρά του ποταμού εμφανίζονται εξάρσεις στην τοπογραφία. Η αντίστοιχη θέση της διατομής φαίνεται στο Σχήμα 3.32).



Σχήμα 3.31 Διατομή ποταμού όπου διακρίνονται αναβαθμοί-εξάρσεις της τοπογραφίας στην παρόχθια περιοχή νοτίως της κοίτης (δεξιά κατά τον άξονα x), πλησίον οικισμού Μαγουλίτσας.



Σχήμα 3.32 Απόσπασμα της περιοχής όπου διακρίνεται η διατομή (μωβ γραμμή) του Σχήματος 3.31 (σε περιβάλλον Google Hybrid).

Ενδεχομένως με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις, οι αποκλίσεις που εμφανίζει το ΨΜΕ από την πραγματικότητα να επηρεάζουν σημαντικά την αξιοπιστία της υδραυλικής προσομοίωσης στην περιοχή μελέτης.

3.3.6 Συντελεστής manning n

Στη συνέχεια, απαιτείται ο ορισμός της τιμής του συντελεστή Manning (n) σε επίπεδο κάθε διατομής, η οποία ενδέχεται να διαφέρει μεταξύ της κοίτης και των παρόχθιων περιοχών, λόγω γεωμετρικών και φυσιογραφικών διαφορών. Χαρακτηριστική είναι η επίδραση του τύπου βλάστησης στον συντελεστή αυτό.

Αναφορικά με τον συντελεστή τραχύτητας (manning, n), για την κοίτη του ποταμού επιλέχθηκαν τιμές με βάση τις προτεινόμενες από τον Chow (1959) για συνθήκες φυσιολογικής/κανονικής τιμής (Πίνακας 3.2, n-Normal).

Πίνακας 3.2 προτεινόμενες τιμές του συντελεστή τραχύτητας (manning, n) για την κοίτη υδατορέματος κατά Chow (1959).

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
Natural streams - minor streams (top width at floodstage < 100 ft)			
1. Main Channels			
a. clean, straight, full stage, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. same as "d" with more stones	0.045	0.050	0.060
g. sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stand of timber and underbrush	0.075	0.100	0.150

Με βάση τον παραπάνω πίνακα και λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες της κοίτης του Πάμισου, για το ανάντη τμήμα από τις πηγές έως και τον οικισμό Γελάνθης με σχετικά καθαρή κυρίως λόγω απότομων κλίσεων, επιλέχθηκε τιμή του συντελεστή τραχύτητας $n = 0.03$

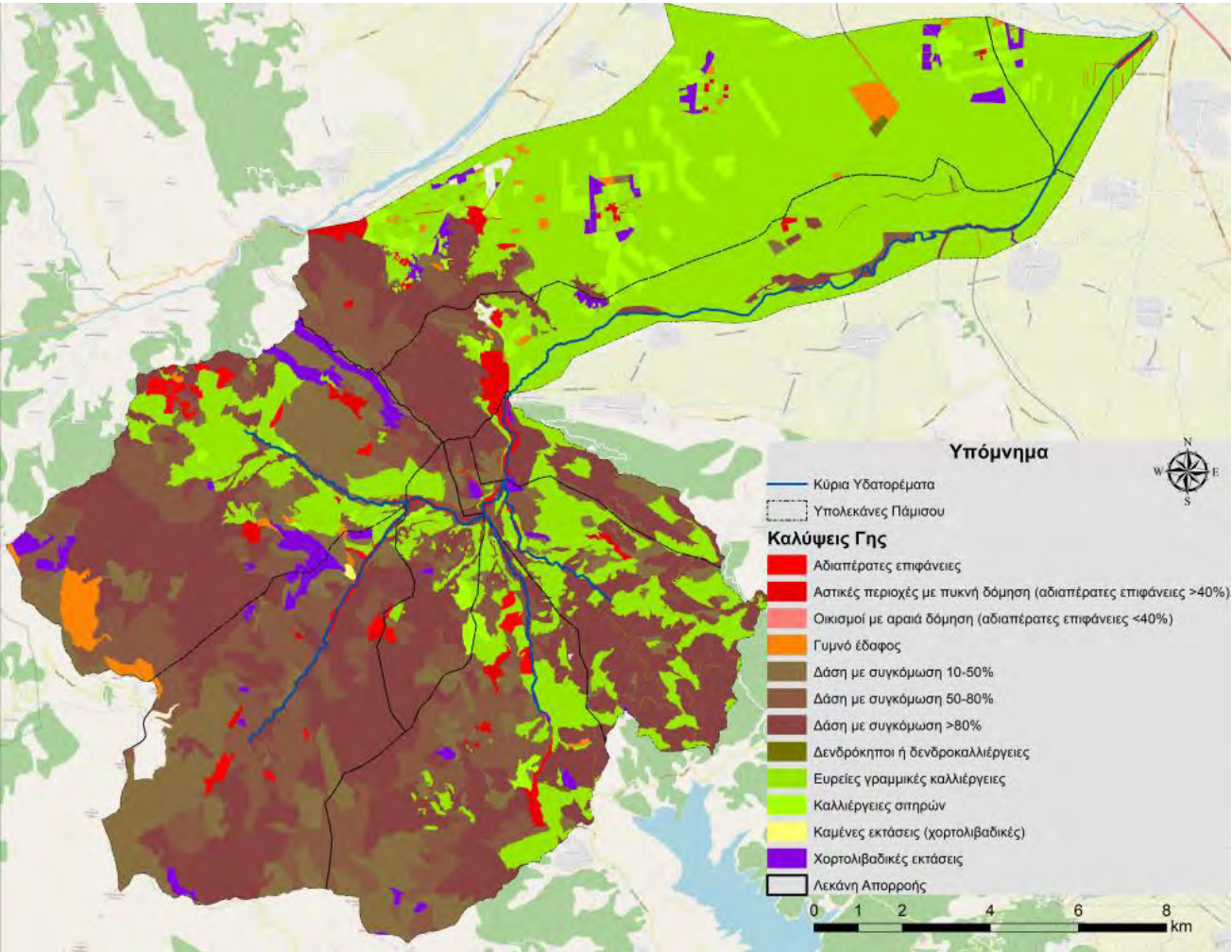
Στα κατάντη, στο πεδινό τμήμα που διατρέχει ο ποταμός από τον οικισμό Γελάνθης έως την εκβολή του στον Πηνειό ποταμό, η τραχύτητα είναι μεγαλύτερη λόγω συγκέντρωσης φερτών αλλά και βλάστησης, και επιλέχθηκε ως αντιπροσωπευτική η τιμή για $n=0.05$.

Για τον προσδιορισμό του συντελεστή τραχύτητας στις παρόχθιες περιοχές, αξιοποιήθηκε χάρτης χρήσεων γης (Σχήμα 3.33) σε συνδυασμό με την κατηγοριοποίηση των τιμών του όπως

προτείνονται από τους Papaioannou et al. (2018) και δίνονται στον Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3 Προτεινόμενες τιμές συντελεστή Manning κατάλληλες για την μοντελοποίηση πλημμύρας με βάση τους χάρτες Corine 2018 (Πηγή: Papaioannou et al., 2018).

Land cover	Manning's n
Broad-leaved forest	0.1
Complex cultivation patterns	0.04
Coniferous forest	0.1
Discontinuous urban fabric	0.013
Fruit trees	0.08
Land principally occupied by agriculture	0.05
Mixed forest	0.1
Non-irrigated arable land	0.05
Sclerophyllous vegetation	0.05
Transitional woodland-shrub	0.06

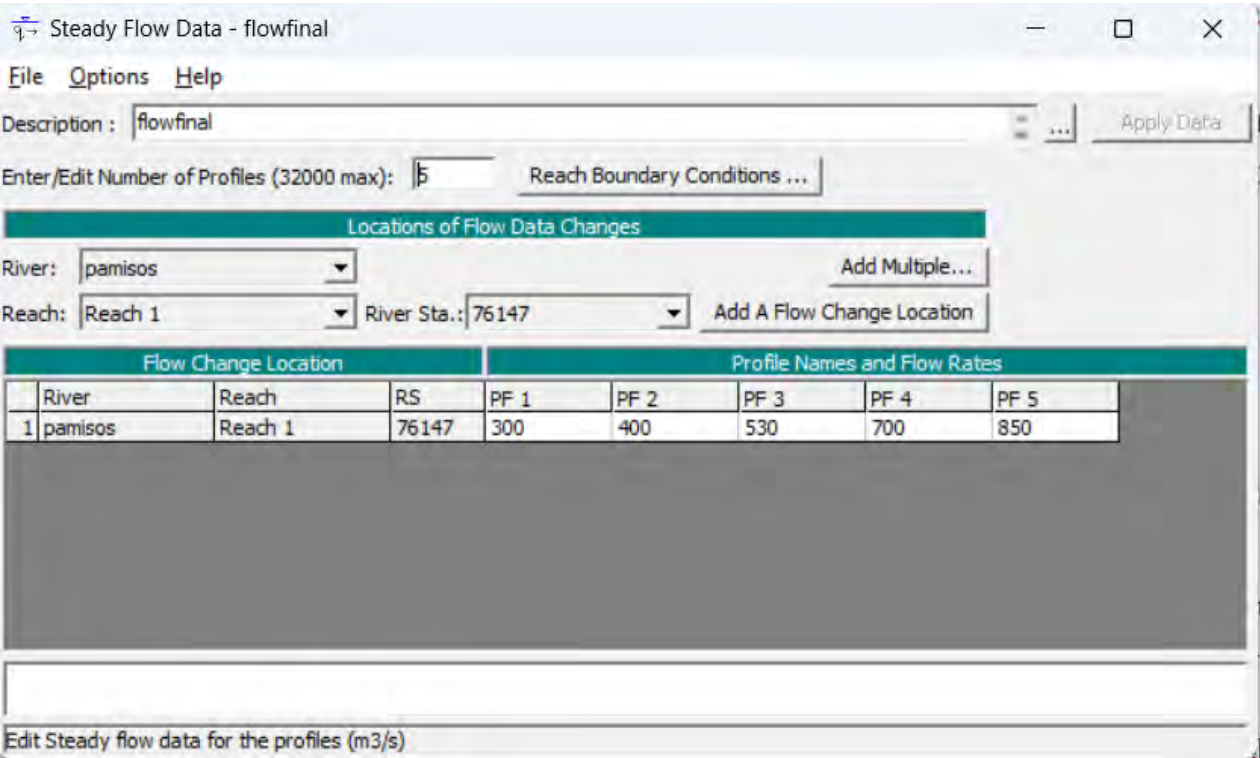


Σχήμα 3.33 Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του Πάμισου ποταμού κατά Corine 2018 (Βασιλειάδης και Μυλόπουλος, 2021).

Για τις παρόχθιες περιοχές όπου κυριαρχούν οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις και σύμφωνα με τους Παραϊοαννου et al. (2018), επιλέχθηκε τιμή του συντελεστή Manning, $n = 0.05$.

3.3.7 Στοιχεία παροχής

Με βάση τα Υδρολογικά δεδομένα του [Κεφαλαίου 3.2.3](#) λαμβάνεται παροχή σχεδιασμού για περίοδο επαναφοράς $T = 100$ έτη η οποία κυμαίνεται μεταξύ των τιμών $526,7 \text{ m}^3/\text{s}$ και $842,3 \text{ m}^3/\text{s}$ για μέσες και υγρές (δυσμενείς) συνθήκες εδαφικής υγρασίας, CNII και CNIII, αντίστοιχα. Εξετάστηκαν 5 προφίλ μόνιμης ροής για τιμές παροχής μεταξύ $300 \text{ m}^3/\text{s}$ έως $850 \text{ m}^3/\text{s}$ προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της αύξησης της παροχής στο υπό μελέτη υδατόρεμα. Στο Σχήμα 3.34 παρουσιάζονται τα προφίλ των παροχών σε m^3/s στην καρτέλα Steady Flow Data για την πραγματοποίηση της προσομοίωσης.



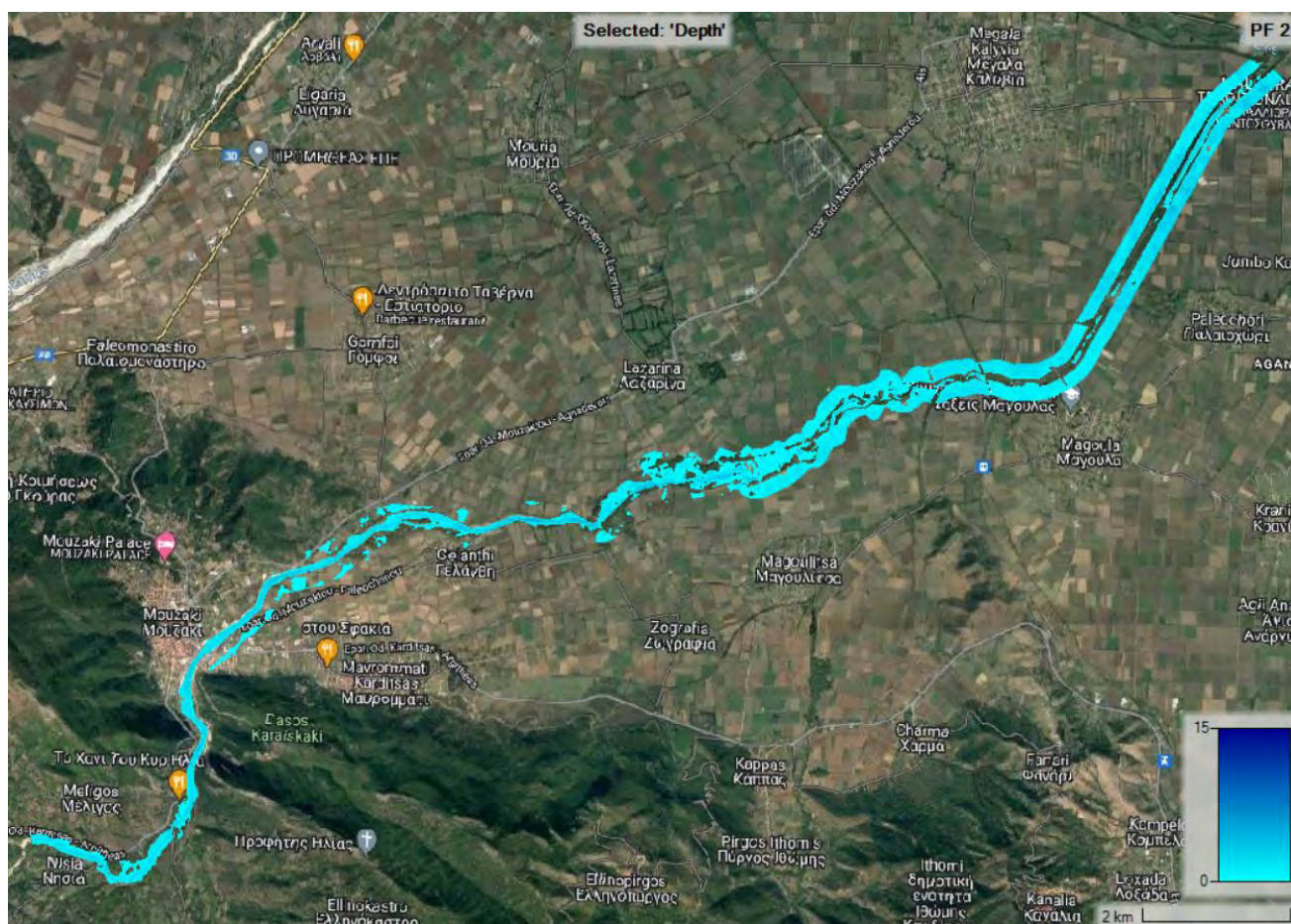
Σχήμα 3.34 Εισαγωγή στο menu δεδομένων παροχής του Hec – Ras, για συνθήκες μόνιμης ροής.

Για την εκτέλεση προσομοίωσης για συνθήκες μόνιμης ροής, απαιτείται στη συνέχεια η εισαγωγή στοιχείων για να οριστούν βασικές οριακές συνθήκες. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ανάντη και κατάντη του ποταμού ως οριακή συνθήκη το Ομοιόμορφο Βάθος (Normal Depth), και ορίστηκε η μέση τιμή της κατά μήκος κλίσης του πυθμένα της κοίτης ίση με 0,002.

3.3.8 Αποτέλεσμα προκαταρκτικής υδραυλικής προσομοίωσης

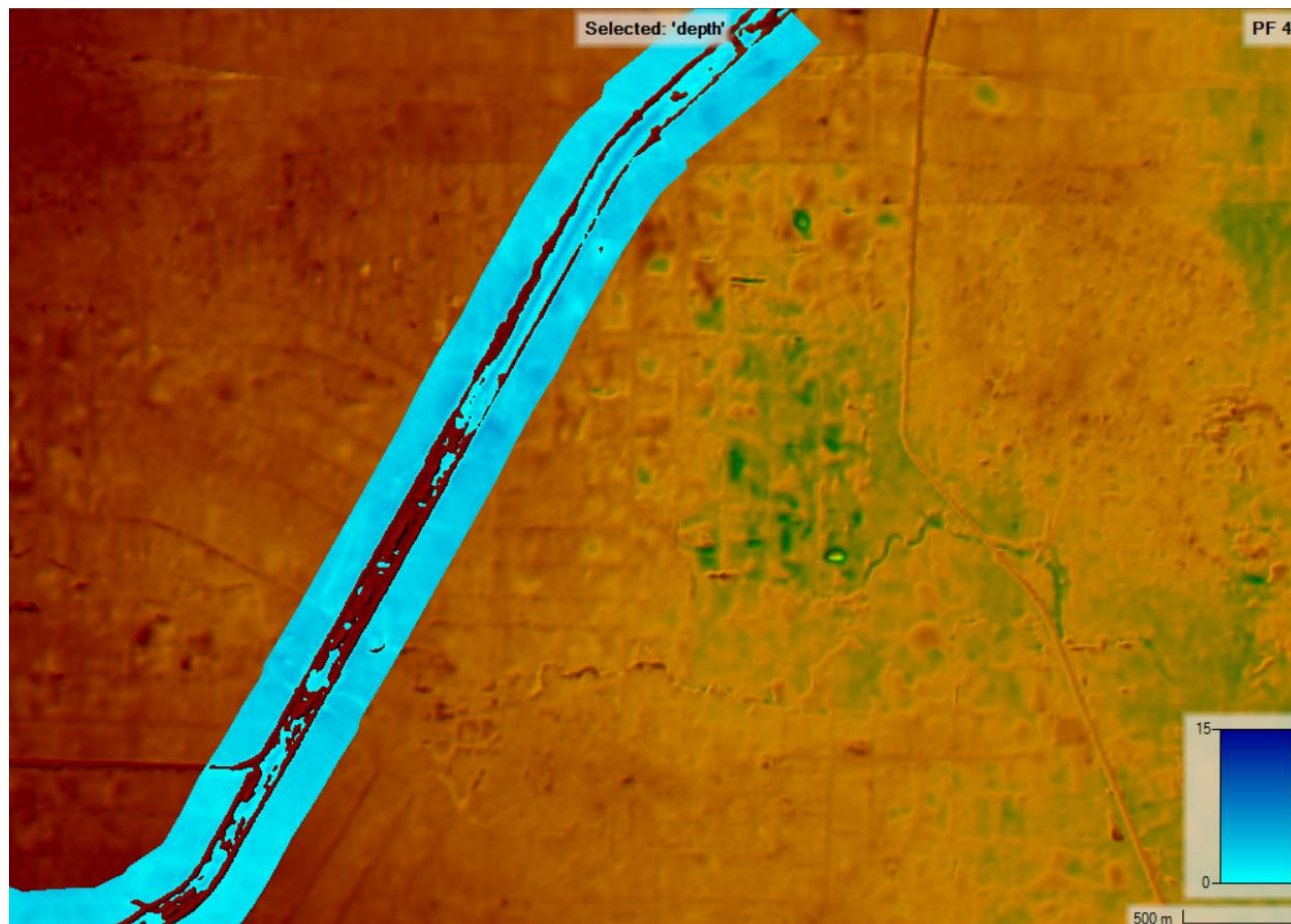
Η προκαταρκτική υδραυλική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε ώστε να διερευνηθεί κατά πόσο επηρεάζουν οι αποκλίσεις της τοπογραφίας του ΨΜΕ από την πραγματικότητα όπως καταγράφηκαν στο Κεφάλαιο 3.3.5, μια αξιόπιστη απεικόνιση της πλημμύρας στην περιοχή μελέτης. Βασικός στόχος ήταν να εξεταστεί κατά πόσο και σε ποιο βαθμό θα έπρεπε να ληφθούν υπόψη οι σχετικές παρατηρήσεις.

Το αποτέλεσμα της προκαταρκτικής υδραυλικής προσομοίωσης όπως εκτελέστηκε με βάση τα βήματα που περιγράφονται στα κεφάλαια 3.3.1 έως 3.3.7 δίνεται στην παρακάτω εικόνα (Σχήμα 3.35). Φαίνεται ότι όχι μόνο για την παροχή σχεδιασμού αλλά και σημαντικά μικρότερη αυτής, για το μεγαλύτερο μήκος του ποταμού (από την περιοχή πλησίον του οικισμού Γελάνθης μέχρι τη συμβολή με τον Πηνειό ποταμό), η παρόχθια ζώνη εκατέρωθεν της κοίτης υφίσταται πλημμύρα, γεγονός που δεν συμπίπτει με παρατηρήσεις από στοιχεία ιστορικών πλημμυρών. Επίσης, παρατηρώντας την γενική εικόνα της προσομοίωσης της πλημμύρας για τον Πάμισο ποταμό κατά την προκαταρκτική υδραυλική προσομοίωση, προκύπτει ότι για σημαντικό τμήμα της διόδευσης δεν υπάρχει νερό εντός της κοίτης, αντίθετα με τις φυσικές συνθήκες όπως παρατηρούνται.



Σχήμα 3.35 Χάρτης πλημμύρας Πάμισου ποταμού, σε υπόβαθρο περιβάλλοντος Google Hybrid, προκαταρκτική υδραυλική προσομοίωση, για παροχή σχεδιασμού $550 \text{ m}^3/\text{s}$.

Στο Σχήμα 3.36 δίνεται ένα απόσπασμα της υδραυλικής προσομοίωσης όπου φαίνεται ότι το βάθος ροής για μεγάλο μήκος του ποταμού εντός της κοίτης του είναι πρακτικά μηδενικό.



Σχήμα 3.36 Απόσπασμα χάρτη πλημμύρας, σε υπόβαθρο ΨΜΕ, προκαταρκτική υδραυλική προσομοίωση, πεδινό τμήμα Πάμισου ποταμού, περιοχή Αγναντερό.

Έπειτα από διερεύνηση της εμφάνισης των παραπάνω λογικών σφαλμάτων, κρίθηκε ότι η βασική αιτία ήταν η φύση και η τάξη μεγέθους των αποκλίσεων της τοπογραφίας του ΨΜΕ από την πραγματικότητα, όπως εντοπίστηκε και παρουσιάζεται προηγουμένως στο κεφάλαιο 3.3.5.

3.3.9 Συμπεράσματα προκαταρκτικής υδραυλικής προσομοίωσης

Λαμβάνοντας υπόψη την διερεύνηση της ακρίβειας του ΨΜΕ (βλ. Κεφάλαιο 3.2), να σημειωθεί ότι η γεωμετρική ακρίβεια του προϊόντος είναι σχετικά μικρή. Πράγματι εντοπίστηκαν αποκλίσεις της τάξης μέτρων από πραγματικά δεδομένα πεδίου. Τα συστηματικά λάθη του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, οφείλονται στο γεγονός ότι έχουν ληφθεί υπόψη ως υψόμετρα στοιχεία που δεν είναι έδαφος και εμφανίζονται ως τέτοιο (πχ βλάστηση, κατασκευές). Ιδίως για τη βλάστηση, και κυρίως για τα δέντρα τα οποία έχουν και κατά τόπους σημαντικό ύψος, τα υψόμετρα των θόλων τους έχουν

αλλοιώσει σημαντικά το ΨΜΕ. Το πρόβλημα αυτό που συνδέεται με την εξαγωγή του ΨΜΕ από στοιχεία αεροφωτογραφιών έχει διαπιστωθεί και καταγραφεί και σε σχετικές τεχνικές εκθέσεις σε παλαιότερες υδραυλικές προσομοιώσεις για λογαριασμό του αρμόδιου υπουργείου (floods.ypeka.gr), ωστόσο η δυνατότητα διόρθωσης τέτοιων ΨΜΕ ήταν σχετικά περιορισμένη και βασιζόταν κυρίως σε κάποιες συμπληρωματικές επιτόπιες σημειακές μετρήσεις υψομέτρων σε τεχνικά έργα, χωρίς όμως να προτείνεται κάποια ενιαία και διακριτοποιημένη μεθοδολογία.

Κατά συνέπεια απαιτείται διόρθωση που περιλαμβάνει δύο σκέλη:

1. Την αφαίρεση της συνεισφοράς των υψομέτρων λόγω της βλάστησης για την πιο ορθή αποτύπωση της τοπογραφίας της κοίτης του ποταμού.

Γενικά η συνεισφορά υψομέτρων λόγω βλάστησης αλλοιώνει τα βάθη της κοίτης και η τάση που παρατηρείται είναι να μικραίνει σημαντικά το συνολικό βάθος μεταξύ του πυθμένα και της στέψης των αναχωμάτων, επηρεάζοντας δραστικά και το εμβαδόν άρα και την παροχευτικότητα της εκάστοτε διατομής του ποταμού.

2. Την διόρθωση του ύψους των αναχωμάτων.

Γενικά τα υψόμετρα της στέψης των αναχωμάτων παρουσιάζουν χαμηλότερα υψόμετρα από την πραγματικότητα από 1 έως 2 μέτρα, ιδίως στην πεδινή περιοχή όπου αλλοιώνονται τα υψόμετρα λόγω της συνεισφοράς βαθύτερων κοντινών σημείων εντός της κοίτης του ποταμού, κατά την δημιουργία του ΨΜΕ.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η γεωμετρική ακρίβεια του διαθέσιμου ΨΜΕ, δεν επιτρέπει τρισδιάστατες υδραυλικές προσομοιώσεις με στόχο την εκτίμηση του βάθους κατάκλυσης για μια δυνητικά πλημμυρισμένη παραρεμάτια περιοχή, καθώς τόσο οι διαφορές υψών μεταξύ αρδευτικών καναλιών και γεωργικών πεδίων ιδίως στην πεδινή περιοχή αλλά και το εν δυνάμει βάθος πλημμύρας είναι ίδιας τάξης μεγέθους με τα σφάλματα αποτύπωσης της υφιστάμενης κατάστασης.

3.4 Μεθοδολογία διόρθωσης ΨΜΕ

Έπειτα από τις παρατηρήσεις στο αρχικό ΨΜΕ όπως περιγράφονται στα κεφάλαια 3.3.5 και 3.3.9, κρίθηκε αναγκαίο να αφαιρεθούν στοιχεία από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που δεν είναι έδαφος και εμφανίζονται ως τέτοιο (πχ βλάστηση, κατασκευές). Αναζητήθηκαν συμπληρωματικές μετρήσεις, και λήφθηκαν υπόψη μετρήσεις πεδίου που αποτυπώνονται σε τοπογραφικά στοιχεία των γεφυρών της περιοχής μελέτης καθώς και το πρόγραμμα Google Earth.

Τα βασικά κριτήρια χάραξης του Πάμισου ποταμού όπως αποτυπώνεται στο ΨΜΕ συνοψίζονται στα ακόλουθα:

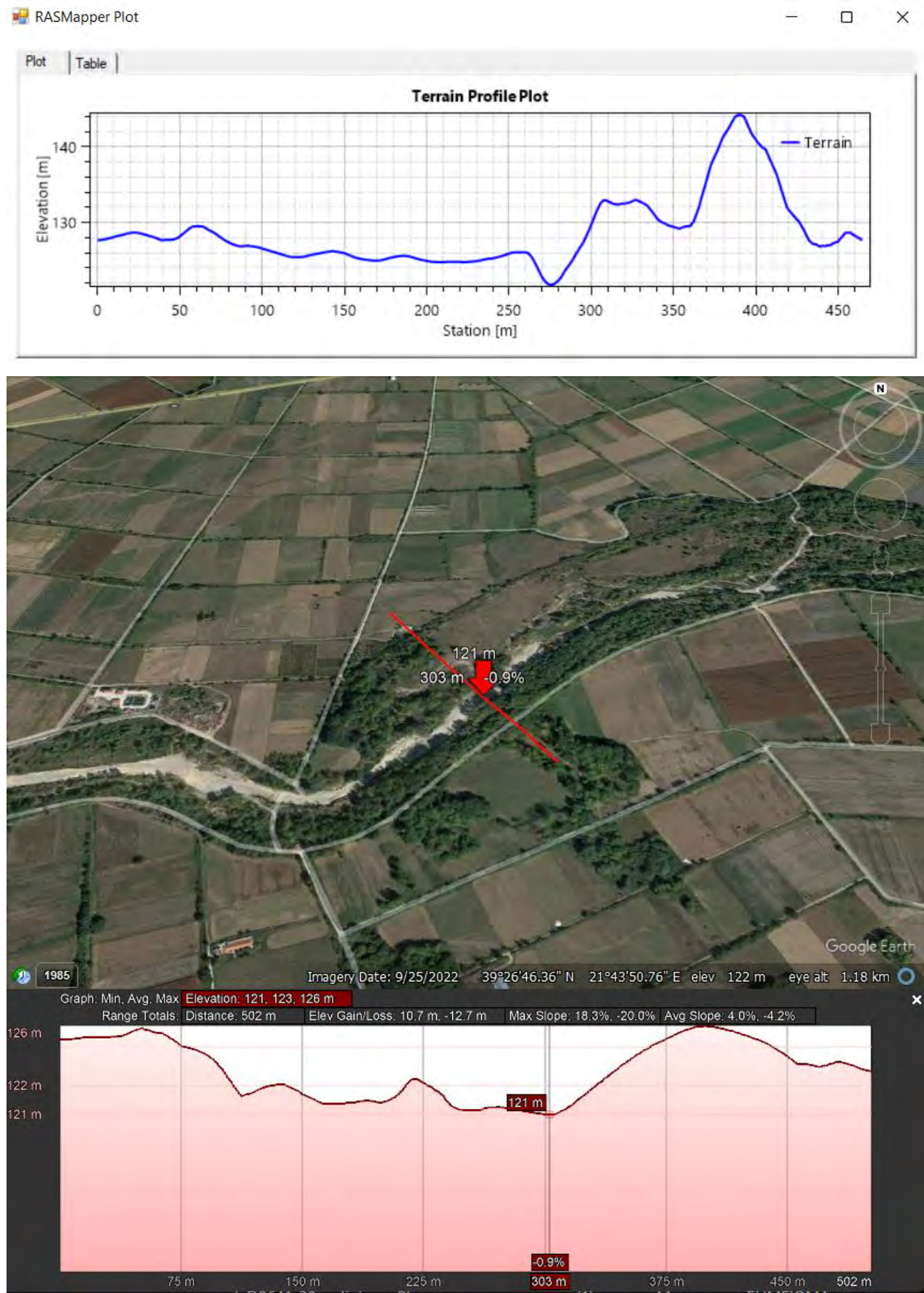
- Η ψηφιακή αποτύπωση του άξονα του ποταμού (κύριος κλάδος Πάμισου) να συμπίπτει όσο πιο κοντά στο χαμηλότερο υψόμετρο του πυθμένα ανά θέση θεωρώντας άξονα x τον άξονα του ποταμού.
- Στην ψηφιακή αποτύπωση των ορίων της παρόχθειας ζώνης, εκατέρωθεν και εντός των ορίων αυτών να συμπεριλαμβάνονται η “περιοχή” κοίτης του ποταμού και όποια φυσικά ή τεχνητά αναχώματα/επιχώματα παρεμβάλλονται μεταξύ κοίτης και περιοχής μελέτης πλημμύρας/εν δυνάμει πλημμυρικού πεδίου.
- Η ψηφιακή αποτύπωση για τις όχθες του ποταμού να ακολουθεί τη γεωμετρία της κοίτης του ποταμού (διατομή ποταμού ανά θέση).

Η διόρθωση του τοπογραφικού υποβάθρου/ψηφιακού μοντέλου εδάφους, εφαρμόστηκε ποσοτικά με ενιαίο τρόπο για όλο το μήκος του Πάμισου ποταμού.

Τοπογραφικά σφάλματα λόγω βλάστησης:

Εντοπίστηκαν και αφαιρέθηκαν τα δέντρα σε αντιστοιχία με τις περιοχές εμφάνισής τους στην αντίστοιχη αεροφωτογραφία σε περιβάλλον Google Hybrid. Να σημειωθεί ότι η πιο μεγάλη δυσκολία εντοπίστηκε στη διόρθωση περιοχών όπου τα δέντρα σκέπαζαν τα αναχώματα κατά μήκος του ποταμού και για αυτές τις περιπτώσεις τα σφάλματα ήταν εκτεταμένα και οι αποκλίσεις από την πραγματικότητα σημαντικές. Επίσης υπήρξε η δυσκολία να καθοριστούν τα υψόμετρα στέψης των εν λόγω αναχωμάτων αφαιρώντας την συνεισφορά/αλλοίωση σε αυτά από την βλάστηση και να διαμορφωθεί η πραγματική διατομή του ποταμού σε αυτές τις θέσεις. Εφαρμόστηκαν λοιπόν απλοποιητικές παραδοχές-ενιαίες συμβάσεις για το ποτάμι, με χρήση τοπογραφικών στοιχείων από το πρόγραμμα Google earth (latest edition) αλλά και των τοπογραφικών στοιχείων από τις θέσεις των γεφυρών όπου αυτά υπάρχουν. Ένα χαρακτηριστικά παράδειγμα της απόκλισης των υψομέτρων μεταξύ του ΨΜΕ και των υψομέτρων που δίνει το πρόγραμμα Google Earth, δίνεται στο Σχήμα 3.37.

Χαρακτηριστική είναι η διαφορά στα υψόμετρα στην νότια παρόχθια ζώνη του ποταμού, όπου στο ΨΜΕ είναι της τάξης των 18 μ πιο ψηλά που προφανώς οφείλεται στο ότι σε αυτό έχουν ληφθεί οι θόλοι των δέντρων όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.37 ως υψόμετρα εδάφους.



Σχήμα 3.37 Παράδειγμα απόκλισης των υψομέτρων μεταξύ του διαθέσιμου ΨΜΕ και των αντίστοιχων υψομέτρων από το πρόγραμμα Google Earth.

Ωστόσο, υπήρχε περιορισμός στην αξιοποίηση του Google earth καθώς και αυτό έχει αλλοιώσεις από δέντρα που έχουν ληφθεί ως υψόμετρα εδάφους, στις περιοχές του ποταμού όπου οι διατομές είναι πιο στενές και τα δέντρα καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της κοίτης. Παρ' όλα αυτά εντοπίστηκαν σημεία όπου δεν υπάρχει η αλλοίωση των υψομέτρων του εδάφους λόγω βλάστησης ώστε να ληφθούν υπόψη στη διασταύρωση με τα τοπογραφικά δεδομένα του ΨΜΕ. Η πληροφορία αυτή ήταν αρκετά χρήσιμη στον προσδιορισμό της τοπογραφίας των διατομών και σε συνδυασμό με την εικόνα σε περιβάλλον Google Hybrid, αλλά και του εργαλείου Street View του Google Earth όπου αυτό ήταν δυνατόν, έγινε πιο λεπτομερής εκτίμηση της διαμόρφωσης της τοπογραφίας της κοίτης.

Αρκετά χρήσιμα ήταν και τα διαθέσιμα στοιχεία γεφυρών (υψόμετρα στέψη αναχωμάτων, πυθμένα κοίτης, γεωμετρία διατομής).

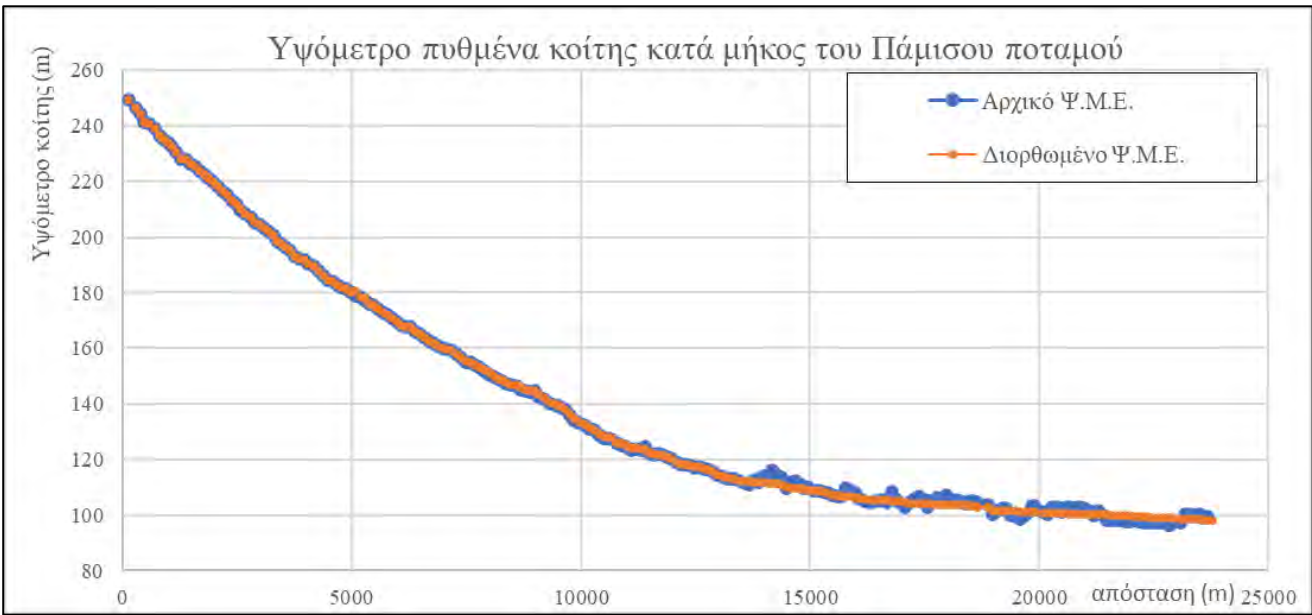
Με στόχο λοιπόν να αφαιρεθούν στοιχεία από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που δεν είναι έδαφος και εμφανίζονται ως τέτοιο (πχ βλάστηση, κατασκευές) ούτε είναι κάποιου είδους τεχνητή κατασκευή ικανή να επιδράσει σημαντικά στην ροή του ποταμού (πχ ανάχωμα δρόμου, γέφυρα, κτήριο μεγάλων διαστάσεων κλπ), ένα βασικό στοιχείο που λήφθηκε υπόψη ήταν να εκτιμηθεί η κατά μήκος αλλαγή κλίσης του ποταμού (μεταξύ διατομών με απόσταση 100 m) όπου τα συμπληρωματικά τοπογραφικά δεδομένα έδιναν ικανοποιητική απεικόνιση της πραγματικής κατάστασης (πχ αντίστοιχη κλίση της παρακείμενης αγροτικής-πεδινής έκτασης).

Η διόρθωση έγινε σε διατομές (με μέση πυκνωση των 100 m) κατά μήκος του άξονα του ποταμού, με τα υψόμετρα του πυθμένα κοίτης (σημείο με χαμηλότερο υψόμετρο ανά διατομή-κύρια κοίτη, καθώς κατά τόπους ο ποταμός εμφανίζει διπλή κοίτη), τα υψόμετρα στις εκατέρωθεν θέσεις μεταξύ κοίτης ποταμού και παρόχθειας ζώνης (πεδιάδα) και τα μέγιστα υψόμετρα των φυσικών ή τεχνητών αναχωμάτων όπου υπάρχουν, σε συνάρτηση με την θέση κατά άξονα y κάθετα στην ροή όπως αυτά καταγράφηκαν έπειτα από την διασταύρωση αυτών των τοπογραφικών στοιχείων όπως αναφέρεται προηγουμένως. Για τα υπόλοιπα υψόμετρα της κοίτης του ποταμού ανά διατομή, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της αντίστοιχης τοπογραφίας τόσο με γραμμική παρεμβολή αλλά και της αντίστοιχης εικόνας σε περιβάλλον Google Hybrid με τη θεώρηση ότι η περιοχή ροής του Πάμισου ποταμού είναι μεταξύ των αναχωμάτων (ενδεικτικά βλ. Σχήμα 3.24, γαλάζιες γραμμές).

Έπειτα από διασταύρωση των τοπογραφικών δεδομένων που συνοδεύουν τα στοιχεία των γεφυρών τόσο με το ΨΜΕ αλλά και με τα πρόσθετα στοιχεία από το πρόγραμμα Google Earth, υπήρχε μια συστηματική τάση τα υψόμετρα της στέψης των αναχωμάτων, να έχουν αποκλίσεις με ταπείνωση έως 2 m.

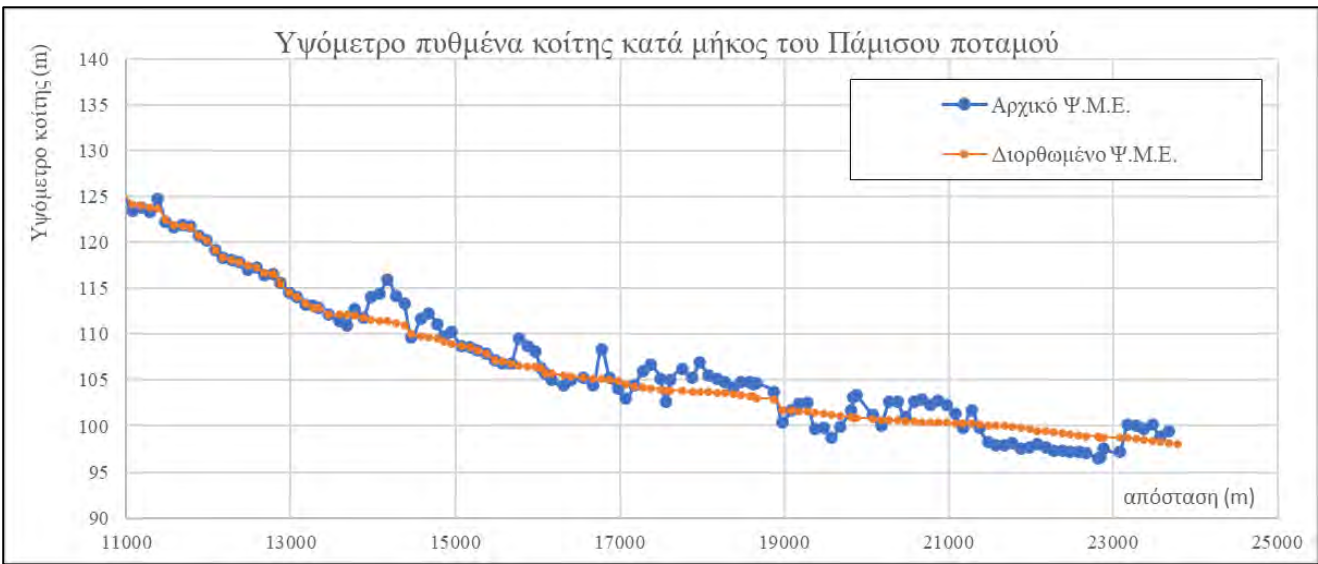
Η πληροφορία αυτή αξιοποιήθηκε λαμβάνοντας υπόψη υψηλότερα ύψη της στέψης των αναχωμάτων, και σε συνδυασμό με την αντίστοιχη κλίση του ποταμού ανά τμήμα αυτά διαμορφώθηκαν από 0,5 έως 2 m υψηλότερα, έτσι ώστε το βάθος του ποταμού να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικό της υφιστάμενης κατάστασης.

Η συνολική εικόνα από τη διασταύρωση τοπογραφικών δεδομένων και διόρθωσης του διαθέσιμου ΨΜΕ αποτυπώνεται στα ακόλουθα διαγράμματα.



Σχήμα 3.38 Υψόμετρο πυθμένα κοίτης πριν και μετά την διόρθωση του ΨΜΕ, για όλο το μήκος που διατρέχει ο Πάμισος (Πηγή: ιδία επεξεργασία).

Στην παραπάνω εικόνα είναι εμφανές το αποτέλεσμα της διόρθωσης κυρίως στο πεδινό τμήμα της λεκάνης απορροής του Πάμισου, με την αντίστοιχη κλίση να αποτυπώνει αρκετά πιο ρεαλιστικά την υφιστάμενη κατάσταση, σε σχέση με τα αρχικά δεδομένα. Η μη ρεαλιστική απεικόνιση της κατά μήκος εξέλιξης του υψομέτρου του πυθμένα είναι εμφανής ιδίως στο πεδινό τμήμα, και δίνεται σε κατάλληλη κλίμακα στο Σχήμα 3.39 που ακολουθεί.



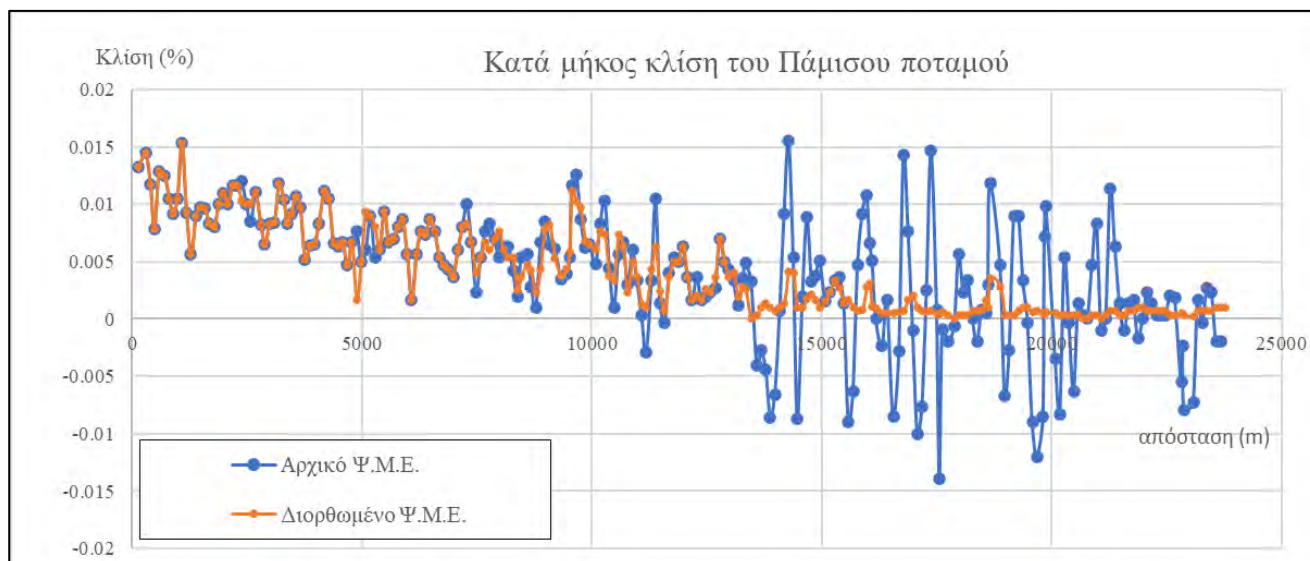
Σχήμα 3.39 Υψόμετρο πυθμένα κοίτης πριν και μετά την διόρθωση του ΨΜΕ, για το πεδινό τμήμα της λεκάνης απορροής (Πηγή: ιδία επεξεργασία).

Ένα σημαντικό στοιχείο που αποτυπώθηκε κατά την διαδικασία διόρθωσης του ΨΜΕ, ήταν ο κατά προσέγγιση υπολογισμός του εμβαδού της διατομής της κοίτης κατά μήκος της διαδρομής του Πάμισου. Παρατηρώντας τη μεταβολή του εμβαδού της κοίτης όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.40, εμφανίζεται μια σταδιακή μείωση του στο μέσον περίπου του πεδινού τμήματος. Σε συνδυασμό με την αντίστοιχη αποτύπωση της κατά μήκος κλίσης έπειτα από την απαιτούμενη διόρθωση του ΨΜΕ που παρατίθεται στο Σχήμα 3.39, στην περιοχή αυτή υπάρχει και μια σημαντική μεταβολή και σταδιακή μείωση της κλίσης (κατά μήκος τμήμα ποταμού μεταξύ 10000-15000 m μετρώντας από τα ανάντη).



Σχήμα 3.40 Εμβαδό διατομής κοίτης μετά την διόρθωση του ΨΜΕ (Πηγή: ίδια επεξεργασία).

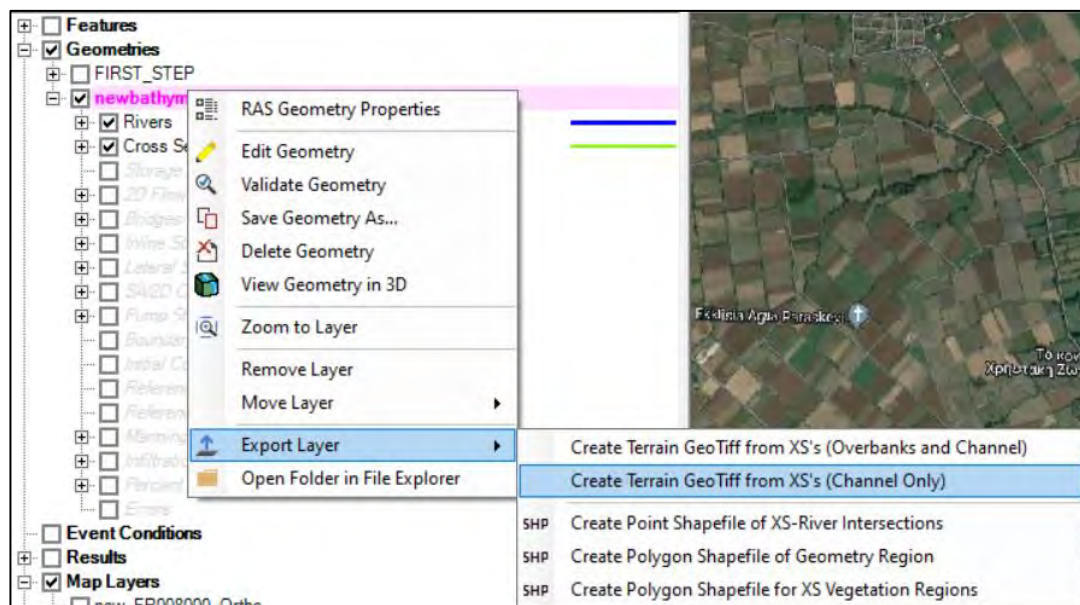
Στην ακόλουθη εικόνα που αποτυπώνει την εξέλιξη της κατά μήκος κλίσης του Πάμισου, είναι χαρακτηριστική η εμφάνιση πολύ μεγάλων διακυμάνσεων αλλά και αρνητικών τιμών ιδίως στο πεδινό τμήμα στο αρχικό ΨΜΕ, ενώ με βάση την πραγματική κατάσταση κυριαρχεί κατωφέρεια ήπιας κλίσης την οποία προσεγγίζει ικανοποιητικά το αποτέλεσμα της διόρθωσης.



Σχήμα 3.41 Κατά μήκος κλίση με βάση τα υψόμετρα του πυθμένα κοίτης πριν και μετά την διόρθωση του ΨΜΕ, για όλο το μήκος που διατρέχει ο Πάμισος (Πηγή: ίδια επεξεργασία).

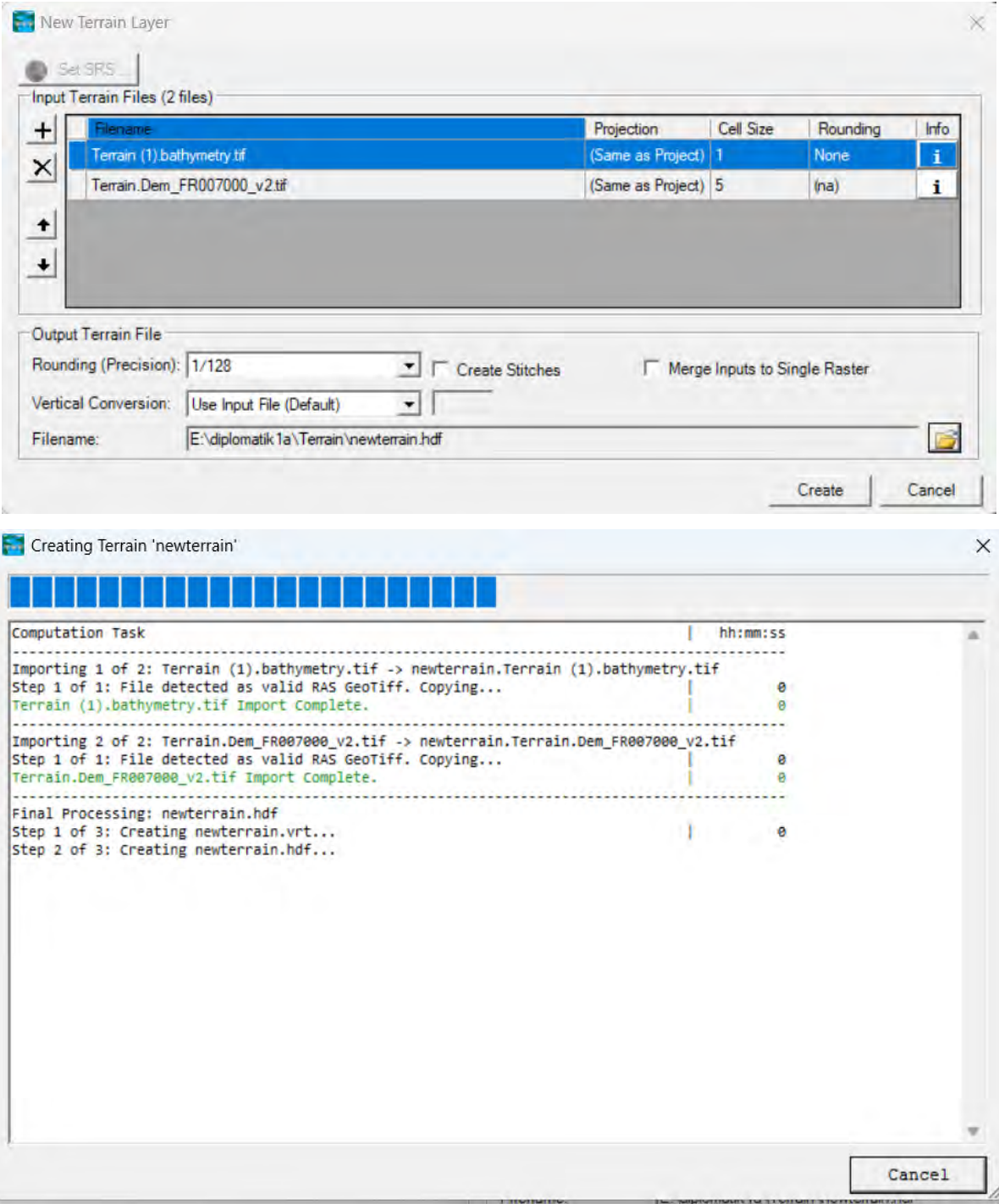
Εφόσον έγινε η διόρθωση σε επίπεδο διατομών για την κοίτη του ποταμού και τις εφαιπόμενες παρόχθιες περιοχές, στη συνέχεια δημιουργήθηκε νέο DEM ώστε να καθοριστούν πιο ορθά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για την υδραυλική προσομοίωση, αξιοποιώντας διαθέσιμα εργαλεία του λογισμικού HEC-RAS, που επιτρέπουν την τροποποίηση υφιστάμενου μέσω διόρθωσης σε επίπεδο διατομών.

Ενδεικτικά αναφέρεται η διαδικασία που απαιτήθηκε για την δημιουργία νέου DEM μετά τις διορθώσεις σε επίπεδο διατομών. Αρχικά αποθηκεύουμε το αρχείο με τη νέα γεωμετρία του ποταμού, μετά την διόρθωση των διατομών όπως περιγράφηκε παραπάνω, με την ονομασία newbathymetry. Στη συνέχεια, στο περιβάλλον του Ras Mapper κάνουμε δεξί κλικ στην νέα γεωμετρία και από το μενού που ανοίγει επιλέγουμε Export Layer και μετά την επιλογή Create Terrain Geo Tiff from XS's (Channel Only) (Σχήμα 3.42). Στο παράθυρο που ανοίγει αποθηκεύουμε το terrain με την ονομασία bathymetry και ορίζουμε ανάλυση 1 m (Εικόνα).



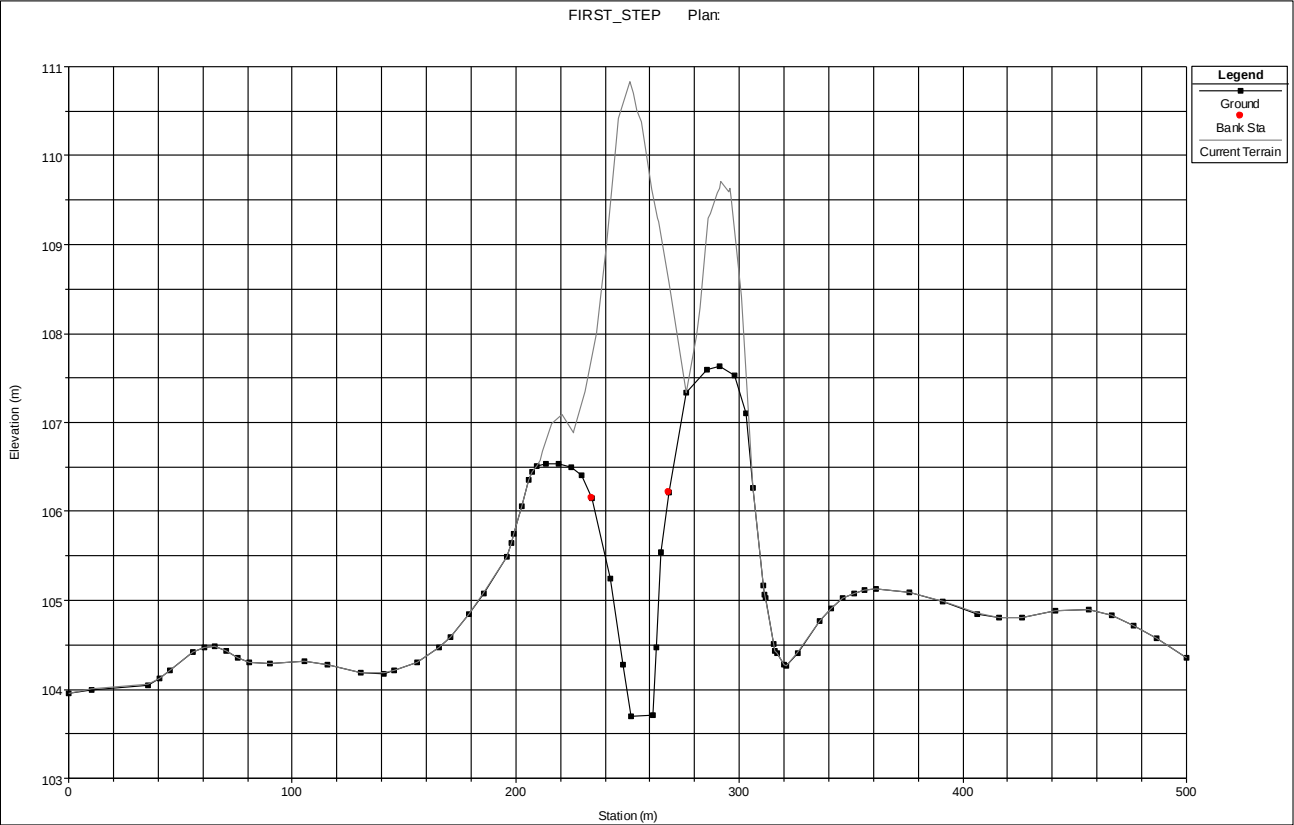
Σχήμα 3.42 Εισαγωγή διορθώσεων σε επίπεδο διατομών στο υφιστάμενο DEM.

Έπειτα, απαιτείται να γίνει συγχώνευση του νέου αρχείου (bathymetry) με το αρχικό ΨΜΕ. Στην καρτέλα terrain κάνουμε δεξί κλικ και επιλέγουμε New Ras Terrain, και από το νέο παράθυρο με την επιλογή (+) εισάγουμε το παλιό και το νέο αρχείο tif. Τέλος με την επιλογή Create παράγεται το νέο τοπογραφικό (Σχήμα 3.43).

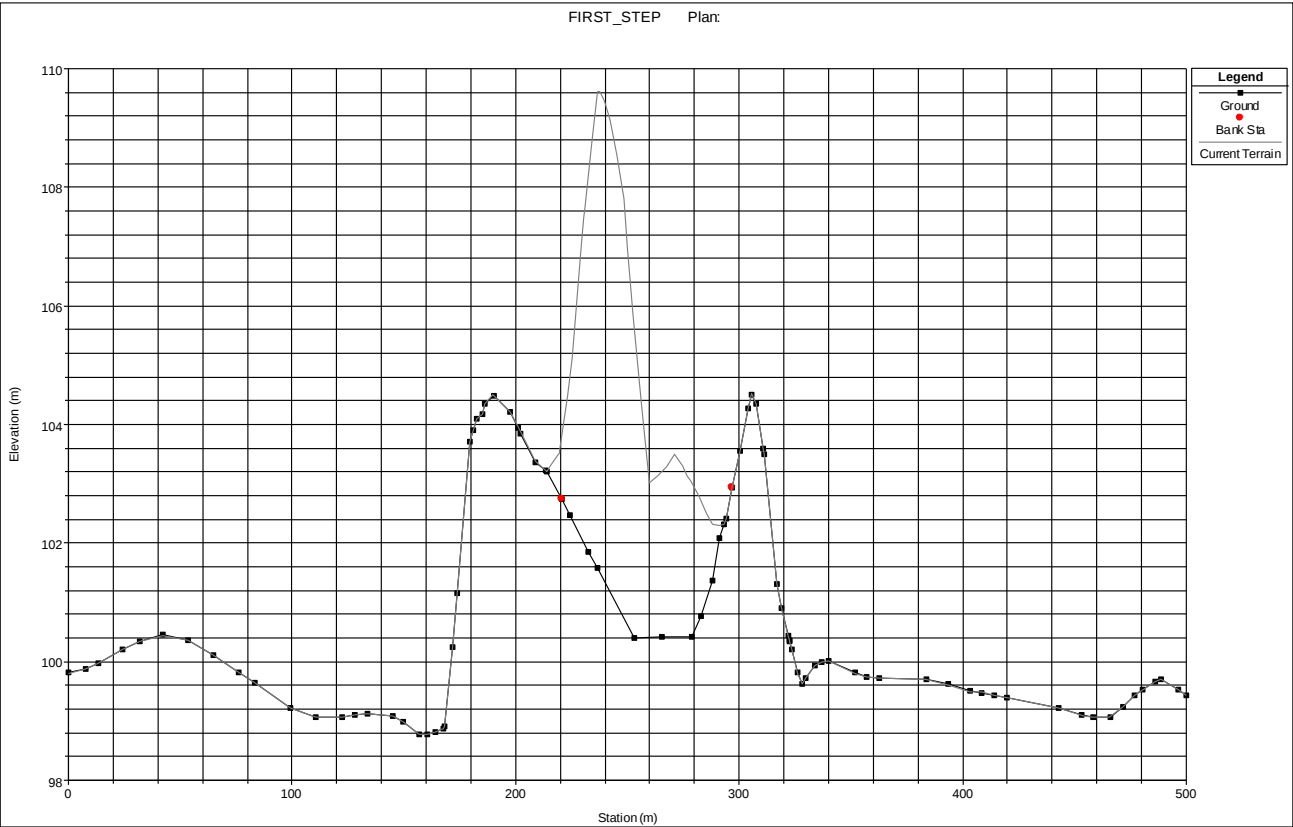


Σχήμα 3.43 Δημιουργία νέου DEM, με ενσωμάτωση των διορθώσεων σε επίπεδο διατομών στο υφιστάμενο.

Ακολουθούν ενδεικτικά παραδείγματα διατομών, πριν και μετά την διαδικασία διόρθωσης Σχήμα 3.44, Σχήμα 3.45.

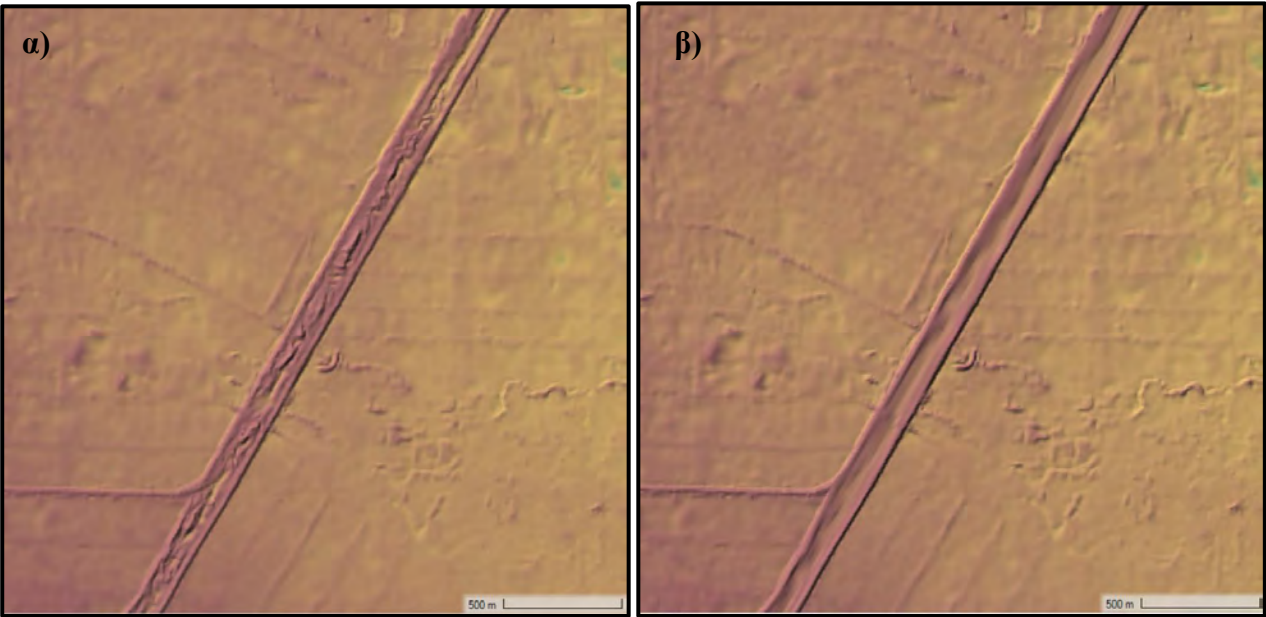


Σχήμα 3.44 Υψόμετρα διατομής, πριν και μετά την διαδικασία διόρθωσης κοντά στον οικισμό του Αγναντερού (έντονη μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στη διορθωμένη τοπογραφία).



Σχήμα 3.45 Υψόμετρα διατομής, πριν και μετά την διαδικασία διόρθωσης κοντά στην εκβολή του Πάμισου ποταμού (έντονη μαύρη γραμμή αντιστοιχεί στη διορθωμένη τοπογραφία).

Τέλος παρατίθεται ένα ενδεικτικό απόσπασμα από το νέο ΨΜΕ σε σχέση με το αρχικό, στην περιοχή μεταξύ των οικισμών της Μαγούλας και του Αγναντερού (Σχήμα 3.46).



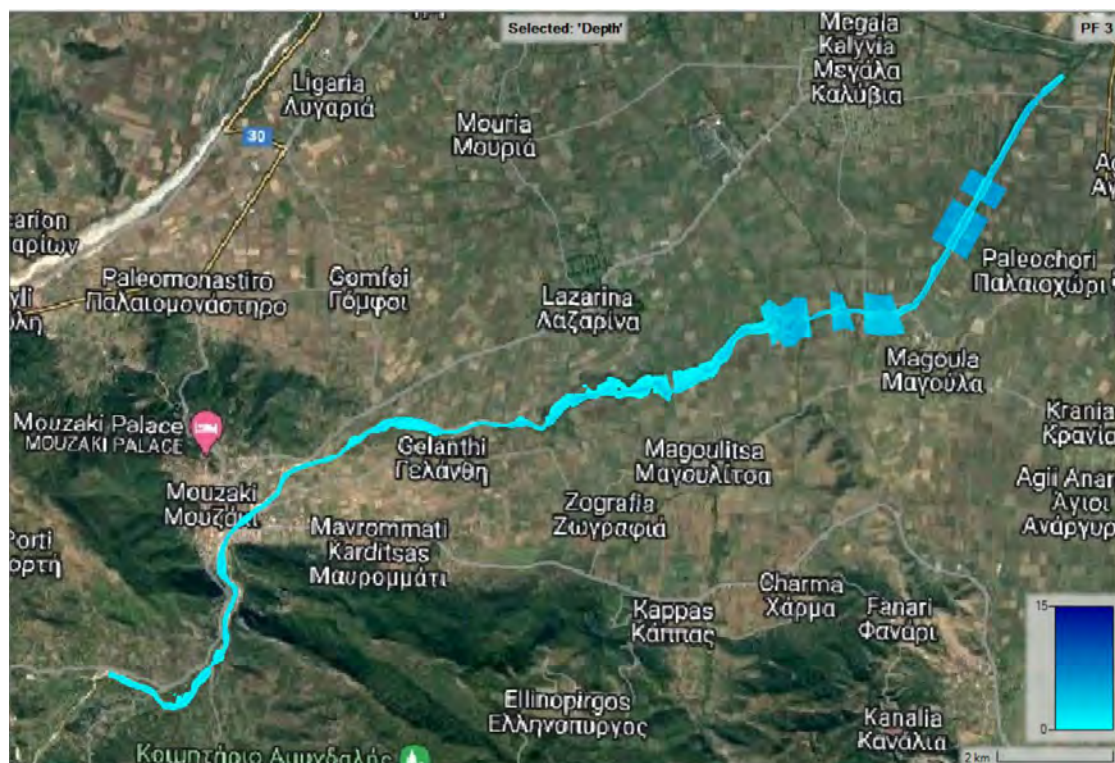
Σχήμα 3.46 Απόσπασμα από το νέο ΨΜΕ (α), στην περιοχή μεταξύ των οικισμών της Μαγούλας και του Αγναντερού σε σχέση με το αρχικό (β).

3.5 Υδραυλική προσομοίωση - συνθήκες μόνιμης ροής

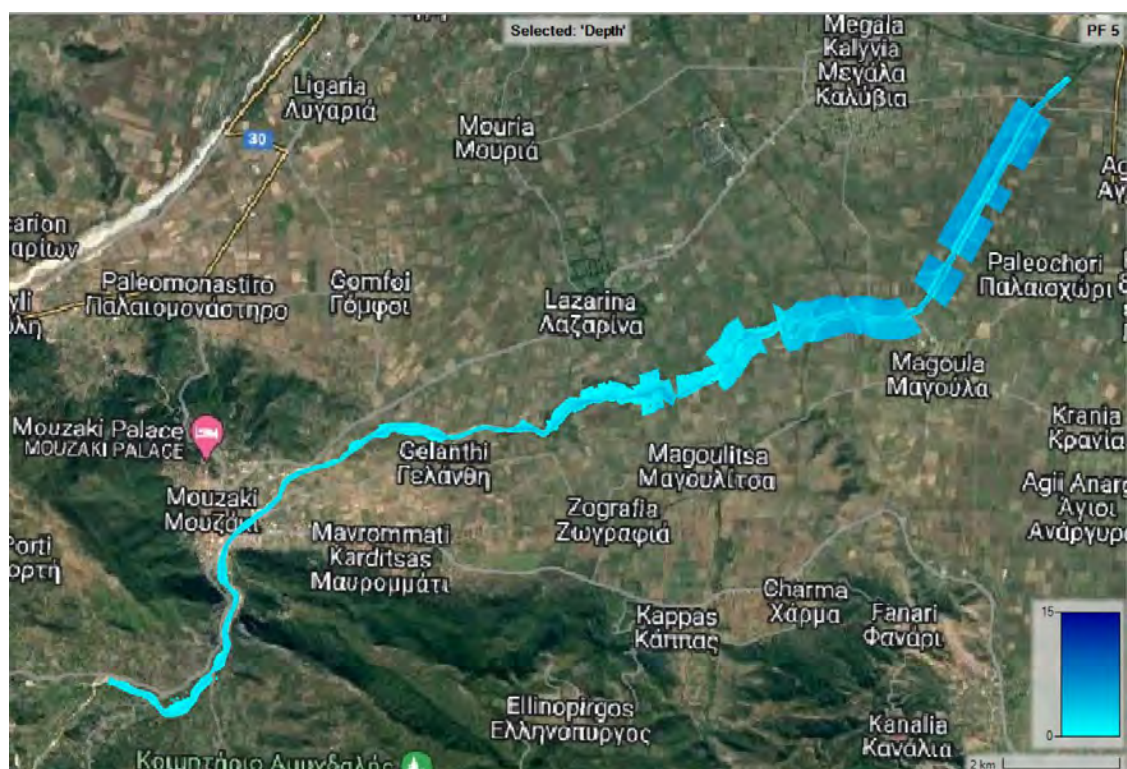
Ακολουθούν τα αποτελέσματα από την Υδραυλική Προσομοίωση με το λογισμικό HEC-RAS, για δύο βασικά σενάρια προσομοίωσης σχετικά με την παρουσία ή μη των γεφυρών της περιοχής μελέτης, με τοπογραφικό υπόβαθρο το διορθωμένο ΨΜΕ όπως προέκυψε έπειτα από τη διαδικασία που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.4. Στα αποτελέσματα περιλαμβάνονται χάρτες που απεικονίζουν την έκταση της πλημμύρας αλλά και στοιχεία για την ταχύτητα ροής της λεκάνης απορροής του Πάμισου ποταμού. Οι χάρτες αντιπροσωπεύουν πλημμύρες με περίοδο επαναφοράς 100 έτη και για παροχή σχεδιασμού για μέσες και υγρές (δυσμενείς) συνθήκες εδαφικής υγρασίας, για CNII και CNIII αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές ανήκουν στα προφίλ παροχής $PF3= 530 \text{ m}^3/\text{s}$ και $PF5= 850 \text{ m}^3/\text{s}$ αντίστοιχα.

3.5.1 Αποτελέσματα Χωρίς γέφυρες

Η υδραυλική προσομοίωση χωρίς την παρουσία γεφυρών ώστε να εκτιμηθεί η συνεισφορά της ύπαρξής τους στην υδραυλική συμπεριφορά του Πάμισου ποταμού (βλ. Κεφάλαιο 3.5.2) πραγματοποιήθηκε για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη για μέσες και δυσμενείς συνθήκες υγρασίας, CNII και CNIII αντίστοιχα. Η έκταση της πλημμυρικής κατάκλυσης που προέκυψε από τις προσομοιώσεις ήταν συνεπής σε σχέση με τις αντίστοιχες συνθήκες υγρασίας (μεγαλύτερη επικινδυνότητα πλημμύρας για συνθήκες υγρασίας CNIII). Και για τις δύο συνθήκες εδαφικής υγρασίας, CNII και CNIII, οι περιοχές στο ανάντη τμήμα του ποταμού από τις πηγές του έως τον οικισμό Γελάνθης, δεν εμφανίζουν κίνδυνο πλημμύρας. Η προσομοίωση εμφανίζει αντίθετη εικόνα στα κατάντη, στο πεδινό τμήμα που διατρέχει ο ποταμός από τον οικισμό Γελάνθης έως την εκβολή του στον Πηνειό ποταμό. Σε μεγάλο τμήμα αυτής της περιοχής και ιδίως για συνθήκες υγρασίας CNIII, υπάρχει ο κίνδυνος υπερχειλίσης του ποταμού και πλημμύρας. Τα αποτελέσματα αυτά είναι συνεπή και με πλημμυρικά φαινόμενα που έχουν παρατηρηθεί και στο πρόσφατο παρελθόν (πχ κατά τη διάρκεια του μεσογειακού κυκλώνα «Ιανός»). Για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας διαπιστώθηκε ότι η περιοχή που πλημμυρίζει είναι μεγαλύτερη από αυτή για τις μέσες συνθήκες (Σχήματα 3.47,3.48). Για τις δυσμενείς συνθήκες υγρασίας παρατηρείται ότι η περιοχή που κινδυνεύει από πλημμύρα εκτείνεται σε μήκος άνω των 10 km.

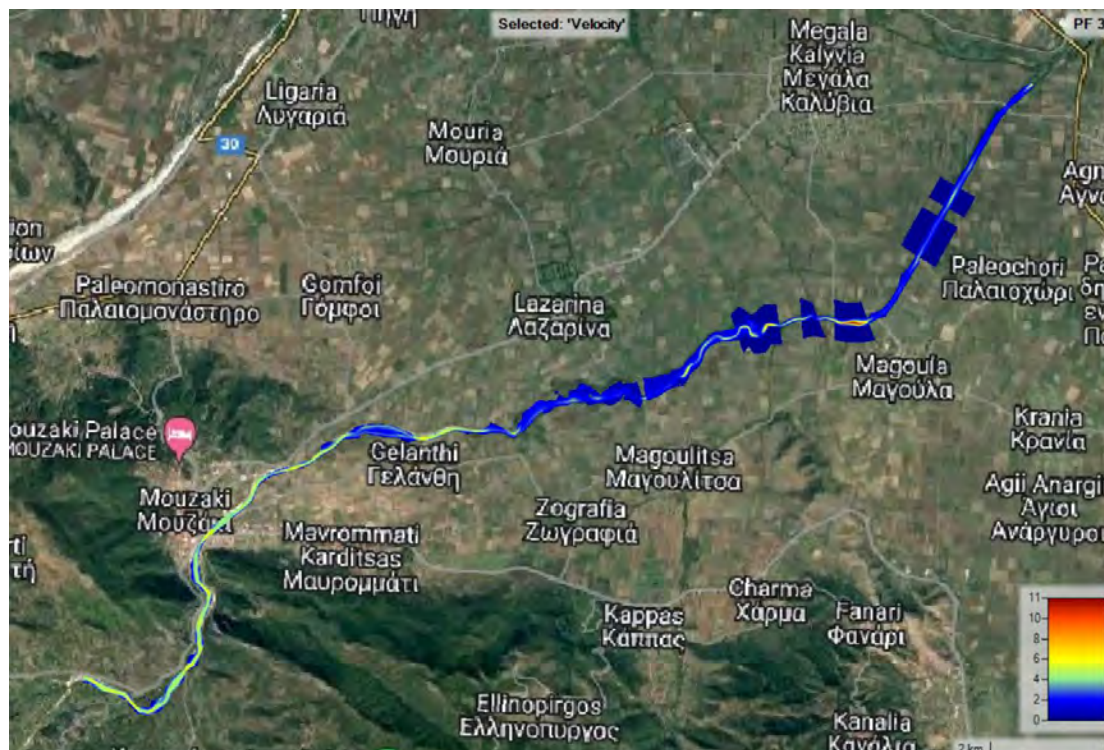


Σχήμα 3.47 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για μέσες συνθήκες υγρασίας CNII, απουσία γεφυρών.

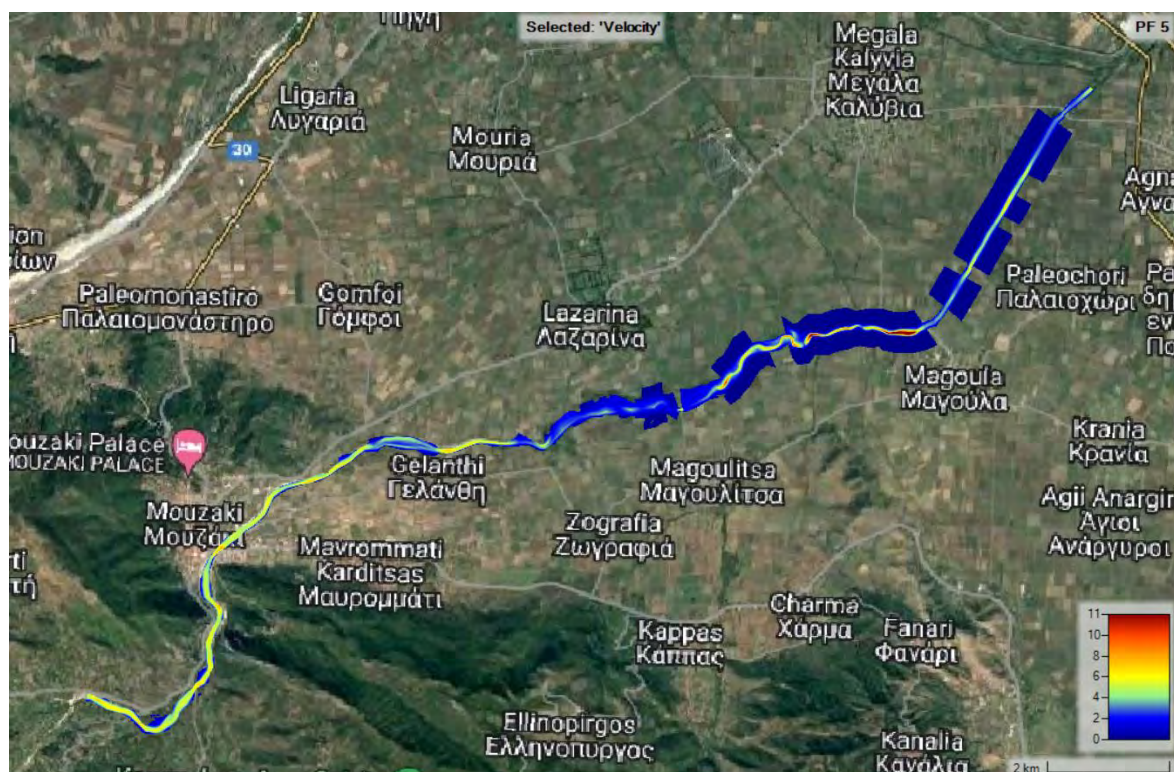


Σχήμα 3.48 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, απουσία γεφυρών.

Σε ότι αφορά την ταχύτητα του υδατορέματος σε σχέση με τις συνθήκες εδαφικής υγρασίας αυτή αποτυπώνεται στους παρακάτω χάρτες.



Σχήμα 3.49 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη ταχύτητας ροής για συνθήκες μόνιμης ροής, για μέσες συνθήκες υγρασίας CNII, απουσία γεφυρών.



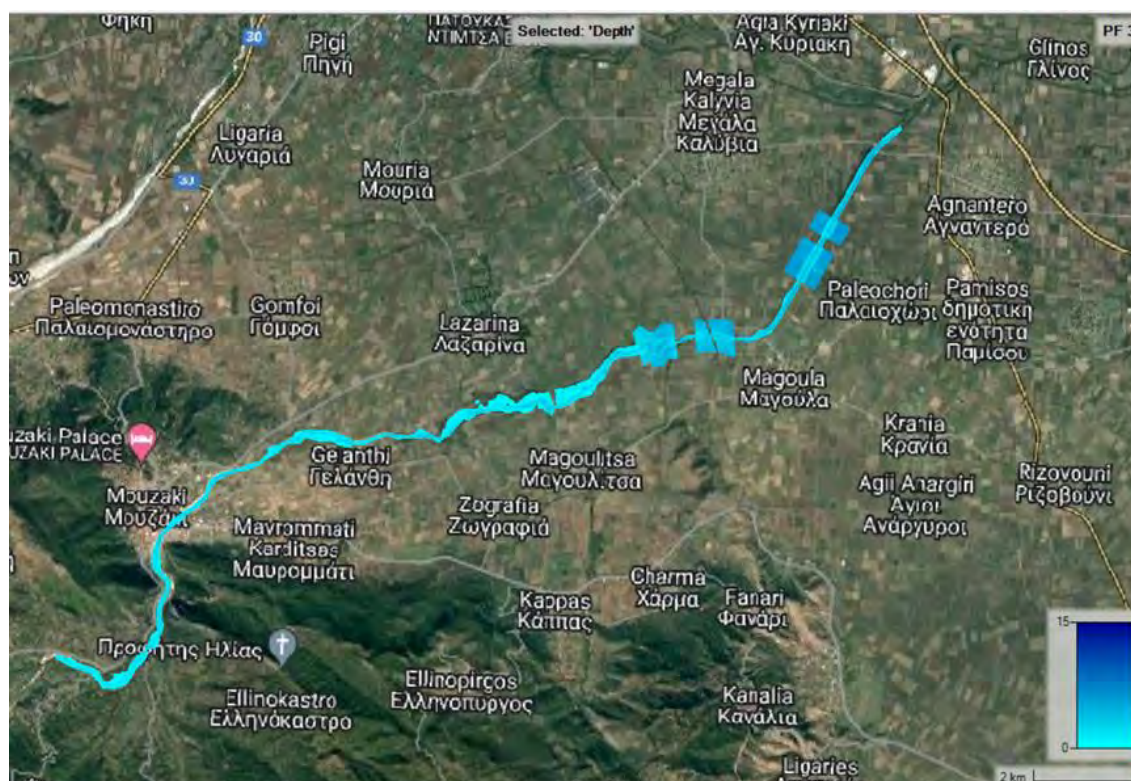
Σχήμα 3.50 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη ταχύτητας ροής για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, απουσία γεφυρών.

3.5.2 Αποτελέσματα Με γέφυρες

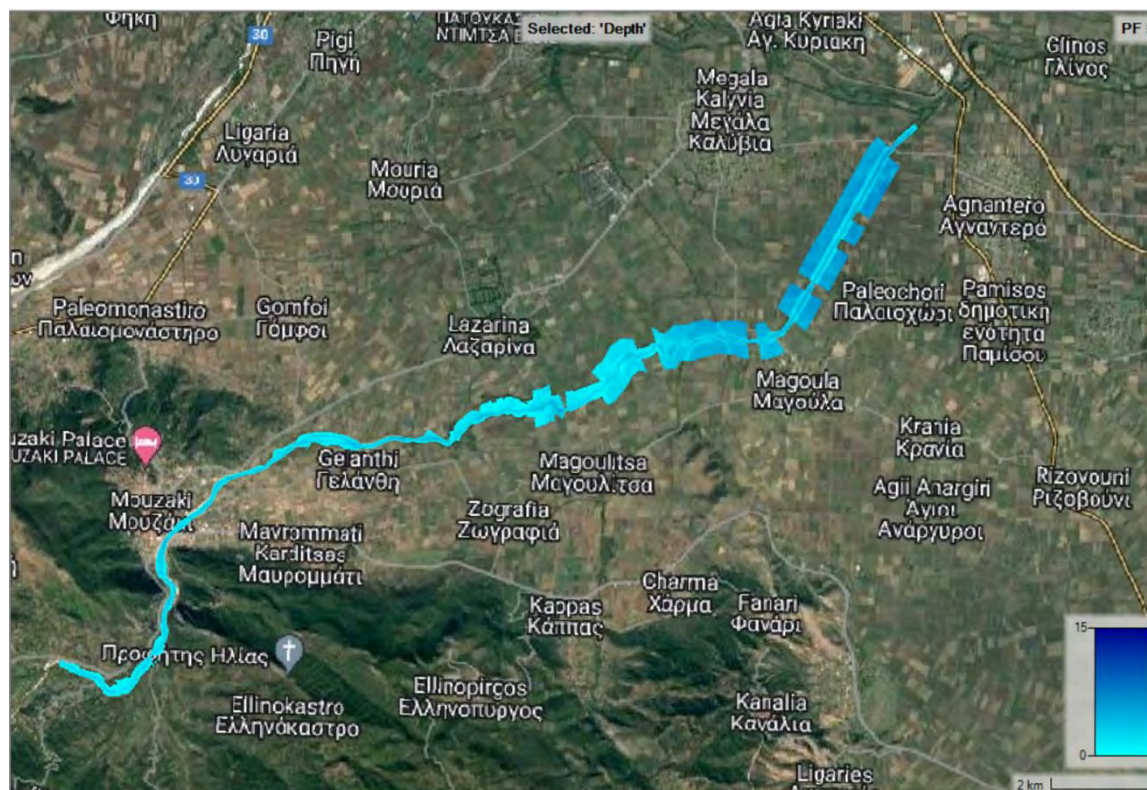
Σημαντικό ρόλο στις πλημμύρες παίζουν τα τεχνικά έργα, εν προκειμένω οι υφιστάμενες γέφυρες στην περιοχή μελέτης, οι οποίες μπορεί να παρεμποδίσουν τη ροή του υδατορέματος. Καταλαμβάνοντας μέρος της όχθης, μια γέφυρα πρακτικά απομειώνει την επιφάνεια της διατομής και επηρεάζει το συνολικό βάθος ροής. Θεωρητικά, η συνεπαγόμενη μείωση της επιφάνειας της αντίστοιχης διατομής μπορεί να οδηγήσει σε συνθήκες ανάσχεσης της παροχέτευσης και να ευνοήσει την εξέλιξη πλημμύρας.

Τα διαθέσιμα τοπογραφικά και γεωμετρικά στοιχεία των γεφυρών που περιγράφονται στο κεφάλαιο 3.2.2, εισήχθησαν στα δεδομένα προσομοίωσης με το λογισμικό HEC-RAS με χρήση αντίστοιχου εργαλείου.

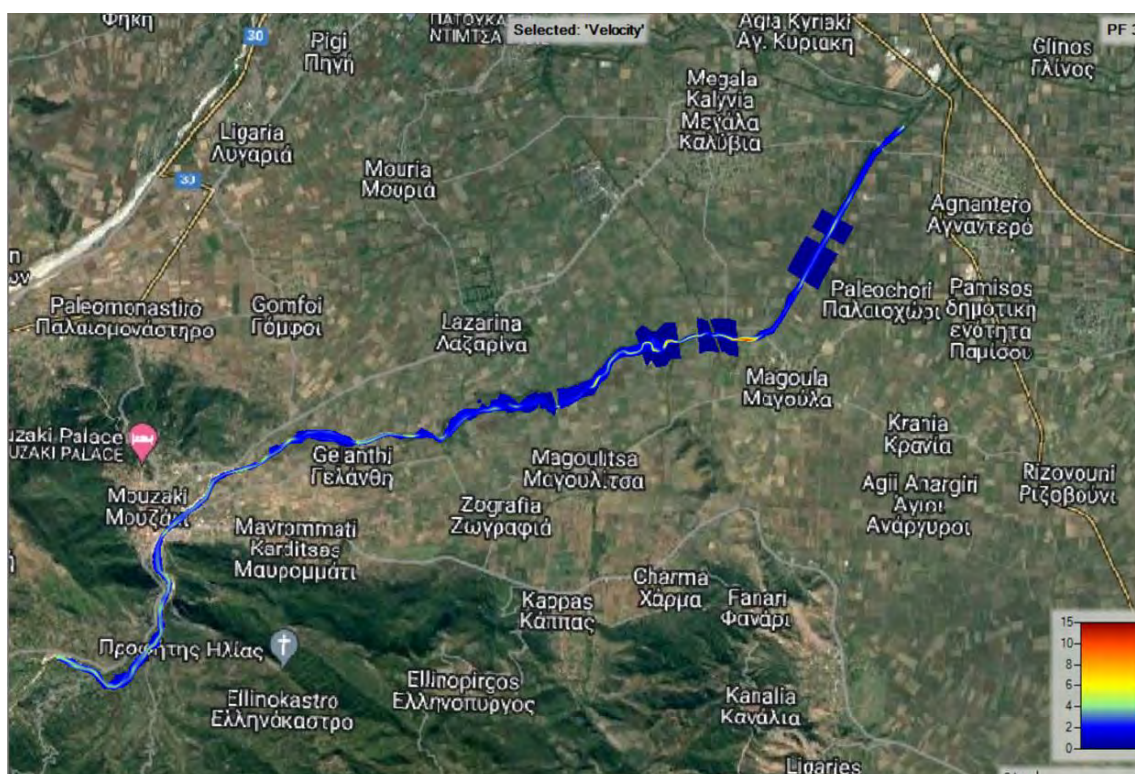
Το κατά πόσο επηρεάζουν οι υφιστάμενες γέφυρες την πλημμυρική επικινδυνότητα καθώς και την ταχύτητα ροής του ποταμού, αποτυπώνεται στους παρακάτω χάρτες για συνθήκες υγρασίας CNII και CNIII.



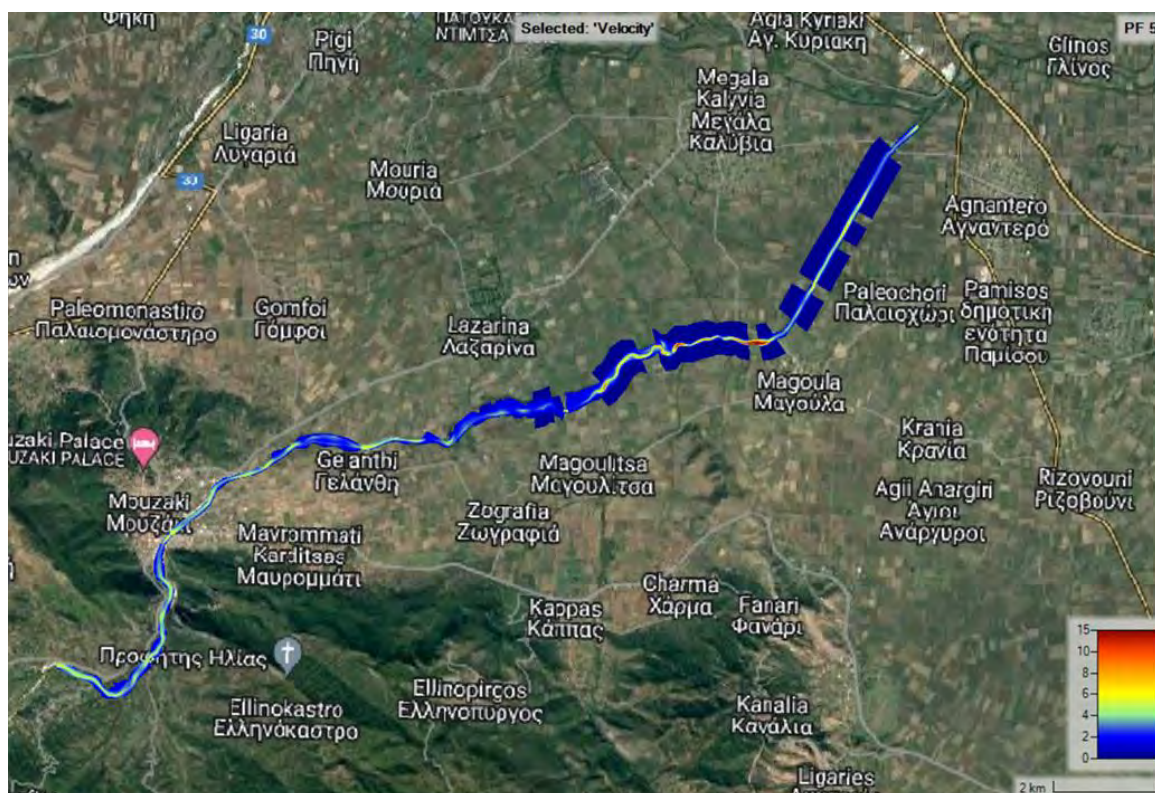
Σχήμα 3.51 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για μέσες συνθήκες υγρασίας CNII, λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες γέφυρες (περιβάλλον Google hybrid).



Σχήμα 3.52 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες γέφυρες(περιβάλλον Google hybrid).



Σχήμα 3.53 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη ταχύτητας ροής για συνθήκες μόνιμης ροής, για μέσες συνθήκες υγρασίας CNII, λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες γέφυρες (περιβάλλον Google hybrid).



Σχήμα 3.54 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη ταχύτητας ροής για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες γέφυρες (Περιβάλλον DEM).

Συγκρίνοντας με την αντίστοιχη υδραυλική συμπεριφορά του ποταμού χωρίς αυτές (Σχήμα 3.49,3.50 Κεφάλαιο 3.5.1) εξάγεται ως βασικό συμπέρασμα ότι δεν επηρεάζουν σημαντικά την παροχευτικότητα του Πάμισου.

Γενικά, σε ότι αφορά την ταχύτητα του ποταμού συναρτήσει των συνθηκών εδαφικής υγρασίας (CNII,CNIII) παρατηρήθηκε ότι μεγαλύτερη παροχή σχεδιασμού συνοδεύεται από αύξησή της.

Η μέγιστη τιμή της ταχύτητας ροής εμφανίζεται για προσομοίωση με τις υφιστάμενες γέφυρες. Γενικά αναμένεται να αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες ροής στις παρειές ανάντη και κατόντη τέτοιων τεχνικών έργων. Ενδεικτική των σχετικών φαινομένων είναι η μελέτη των Guo et al. (2010) που συσχετίζει την υδροδυναμική φόρτιση μιας πλημμυρικής ροής σε μια γέφυρα.

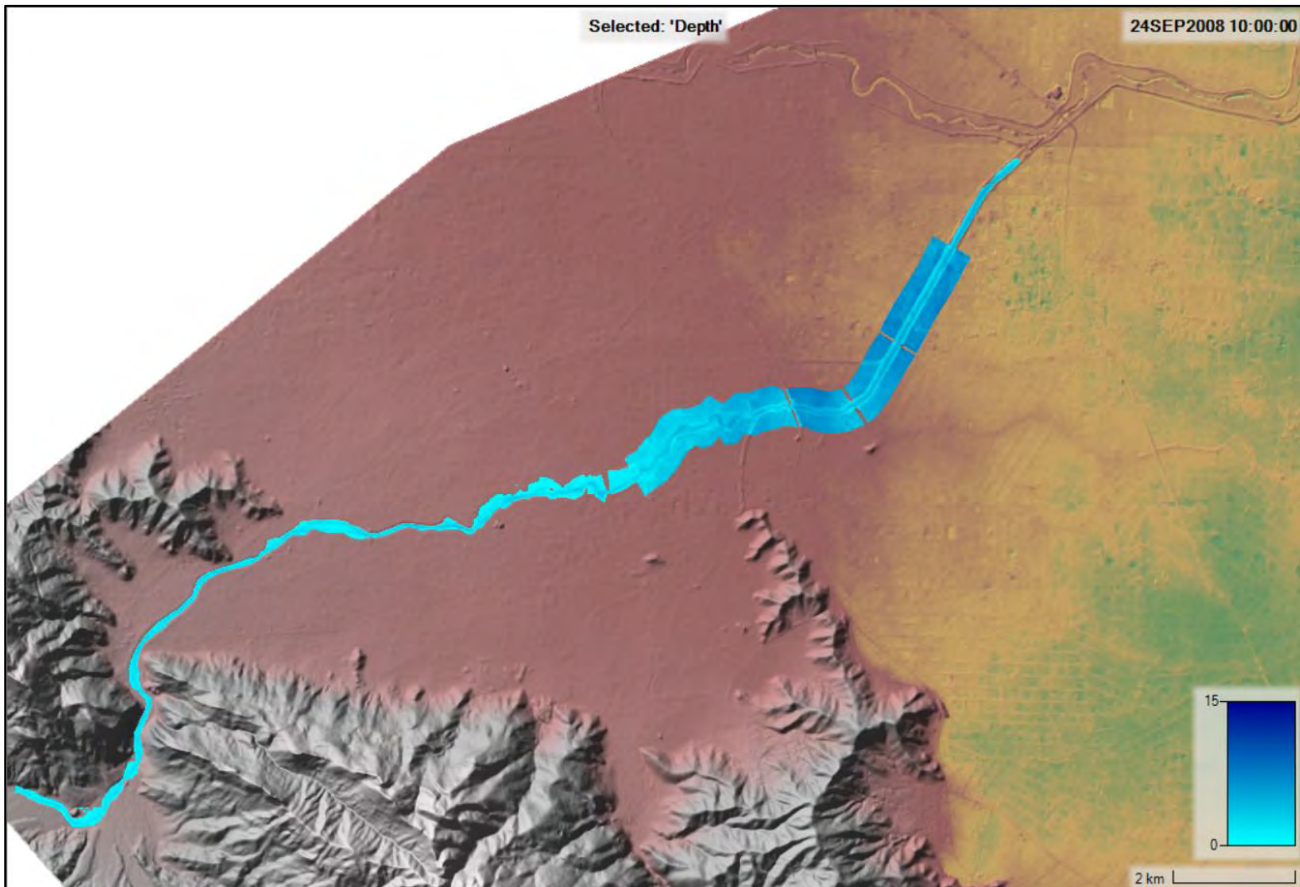
Στο παράρτημα δίνονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα της υδραυλικής προσομοίωσης, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής σε χαρακτηριστικές διατομές κατά μήκος του Πάμισου ποταμού με παροχές σχεδιασμού για μέσες και δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNII και CNIII.

3.6 Υδραυλική προσομοίωση - συνθήκες μη μόνιμης ροής

Σε συνέχεια των υδραυλικών προσομοιώσεων για την λεκάνη απορροής του Πάμισου για συνθήκες μόνιμης ροής, εξετάστηκε η εξέλιξη ενός πλημμυρικού επεισοδίου για συνθήκες μη μόνιμης ροής με βάση το πλημμυρογράφημα για δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII. Το λογισμικό HEC-RAS επιτρέπει την εισαγωγή πλημμυρικής χρονοσειράς στην πηγή υδατορέματος, και προσομοιώνει την χρονική εξέλιξη του χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για αντίστοιχη επιθυμητή χρονική διάρκεια. Η διαδικασία αυτή, παρέχει πληροφορία για την χρονική υστέρηση μεταξύ της εξέλιξης του πλημμυρογραφήματος στις πηγές του εξεταζόμενου ποταμού και της αιχμής του, και της πιθανής εμφάνισης πλημμύρας σε κατάντη περιοχές. Χρήσιμη πληροφορία για παρεμβάσεις κατά τη διάρκεια καταιγίδας, όπως η διαχείριση θυροφραγμάτων (εφόσον υπάρχουν), εφαρμογή έκτακτου σχεδίου εκκένωσης περιοχής κ.α..

Επίσης μπορεί να εκτιμηθεί η χρονική διάρκεια πλημμυρικού επεισοδίου λόγω υπερχείλισης του ποταμού σε παρακείμενες εκτάσεις, και κατ' επέκταση να γίνει εκτίμηση όγκου νερού που δυνητικά μπορεί να τις κατακλύσει. Η πληροφορία αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί στον υπολογισμό της ποσότητας του όγκου του νερού που δεν μπορεί να παροχετευτεί η υφιστάμενη κοίτη του ποταμού και να ληφθεί υπόψη κατά τη διερεύνηση και σχεδιασμό παρεμβάσεων και τεχνικών έργων.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για συνθήκες μη μόνιμης ροής, στην αιχμή της πλημμυρικής κατάκλυσης (Σχήμα 3.55), είναι παρόμοια με τα αντίστοιχα αποτελέσματα για συνθήκες μόνιμης ροής.



Σχήμα 3.55 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη της αιχμής πλημμυρικής κατάκλυσης για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, λαμβάνοντας υπόψη τις υφιστάμενες γέφυρες, και για συνθήκες μη μόνιμης ροής.

Ειδικότερα, η εξέλιξη της πλημμυρικής κατάκλυσης, για τιμή της παροχής της κοίτης μεγαλύτερης των $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (εμφανίζεται περίπου 20 ώρες μετά την έναρξη του εξεταζόμενου υδρογραφήματος) που σταδιακά αυξάνει για τις επόμενες 15 ώρες και στη συνέχεια ακολουθεί η εκτόνωση του φαινομένου με την σταδιακή μείωση της παροχής σε διάστημα επιπλέον 10 ωρών οπότε και η παροχή επανέρχεται σε τιμές της τάξης των $100 \text{ m}^3/\text{s}$, δίνεται στο Παράρτημα, με χρονικό βήμα ανά 2 ώρες.

Υπολογίζοντας το μέσο συνολικό μήκος του ποταμού από το οποίο η προσομοίωση υποδηλώνει υπερχείλιση νερού έξω από την κοίτη του ποταμού προς τις γειτονικές περιοχές ανά 2 ώρες, έγινε μια προσεγγιστική εκτίμηση του συνολικού όγκου που δεν δύναται να παροχετευτεί ο Πάμισος ποταμός και εν δυνάμει μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα πλημμύρας.

Με την υπόθεση μη αλλοίωσης των αναχωμάτων, για την εκτίμηση της μέσης παροχής υπερχείλισης υδάτινου φορτίου q ανά τρέχον μέτρο από τα αναχώματα, με την θεώρηση μικρού ύψους υπερχείλισης $h \sim 0.01 \text{ m}$ και με δεδομένες τις μικρές σχετικά ταχύτητες ροής στις εν λόγω περιοχές της τάξης των 1.0 έως 2.0 m/s , όπως προέκυψαν από τις υδραυλικές προσομοιώσεις, προκύπτει τιμή $q=0.01 \div 0.03 \text{ m}^3/\text{s/m}$.

Στον ακόλουθο πίνακα δίνεται η εκτίμηση αυτή, από την οποία προκύπτει όγκος νερού της τάξης των 8,000,000.00 m³. Να σημειωθεί για την περίπτωση του μεσογειακού κυκλώνα «Ιανός», πλημμύρισε παρόχθια έκταση 6.5 km², που αντιστοιχεί σε τουλάχιστον διπλάσιο όγκο νερού που προέκυψε από την πλημμύρα 100ετίας.

Πίνακας 3.4 Εκτίμηση πλημμυρικού όγκου που κατακλύζει τις παρόχθιες περιοχές του Πάμισου ποταμού, για δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII.

Μέση παροχή υπερχειλίσης q=0.02 m ³ /s/m			
Ωρα	Μήκος υπερχειλίσης (km)	Μήκος εκατέρωθεν υπερχειλίσης (m)	Όγκος υπερχειλίσης. (m ³)
02:00-4:00	1.5	3000	432000
04:00-6:00	4.0	8000	1152000
06:00-8:00	5.5	11000	1584000
08:00-10:00	5.5	11000	1584000
10:00-12:00	5.0	10000	1440000
12:00-14:00	3.5	7000	1008000
14:00-16:00	2.0	4000	576000
16:00-18:00	0.5	1000	144000
Όγκος υπερχ. ολικός (m3)			7920000

3.7 Συμπεράσματα

Οι χάρτες πλημμυρικής κατάκλυσης που προέκυψαν από την υδραυλική προσομοίωση του Πάμισου ποταμού δίνουν μια αντιπροσωπευτική εικόνα των περιοχών που χρήζουν αντιπλημμυρικής προστασίας. Οι ευάλωτες περιοχές που προέκυψαν σύμφωνα με την υδραυλική προσομοίωση για περίοδο επαναφοράς T=100 έτη, και συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNII και CNIII βρίσκονται στο πεδινό τμήμα που διατρέχει ο ποταμός. Ορισμένες από αυτές είναι οικισμοί που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από τον ποταμό, και σε μεγαλύτερο εύρος αγροτικές εκτάσεις. Πράγματι και αν ληφθούν υπόψη και ιστορικά δεδομένα πλημμυρών ο κίνδυνος πλημμύρας λόγω υπερχειλίσης του Πάμισου ποταμού εντοπίζεται σε αυτήν την πεδινή έκταση. Ωστόσο υπάρχει και ο κίνδυνος διάβρωσης των πρανών της όχθης λόγω ανάπτυξης μεγάλων ταχυτήτων ροής, που εντοπίζεται κυρίως στην περιοχή του Μουζακίου, και έχει καταγραφεί στο πρόσφατο παρελθόν, όπου πράγματι προκύπτουν μεγάλες ταχύτητες ροής από τις προσομοιώσεις στην περιοχή αυτή.

Η ανάγκη προστασίας των ανθρώπινων ζωνών αλλά και των μέσων βιοπορισμού της τοπικής κοινωνίας, καθιστά επιτακτική τη λήψη μέτρων με τον κατάλληλο σχεδιασμό προτεινόμενων τεχνικών έργων.

Κεφάλαιο 4 Προτεινόμενα έργα

Κατά την εκδήλωση του μεσογειακού κυκλώνα «Ιανός» τον Σεπτέμβριο του 2020 καταγράφηκαν δύο βασικά είδη προβλημάτων, η διάβρωση πρανών και η υπερχείλιση του ποταμού με αποτέλεσμα πλημμυρικά φαινόμενα. Ειδικότερα, όπως παρουσιάζεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 2.3.5, στα ανάντη του ποταμού στο χωριό Μουζάκι υπήρξαν έντονες διαβρώσεις στα πρανή των όχθων του ποταμού με αποτέλεσμα την πρόκληση βλαβών σε υποδομές και κτίρια. Αντίστοιχες βλάβες στα αναχώματα υπήρξαν από τον οικισμό Γελάνθης έως Μουζακίου και μεταξύ των οικισμών Μαγούλας και Μαγουλίτσας. Η αρχές της Περιφέρειας έκριναν αναγκαία την προστασία των αντίστοιχων πρανών με την κατασκευή θωρακίσεων για το Μουζάκι, και αποκατάσταση των αναχωμάτων στις υπόλοιπες περιοχές σε συνδυασμό με τον καθαρισμό της κοίτης, και κάποιες από αυτές τις τεχνικές παρεμβάσεις υλοποιήθηκαν.

Παρ' όλα αυτά κατά τη διάρκεια του μεσογειακού κυκλώνα “Daniel” επαναλήφθηκαν φαινόμενα διάβρωσης στον οικισμό αυτό. Να σημειωθεί ότι ειδικά για τη Βόρεια όχθη κατά μήκος του Μουζακίου, όπου και αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες ροής, η κοίτη έχει σε ένα βαθμό μπαζωθεί και καταληφθεί από υποδομές. Επιπρόσθετα παρατηρήθηκαν έντονα πλημμυρικά φαινόμενα στον οικισμό Μεγάλα Καλύβια και την γύρω περιοχή, που βρίσκεται μεταξύ της συμβολής του Πάμισου με τον Πηνειό.

Πράγματι οι υδραυλικές προσομοιώσεις με το λογισμικό Hec-Ras στην παρούσα εργασία κατέδειξαν υψηλές ταχύτητες ροής ικανές να διαβρώσουν εδαφικό υλικό. Σε ότι αφορά τα πλημμυρικά φαινόμενα, αυτά εξελίχθηκαν κυρίως στο πεδινό τμήμα όπου διέρχεται ο Πάμισος ποταμός, με εκτεταμένη εκροή υδάτων και πλημμύρα στις αγροτικές περιοχές των οικισμών Μεγάλα Καλύβια, Παλαιοχώρι και Αγναντερό αλλά και τουλάχιστον ως τις παρυφές τους. Την εικόνα αυτή επαλήθευσαν και οι υδραυλικές προσομοιώσεις με το λογισμικό Hec-Ras.

Με βάση τα αποτελέσματα των υδραυλικών προσομοιώσεων για τον Πάμισο ποταμό, παρά τις όποιες αποσπασματικές παρεμβάσεις από την Περιφέρεια, παραμένει σημαντικός κίνδυνος πλημμύρας για το κατάντη τμήμα του, μεταξύ των οικισμών Μαγουλίτσας και Αγναντερού. Ειδικά για συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, οι περιοχές που είναι ευάλωτες εκτείνονται σε μήκος περίπου 11 km, και στις δύο όχθες εκατέρωθεν του ποταμού. Συνεπώς απαιτούνται έργα διευθέτησης του ποταμού με στοχευμένες παρεμβάσεις. Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται η απόδοση μιας σειράς τεχνικών έργων τα οποία εισάγονται στην υδραυλική προσομοίωση αξιοποιώντας την δυνατότητα τροποποίησης

διατομών με το λογισμικό HEC-RAS για την αναπαράστασή τους. Ενδιαφέρει και ο συνδυασμός διαφορετικού είδους τεχνικών έργων στις κρίσιμες για πλημμύρα διατομές με συνδυασμένη εκσκαφή και κατασκευή αναχωμάτων και παράλληλο-συνεπαγόμενο καθαρισμό της κοίτης από φερτά υλικά και βλάστηση. Οι σχετικές παρεμβάσεις στον υπό εξέταση ποταμό μελετήθηκαν για περίοδο επαναφοράς 100 ετών και για δυσμενείς-υγρές συνθήκες εδαφικής υγρασίας (CNIII) που αντιστοιχεί σε παροχή σχεδιασμού $850 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.1 Καθαρισμός κοίτης

Σε ότι αφορά την ταχύτητα ροής ενός υδατορέματος, ο συντελεστής τραχύτητας σχετίζεται άμεσα με αυτήν. Η σχέση αυτή περιγράφεται ικανοποιητικά από την εξίσωση Manning, σύμφωνα με την οποία αυξάνοντας το συντελεστή τραχύτητας προβλέπεται μείωση της ταχύτητας ροής στο υδατόρεμα.

Με δεδομένη την σχετικά ήπια κλίση του Πάμισου στο πεδινό τμήμα που διατρέχει, εξετάστηκε ο καθαρισμός της κοίτης. Αφενός από επιφανειακά φερτά εδαφικά υλικά αδρής κοκκομετρικής διαβάθμισης, που συμβάλλουν στην ενίσχυση της τριβής μεταξύ των στερεών ορίων και της διερχόμενης υδατικής μάζας και ευνοούν την ανάπτυξη χαρακτηριστικών τυρβώδους ροής και αφετέρου καθαρισμός από τη βλάστηση η οποία λειτουργεί αντιστοίχως δημιουργώντας έτσι συνθήκες μείωσης της μέσης ταχύτητας ροής του ποταμού. Πρόκειται για μία συνήθη πρακτική, με τις εν λόγω επεμβάσεις καθαρισμού να είναι εργασίες μικρής κλίμακας, και δεν επηρεάζουν τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υδατορέματος. Ωστόσο υπάρχουν ζητήματα περιβαλλοντικής φύσης ιδίως όταν η απαιτούμενη αποψίλωση βλάστησης συνεπάγεται την υποβάθμιση πιθανών οικοτόπων και την απειλή για κάποια είδη χλωρίδας και πανίδας που ενδιααιτούν και εξαρτώνται από αυτές τις ποτάμιες περιοχές.

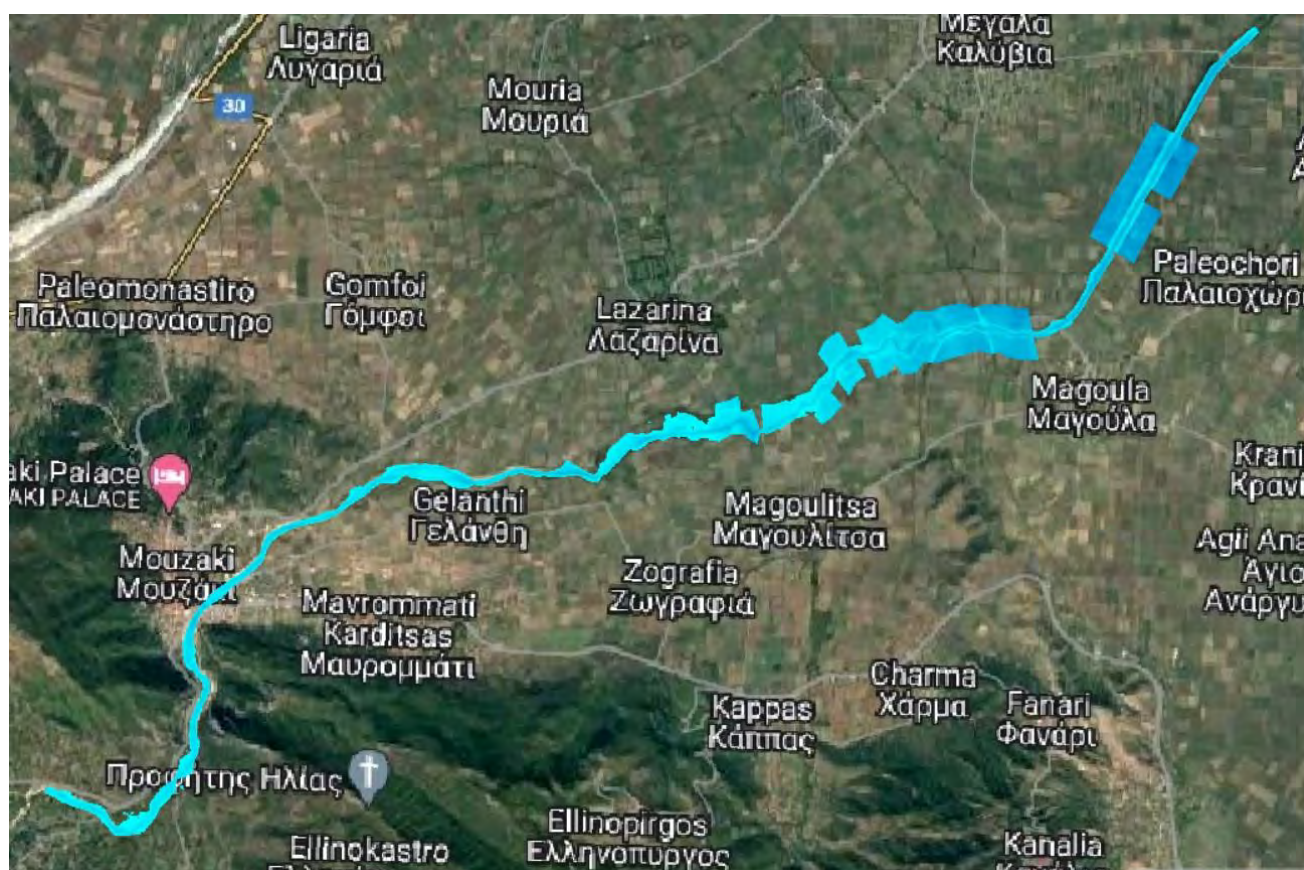
Στο πλαίσιο της διερεύνησης της επίδρασης της εφαρμογής εκτεταμένου σχεδίου καθαρισμού της κοίτης του Πάμισου, ιδίως μεταξύ των οικισμών Γελάνθης και Αγναντερού, όπου απαιτείται παρέμβαση για μήκος περίπου 11 km, η υδραυλική προσομοίωση διαφοροποιήθηκε ως προς αυτήν που περιγράφει την υφιστάμενη κατάσταση με κατάλληλη εισαγωγή του συντελεστή manning n. Για το θεωρητικά καθαρισμένο πεδινό τμήμα του ποταμού και για συνθήκες δυσμενούς εδαφικής υγρασίας (CNIII) και για μόνιμη ροή, επιλέχθηκε για την κοίτη $n=0.3$, συντελεστής μειωμένος σε σχέση με τις υπάρχουσες συνθήκες (βλ. κεφάλαιο 3.3.6).

Η προσομοίωση της επίδρασης του καθαρισμού της κοίτης, προβλέπει πλημμυρικά φαινόμενα στις παρόχθιες περιοχές μειωμένα σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Αυτό οφείλεται στην ανάπτυξη μεγαλύτερης ταχύτητας ροής και κατά συνέπεια μεγαλύτερης παροχετευτικότητας του ποταμού. Παρ' όλα αυτά παραμένουν περιοχές ιδίως δυτικά του οικισμού Μαγούλας και στο παρακείμενο τμήμα του ποταμού με τον οικισμό Παλαιοχωρίου όπου υπάρχει πρόβλεψη υπερχειλίσσης και πλημμυρικών φαινομένων (Σχήμα 4.1). Οι περιοχές αυτές αντιστοιχούν σε μήκος 7 km,

εκατέρωθεν του ποταμού, μειωμένες κατά 40 % σε σχέση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την παρούσα κατάσταση.

Από πλευράς κόστους, για μέση μέγιστη βρεχόμενη περίμετρο της διατομής του ποταμού μεταξύ των αναχωμάτων που έχουν διαμορφωθεί στην περιοχή αυτή της τάξης των 100 m, αντιστοιχεί έκταση που θα έπρεπε δυνητικά να καθαριστεί της τάξης των 1500 στρεμμάτων.

Είναι εμφανές ότι ο καθαρισμός της επιφάνειας της κοίτης του ποταμού από φερτά υλικά και βλάστηση, δεν επαρκεί για την αντιπλημμυρική θωράκιση της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 4.1 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, με θεωρητικό καθαρισμό της κοίτης, μεταξύ των οικισμών Γελάνθης και Αγναντερού.

4.2 Αναχώματα

Λόγω της πίεσης στα ποτάμια συστήματα από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες οι οποίες καταλαμβάνουν περιοχές πιθανής πλημμυρικής κατάκλυσης, αποτελεί συνήθη πρακτική η αύξηση του εμβαδού της κοίτης με κατασκευή αναχωμάτων. Εν προκειμένω, στις περιοχές που είναι ευάλωτες όπως φαίνεται τόσο από ιστορικά στοιχεία αλλά επαληθεύεται και από τις προσομοιώσεις (βλ.

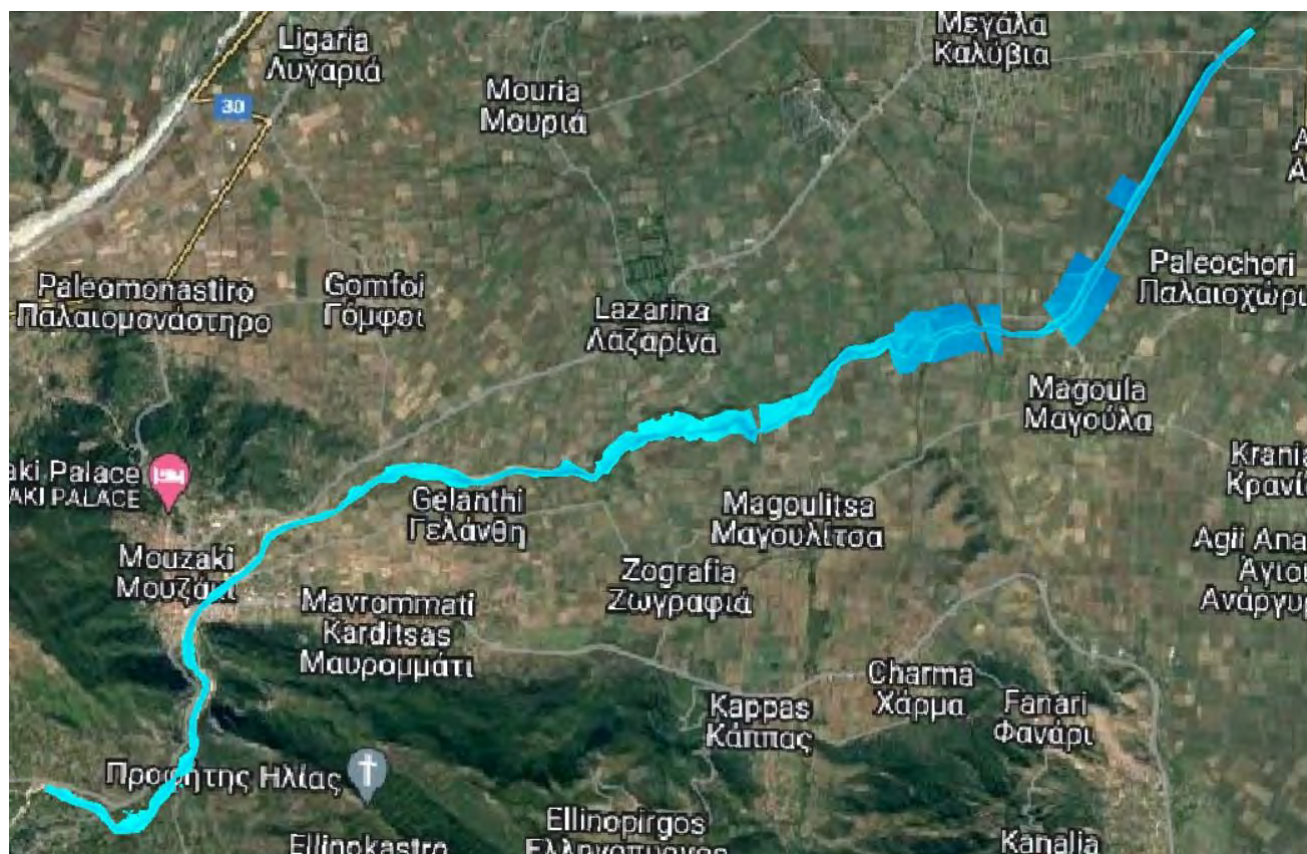
κεφάλαια 3.5.2 και 3.6) έχουν αναπτυχθεί αναχώματα, ωστόσο το ύψος τους δεν επαρκεί. Να σημειωθεί ότι τέτοια έργα τα οποία είναι στην ουσία τραπεζοειδείς διατομές από εδαφικά υλικά, είναι ευάλωτα στη διάβρωση και κατάρρευση κατά τόπους, ιδίως για συνθήκες αυξημένης ροής, και κατά συνέπεια μπορεί να απαιτείται ενίσχυσή τους είτε στοχεύοντας σε μεγάλα πλάτη ή/και προστασία τους με σκληρά έργα π.χ. από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Κατά μήκος των πεδινών περιοχών, έγινε η θεώρηση υπερύψωσης των υφιστάμενων αναχωμάτων κατά τουλάχιστον 1 m. Στην ουσία με τον τρόπο αυτό αυξάνεται δραστικά η ενεργή διατομή η οποία παροχετεύει νερό. Έπειτα από παρέμβαση στα τοπογραφικά δεδομένα, και ειδικότερα στα ύψη των αναχωμάτων που ορίζονται στις διατομές που απαιτούνται από το λογισμικό με την αντίστοιχη επαύξησή τους, πραγματοποιήθηκε υδραυλική προσομοίωση για συνθήκες δυσμενούς εδαφικής υγρασίας (CNIII) και για μόνιμη ροή.

Η προσομοίωση της επίδρασης της υπερύψωσης των αναχωμάτων, προβλέπει πλημμυρικά φαινόμενα στις παρόχθιες περιοχές σημαντικά μειωμένα σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αύξηση της ενεργούς διατομής του ποταμού και κατά συνέπεια σε μεγαλύτερη παροχετευτικότητα. Παρ' όλα αυτά παραμένουν κάποιες περιοχές στο παρακείμενο τμήμα του ποταμού τον οικισμό Μαγούλας όπου υπάρχει αυξημένη πιθανότητα υπερχειλίσσης και πλημμυρικών φαινομένων (Σχήμα 4.2). Οι περιοχές αυτές αντιστοιχούν σε μήκος 4 km, εκατέρωθεν του ποταμού, μειωμένες κατά 70 % σε σχέση με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την υφιστάμενη κατάσταση.

Από πλευράς κόστους, η ενίσχυση και υπερύψωση κατά 1 μέτρο των αναχωμάτων που έχουν διαμορφωθεί, με κριτήριο το ελάχιστο δυνατό πλάτος στέψης τους (έστω 4 m) και για ελάχιστη κλίση πρανών 1:3, για τραπεζοειδή διατομή αντιστοιχεί σε όγκο χωματουργικών εργασιών της τάξης των 150000 m³.

Παρ' όλη την δυνητικά εκτεταμένη παρέμβαση στα αναχώματα, αυτή δεν επαρκεί για την αντιπλημμυρική θωράκιση της περιοχής μελέτης. Δυνητικά στο πλαίσιο εφαρμογής μόνο αυτού του μέτρου απαιτούνται αρκετά μεγαλύτερες υπερυψώσεις αναχωμάτων (τουλάχιστον 2 m), που συνεπάγεται δραματική αύξηση του κόστους λόγω χωματουργικών εργασιών.



Σχήμα 4.2 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, με θεωρητική υπερύψωση των αναχωμάτων κατά 1 m, μεταξύ των οικισμών Γελάνθης και Αγναντερού.

4.3 Καθαρισμός κοίτης και διεύρυνση διατομής

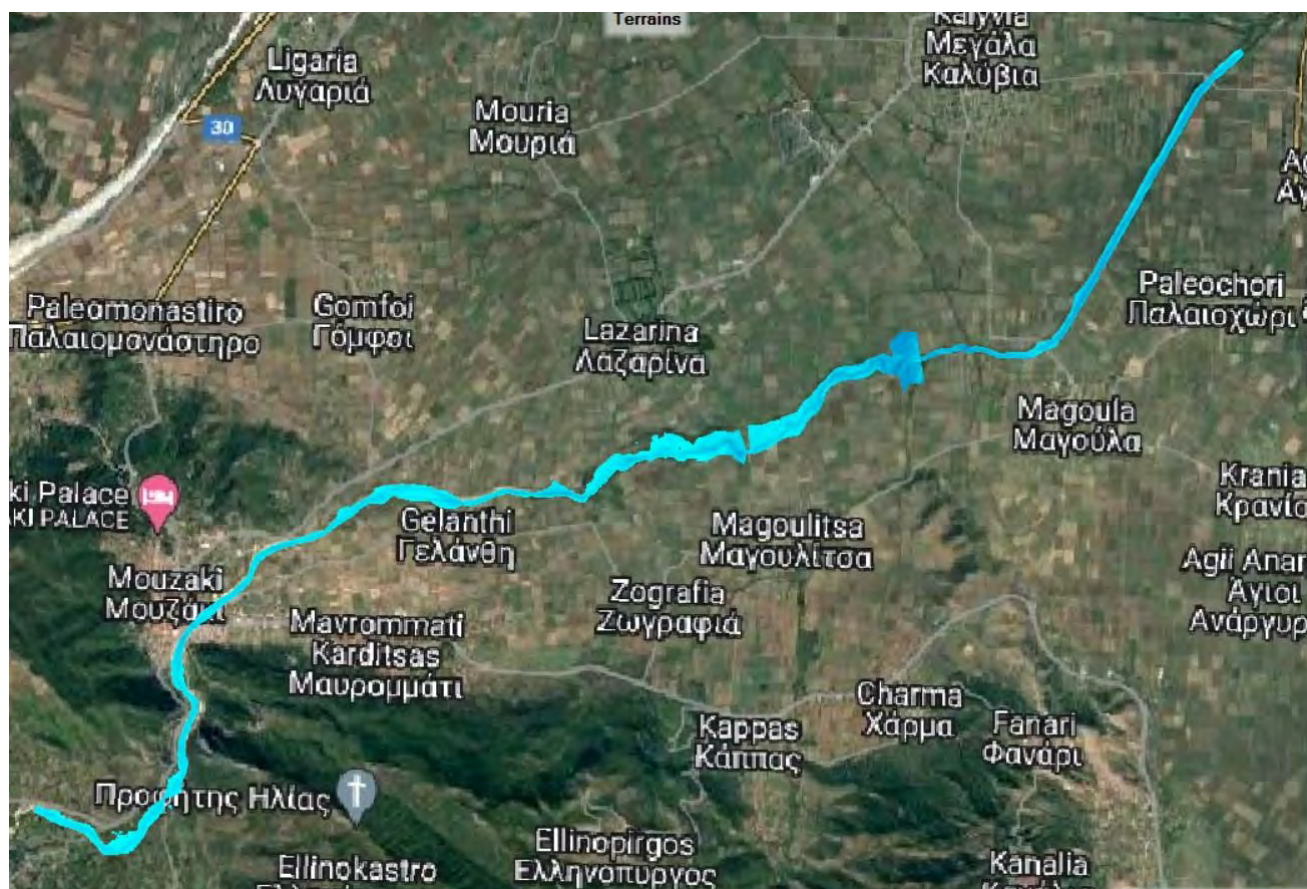
Σε συνέχεια της διερεύνησης μεμονωμένα του καθαρισμού της κοίτης τμήματος του ποταμού και της παρέμβασης στα αναχώματα της αντίστοιχης περιοχής, εξετάστηκε η επίδραση ταυτόχρονης εφαρμογής των δύο παραπάνω εργασιών. Επιπρόσθετα αν θεωρηθεί ότι κατά τον καθαρισμό της κοίτης, γίνεται μια εκσκαφή μικρού βάθους (π.χ. εκβάθυνση κατά 0.3 m) κυρίως στον πυθμένα της (εγκάρσιο μήκος της τάξης των 45 m), ο όγκος των φερτών υλικών προς απομάκρυνση μετά και τον καθαρισμό της βλάστησης αντιστοιχεί σε 150000 m³. Είναι δηλαδή ίδιας τάξης μεγέθους με τον ελάχιστο όγκο των εδαφικών υλικών που απαιτούνται για την ενίσχυση των αναχωμάτων κατά 1 m. Κατά συνέπεια με αυτές τις εργασίες καλύπτεται η ανάγκη για εδαφικά υλικά, η μείωση του συντελεστή manning, και έστω μια επιπρόσθετη μικρή αύξηση του εμβαδού της κοίτης του ποταμού πέρα από τη συνεισφορά των αναχωμάτων σε αυτήν.

Σε αντιστοιχία με το κεφάλαιο 4.2, κατά μήκος των πεδινών περιοχών, έγινε η θεώρηση υπερύψωσης των υφιστάμενων αναχωμάτων κατά τουλάχιστον 1 m, με παρέμβαση στα τοπογραφικά δεδομένα, και ειδικότερα στα ύψη των αναχωμάτων που ορίζονται στις διατομές που απαιτούνται από το λογισμικό με την αντίστοιχη επαύξησή τους. Για το θεωρητικά καθαρισμένο πεδινό τμήμα του

ποταμού, όπως και στο κεφάλαιο 4.3, επιλέχθηκε για την κοίτη $n=0.3$. Πραγματοποιήθηκε υδραυλική προσομοίωση για συνθήκες δυσμενούς εδαφικής υγρασίας (CNIII) και για μόνιμη ροή.

Η προσομοίωση της επίδρασης συνδυαστικά του καθαρισμού της κοίτης για το πεδινό τμήμα του ποταμού, και της υπερύψωσης των αναχωμάτων στην περιοχή αυτή, προβλέπει δραστική μείωση των πλημμυρικών φαινομένων σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση τα οποία και περιορίζονται δυτικά του οικισμού της Μαγούλας, σε σχετικά μικρό μήκος.

Αφενός η αύξηση της ενεργούς διατομής του ποταμού και αφετέρου η μείωση της τραχύτητας οδηγούν σε μεγαλύτερη παροχετευτικότητα. Παρ' όλα αυτά παραμένει μια περιοχή όπου υπάρχει αυξημένη πιθανότητα υπερχειλίσας και πλημμυρικών φαινομένων (Σχήμα 4.3). Από την ανάλυση των τοπογραφικών δεδομένων (βλ. κεφάλαιο 3.4) προκύπτει ότι για την περιοχή αυτή το υδατόρεμα εμφανίζει απότομη μείωση κλίσης με ταυτόχρονη σημαντική μείωση του εμβαδού διατομής του, συνθήκες που ευνοούν την ανάσχεση ροής και μειωμένης παροχετευτικότητας με συνέπεια την υπερχειλίση. Επομένως θα πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα με επαρκή διεύρυνση-διαπλάτυνση της κοίτης εκεί.



Σχήμα 4.3 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη πλημμυρικής κατάκλυσης για συνθήκες μόνιμης ροής, για δυσμενείς συνθήκες υγρασίας CNIII, με θεωρητική υπερύψωση των αναχωμάτων κατά 1 m και ταυτόχρονο καθαρισμό της κοίτης, μεταξύ των οικισμών Γελάνθης και Αγναντερού.

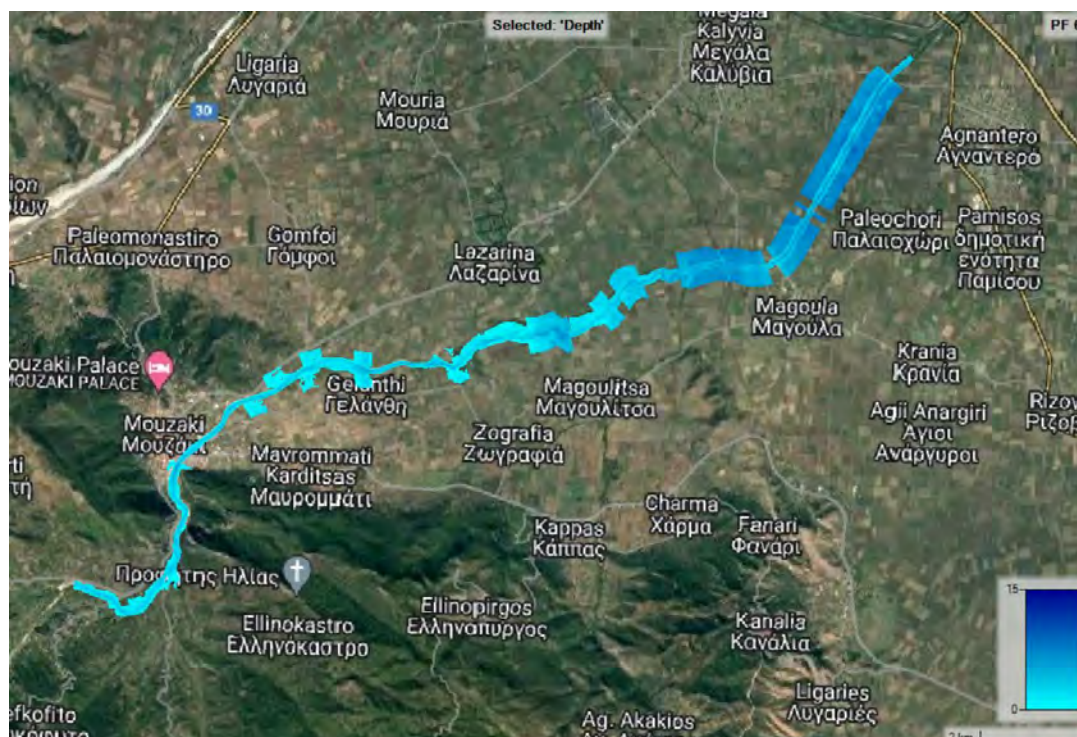
Να σημειωθεί ότι η παρέμβαση που εξετάστηκε αντιστοιχεί σε έργα μεγάλης κλίμακας, και τα αναχώματα έχουν τον κίνδυνο διάβρωσης και κατάρρευσης για συνθήκες σημαντικής ροής. Τα ιστορικά στοιχεία υετού για την περιοχή μελέτης, ιδίως τα πρόσφατα των καταιγίδων «Ιανού» και “Daniel”, έχουν πυροδοτήσει μία συζήτηση για τον προσδιορισμό της παροχής σχεδιασμού σε μεγαλύτερα μεγέθη από τη συνήθη πρακτική με βάση την κείμενη νομοθεσία. Κατά συνέπεια οι συμβατικές παρεμβάσεις που εξετάστηκαν, ενδεχομένως να μην παρέχουν επαρκή αντιπλημμυρική θωράκιση και θα έπρεπε να διερευνηθούν εναλλακτικές ή/και πρόσθετες ενέργειες διαχείρισης του Πάμισου ποταμού.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το φαινόμενο «Ιανός» σύμφωνα με τους Βασιλειάδη και Μυλόπουλο (2021) που είχε περίοδο επαναφοράς μεγαλύτερη των 1000 ετών εμφάνισε μέγιστες πλημμυρικές παροχές της τάξεως των $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ στην έξοδο της λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου πριν τη συμβολή με τον Πηνειό ποταμό και περίπου $1380 \text{ m}^3/\text{s}$ στο Μουζάκι (Βασιλειάδης και Μυλόπουλος, 2021). Το στοιχείο αυτό επιβεβαιώνει την υπόθεση ότι πρακτικά ο Πάμισος παροχετεύεται και πηγάζει κατά κύριο λόγο δυτικά του Μουζακίου, από υετό στους παρακείμενους ορεινούς όγκους. Ωστόσο, παρ’ ότι θεωρητικά για φαινόμενο με περίοδο επαναφοράς μεγαλύτερη των 1000 ετών, μόλις 3 χρόνια αργότερα παρατηρήθηκε μετεωρολογικό φαινόμενο παρόμοιας περιόδου επαναφοράς (μεσογειακός κυκλώνας “Daniel”). Ενδεικτικά για τις παρεμβάσεις που εξετάζονται σε αυτό το κεφάλαιο, ακολουθεί η υδραυλική προσομοίωση για παροχή σχεδιασμού $1500 \text{ m}^3/\text{s}$, για συνθήκες μόνιμης ροής (Σχήμα 4.4). Στην περίπτωση αυτή, η ανύψωση των αναχωμάτων και ο εκτεταμένος καθαρισμός της κοίτης του ποταμού δεν επαρκούν, και ενδεχομένως να επηρεάζουν το φαινόμενο πλημμύρας και οι υφιστάμενες γέφυρες.

Παρατηρήσεις:

Ο καθαρισμός της κοίτης στο πεδινό τμήμα που διατρέχει ο Πάμισος ποταμός, βοηθάει στην αύξηση της παροχετευτικότητας του μέσω της αύξησης της ταχύτητας ροής χωρίς ωστόσο αυτή να λαμβάνει τιμές που να μπορεί δυνητικά να δημιουργήσει πρόσθετα προβλήματα διάβρωσης των πρανών. Ωστόσο στα πρανή και στη στέψη των αναχωμάτων, θα μπορούσε να εξεταστεί η πυκνή φύτευση για την επιβράδυνση μιας πιθανής πλευρικής υπερχειλίσης μέσω της μείωσης της ταχύτητας στις θέσεις αυτές και μάλιστα σε συνδυασμό με την τοποθέτηση συρματοκιβωτίων που να ευνοούν την ανάπτυξη βλάστησης παρέχοντας ταυτόχρονα αντιδιαβρωτική προστασία.

Σε ότι αφορά τα ανάντη, και ιδίως στις υπολεκάνες απορροής των χειμάρρων που τροφοδοτούν τον Πάμισο ποταμό, η διαχείριση του αναγλύφου σε συνδυασμό με τη βλάστηση μέσω έργων ορεινής υδρονομίας με στόχο την παρέμβαση στο συντελεστή απορροής στις περιοχές αυτές, θα μπορούσε να αυξήσει τον χρόνο εξέλιξης της πλημμύρας και κατά συνέπεια να μειωθεί η παροχή αιχμής.



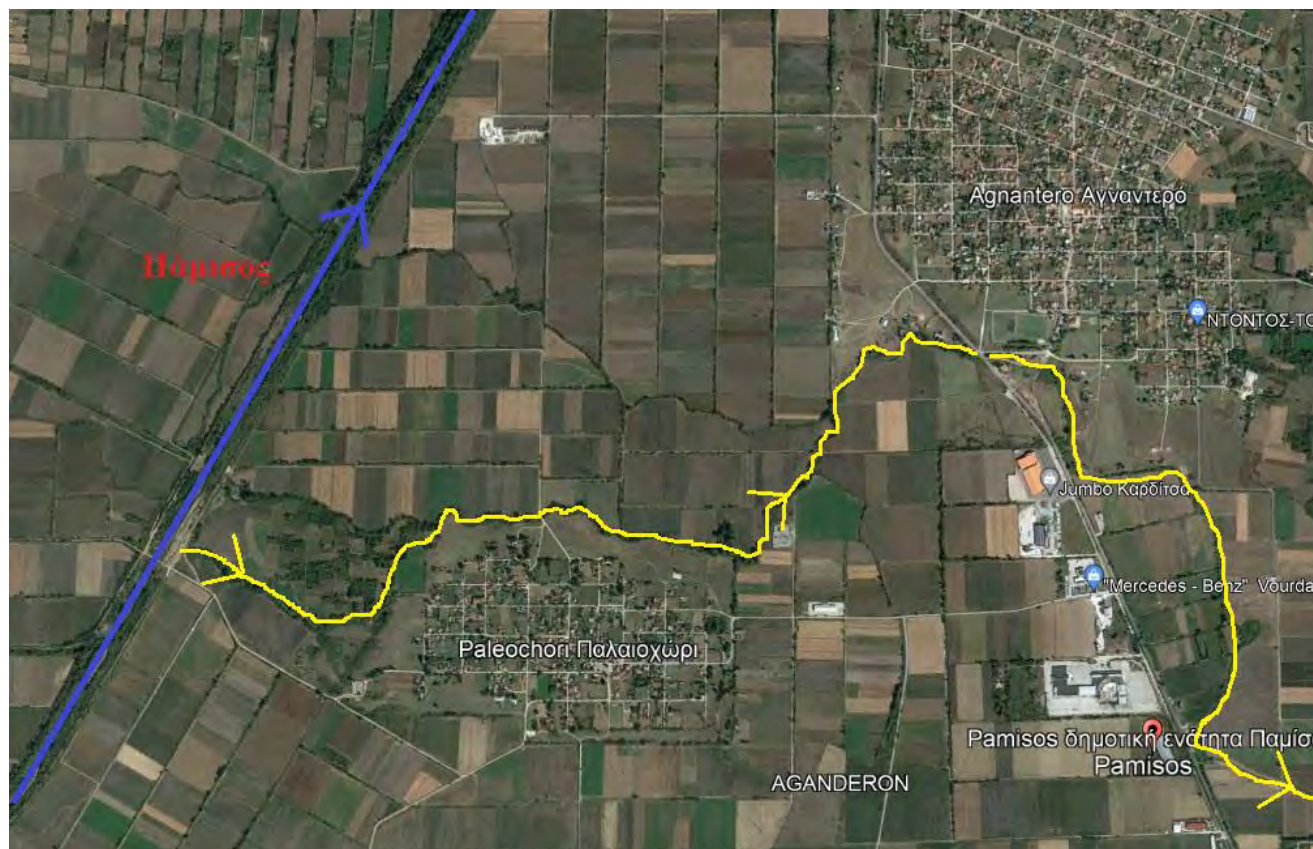
Σχήμα 4.4 Αποτέλεσμα προσομοίωσης χάρτη της πλημμυρικής κατάκλυσης για την μέγιστη παροχή που καταγράφηκε στην εκβολή του Πάμισου ποταμού στον Πηνειό κατά την εξέλιξη του μεσογειακού κυκλώνα «Ιανός», για συνθήκες μόνιμης ροής με την υπόθεση εκτεταμένου καθαρισμού της κοίτης και ενίσχυσης των αναχωμάτων.

4.4 Πρόσθετες παρεμβάσεις

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.6, για την υφιστάμενη κατάσταση προκύπτει όγκος νερού που δύναται να πλημμυρίσει τις παρακείμενες πεδινές εκτάσεις που διατρέχει ο Πάμισος ποταμός της τάξης των $8,000,000.00 \text{ m}^3$. Να σημειωθεί ξανά ότι για την περίπτωση του μεσογειακού κυκλώνα «Ιανός», πλημμύρισε παρόχθια έκταση 6.5 km^2 , που αντιστοιχεί σε τουλάχιστον διπλάσιο όγκο νερού που προέκυψε από την πλημμύρα 100ετίας για δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII. Με το δεδομένο αυτό, και με κριτήριο την παρέμβαση να περιορίζεται στην λογική του καθαρισμού και αύξησης του εμβαδού της κοίτης του ποταμού, η πλήρης αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων θα απαιτούσε εκτεταμένη εκβάθυνση και διεύρυνση της κοίτης με σημαντική ενίσχυση των αναχωμάτων. Για μια καταιγίδα όπως αυτήν του κυκλώνα «Ιανός», με τα προβλήματα να εμφανίζονται σε μήκος αρκετών χιλιομέτρων, οι απαιτούμενες χωματουργικές εργασίες καθαρισμού, εκβάθυνσης και εναπόθεσης ενισχύοντας τα αναχώματα σημαντικά, είναι της τάξης του $500,000.00 \text{ m}^3$.

Λαμβάνοντας υπόψη, τόσο την πιθανότητα εμφάνισης ακραίων φαινομένων με αυξημένη συχνότητα αλλά και όσο το δυνατόν μια πιο περιβαλλοντικά φιλική παρέμβαση στον Πάμισο ποταμό, σε συνδυασμό με πιο ήπιες παρεμβάσεις καθαρισμού και κατασκευής αναχωμάτων, θα μπορούσε να

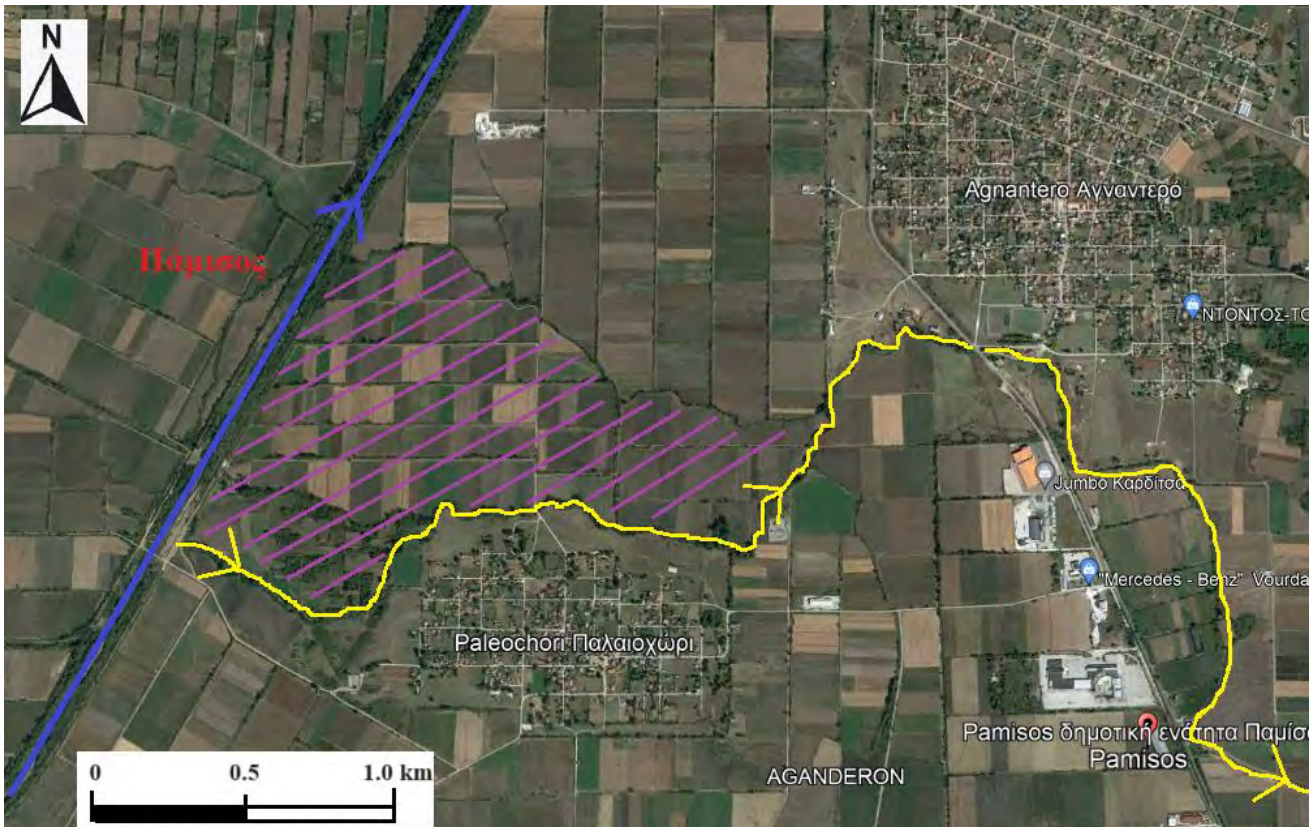
εξεταστεί και η μερική εκτροπή του Πάμισου ποταμού. Ως προσφορότερη και οικονομικότερη λύση φαίνεται να είναι η διευθέτηση του υδατορέματος που ήδη εκρέει από τον Πάμισο ποταμό προς τους οικισμούς του Παλαιοχωρίου και του Αγναντερού, και καταλήγει στο Μέγα Ρέμα, κοντινό παραπόταμο του Πηνειού, προς τα κατάντη της εκβολής του Πάμισου σε αυτόν. Το συγκεκριμένο ρέμα φαίνεται στο Σχήμα 4.5 που ακολουθεί.



Σχήμα 4.5 Υδατόρεμα που εκρέει από τον Πάμισο ποταμό νοτιότερα προς το Μέγα Ρέμα, σημειωμένο με την κίτρινη γραμμή (υπόβαθρο χάρτη από Google earth).

Σε αντίθεση με την διατομή του που είναι της τάξης των 100 m^2 στην περιοχή που διατρέχει νοτιότερα, μεταξύ του Πάμισου ποταμού και των παραπάνω οικισμών, η κοίτη του έχει περιοριστεί τουλάχιστον κατά 70 %. Το γεγονός αυτό συνέβαλε και σε πλημμυρικά φαινόμενα που εξελίχθηκαν κατά την καταιγίδα «Ιανός» στον οικισμό του Αγναντερού, από τις παρυφές του οποίου διέρχεται το εν λόγω υδατόρεμα. Η διάνοιξη του ρέματος αυτού θα μπορούσε να δεχθεί και να εκτρέψει σημαντικό όγκο νερού. Με βάση την υφιστάμενη κατάσταση αυτό θα απαιτούσε χωματουργικές εργασίες διεύρυνσης του ρέματος της τάξης των $150,000.00 \text{ m}^3$ και την απαλλοτρίωση 100 στρεμμάτων αγροτικής έκτασης. Εναλλακτικά, ή και συμπληρωματικά θα μπορούσε να δημιουργηθεί ζώνη προσωρινής παραμονής πλημμυρικού όγκου και σταδιακής παροχέτευσης του από το ρέμα το οποίο και θα πρέπει να διευθετηθεί αναλόγως. Ενδεικτικά στο Σχήμα 4.6, προτείνεται περιοχή αμιγώς καλλιεργητικής χρήσης, έκτασης 1.5 km^2 , στην περίμετρο της οποίας θα πρέπει να κατασκευαστεί όμως ανάχωμα μέσου ύψους 2 m. Σημείο προσοχής αποτελούν οι παρακείμενοι οικισμοί. Αθροιστικά

για την περίπτωση αυτή απαιτούνται χωματουργικές εργασίες και απαλλοτρίωσης αγροτικής έκτασης ίδιας τάξης μεγέθους με την προηγούμενη υπόθεση. Ενδεχομένως να απαιτείται παρόμοια παρέμβαση με τη διαμόρφωση προσωρινή περιοχής πλημμύρας, και στην περιοχή μεταξύ των οικισμών Μαγούλας και Μαγουλίτσας όπου τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του ποταμού με την απότομη μείωση της διατομής του με την ταυτόχρονη μείωση της κλίσης του δημιουργούν συνθήκες ανάσχεσης της ροής.



Σχήμα 4.6 Πιθανή ζώνη προσωρινής παραμονής πλημμυρικού όγκου νερού, σημειωμένη με διαγράμμιση, και σταδιακής παροχέτευσης του από το παρακείμενο ρέμα, σημειωμένο με κίτρινη γραμμή (υπόβαθρο χάρτη από Google Earth).

Τέλος, αν για μια σειρά παραγόντων όπως περιβαλλοντικοί όροι και η ανάγκη να μην επηρεαστούν οι υφιστάμενες χρήσεις γης στην πεδινή περιοχή όπου εντοπίζονται τα πλημμυρικά φαινόμενα, θα μπορούσε να εξεταστεί συνδυαστικά η διαχείριση του υδάτινου φορτίου του Πάμισου ποταμού στις πηγές του, που βρίσκονται στον ορεινό όγκο δυτικά του Μουζακίου, επιτρέποντας ηπιότερες παρεμβάσεις στην υφιστάμενη κοίτη που διατρέχει το πεδινό τμήμα. Σε μια μελλοντική έρευνα, λαμβάνοντας υπόψη την γεωμορφολογία του ορεινού όγκου, και με γνώμονα όσο το δυνατόν μικρότερη παρέμβαση, θα μπορούσε να εξεταστεί η κατασκευή μιας σειράς μικρών φραγμάτων ελέγχου της ροής των χειμάρρων που παροχετεύουν τον Πάμισο ποταμό (Σχήμα 4.7). Τέτοιου είδους τεχνικά έργα έχουν ως μειονέκτημα την μόνιμη δέσμευση εκτάσεων που δυνητικά θα πλημμυρίσουν και θα δημιουργηθούν λιμναίες συνθήκες, καθώς και μια σειρά περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπως η αλλαγή του καθεστώτος μεταφοράς ιζημάτων. Στον αντίποδα, μπορούν να συμβάλλουν στην

διαχείριση του υδατικού αποθέματος της περιοχής ιδίως για τις αυξημένες ανάγκες σε άρδευση που υπάρχουν, ενδεχομένως στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, αλλά κυρίως στον έλεγχο της παροχευτικότητας του ποταμού σε συνθήκες έντονης καταιγίδας μέσω την συγκράτησης σημαντικού όγκου νερού στα ανάντη και πιο σταδιακής εκροής του χαμηλότερα.



Σχήμα 4.7 Ενδεικτικές προς εξέταση θέσεις κατασκευής φραγμάτων ελέγχου ροής στις πηγές του Πάμισου ποταμού, σημειωμένες με πορτοκαλί (υπόβαθρο χάρτη από Google Earth).

Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα

5.1 Σύνοψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, προσομοιώθηκε σε κατάλληλο λογισμικό το φαινόμενο της πλημμύρας στη λεκάνη απορροής του Πάμισου ποταμού εντός του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, προκειμένου να εκτιμηθούν η έκτασή του και οι πιθανές επιπτώσεις του και να διερευνηθούν κατάλληλες ενέργειες περιορισμού του φαινομένου αυτού. Ειδικότερα, για την υδραυλική προσομοίωση της πλημμυρικής κατάκλυσης, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό HEC-RAS.

Η λεκάνη απορροής που εξετάστηκε, αντιστοιχεί στην περιοχή από τις ορεινές πηγές του υπό εξέταση ποταμού όπου κυριαρχούν οι απότομες κλίσεις, έως τη συμβολή του με τον ποταμό Πηνειό, με το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης στα κατάντη να είναι πεδινό με πολύ ήπιες κλίσεις.

Πραγματοποιήθηκε σειρά μονοδιάστατων προσομοιώσεων για συνθήκες μόνιμης και μη μόνιμης ροής, για περίοδο επαναφοράς 100 ετών, για μέσες και δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας απλοποιώντας το υδρογραφικό σύστημα σε έναν κύριο κλάδο.

Το υδρογραφικό δίκτυο ψηφιοποιήθηκε με βάση το διαθέσιμο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της υπό εξέταση περιοχής και τα γεωμετρικά στοιχεία των τεχνικών έργων. Κατά την προκαταρκτική αξιολόγηση των πρωτογενών αυτών δεδομένων, διαπιστώθηκε ότι το ψηφιακό μοντέλο εδάφους χαρακτηρίζεται από συστηματικά λάθη τα οποία ήταν αναγκαίο να διορθωθούν για την εκτέλεση αξιόπιστων προσομοιώσεων. Τα συστηματικά λάθη του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, οφείλονται τόσο στην χαμηλή γεωμετρική ακρίβεια του προϊόντος όσο και στο γεγονός ότι έχουν ληφθεί υπόψη ως υψόμετρα στοιχεία που δεν είναι έδαφος και εμφανίζονται ως τέτοιο (πχ βλάστηση, κατασκευές). Το πρόβλημα αυτό που συνδέεται με την εξαγωγή του ΨΜΕ από στοιχεία αεροφωτογραφιών έχει διαπιστωθεί και καταγραφεί και σε σχετικές τεχνικές εκθέσεις σε παλαιότερες υδραυλικές προσομοιώσεις για λογαριασμό του αρμόδιου υπουργείου (floods.ypeka.gr), ωστόσο δεν προτείνεται κάποια ενιαία και διακριτοποιημένη μεθοδολογία διόρθωσης σε βαθμό που να ικανοποιεί τις ανάγκες σχετικών προσομοιώσεων.

Έπειτα από τις παρατηρήσεις στο αρχικό ΨΜΕ, αναζητήθηκαν συμπληρωματικές μετρήσεις, και λήφθηκαν υπόψη μετρήσεις πεδίου που αποτυπώνονται σε τοπογραφικά στοιχεία των γεφυρών της περιοχής μελέτης καθώς και το πρόγραμμα Google earth. Η διόρθωση του τοπογραφικού υποβάθρου/ψηφιακού μοντέλου εδάφους, εφαρμόστηκε ποσοτικά με ενιαίο τρόπο για όλο το μήκος

του Πάμισου ποταμού.

Οι χάρτες πλημμυρικής κατάκλυσης που προέκυψαν από την υδραυλική προσομοίωση του Πάμισου ποταμού δίνουν μια αντιπροσωπευτική εικόνα των περιοχών που χρήζουν αντιπλημμυρικής προστασίας και βρίσκονται στο πεδινό τμήμα που διατρέχει ο ποταμός. Κάποιες από αυτές αντιστοιχούν σε οικισμούς με μικρή απόσταση από τον ποταμό, και σε μεγαλύτερο εύρος αγροτικές εκτάσεις. Πράγματι και αν ληφθούν υπόψη και ιστορικά δεδομένα πλημμυρών ο κίνδυνος πλημμύρας λόγω υπερχείλισης του Πάμισου ποταμού εντοπίζεται σε αυτήν την πεδινή έκταση. Ωστόσο υπάρχει και ο κίνδυνος διάβρωσης των πρανών της όχθης λόγω ανάπτυξης μεγάλων ταχυτήτων ροής, που εντοπίζεται κυρίως στην περιοχή του Μουζακίου, και έχει καταγραφεί στο πρόσφατο παρελθόν, όπου πράγματι προκύπτουν μεγάλες ταχύτητες ροής από τις προσομοιώσεις στην περιοχή αυτή.

Κρίθηκε αναγκαία η λήψη μέτρων αντιπλημμυρικής προστασίας με τον κατάλληλο σχεδιασμό σειράς τεχνικών έργων, και εξετάστηκε μια σειρά πιθανών παρεμβάσεων. Η σχετική διερεύνηση έδειξε ότι απαιτούνται μεγάλης κλίμακας παρεμβάσεις και συνδυασμός τους για να περιοριστεί σημαντικά ο κίνδυνος πλημμύρας στην περιοχή μελέτης.

5.2 Γενικά συμπεράσματα

- Το αποτέλεσμα μιας υδραυλικής προσομοίωσης εξαρτάται σημαντικά από την ακρίβεια των τοπογραφικών δεδομένων εισόδου, όπως η ανάλυση του DEM καθώς αν αποτυπώνει πολύ αδρά την τοπογραφία μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα (Δεβελέκου 2020).
- Η δημιουργία DEM από ορθοφωτοχάρτες λαμβάνει ως υψόμετρα εδάφους βλάστηση και κατασκευές με αποτέλεσμα την σημαντική αλλοίωση των πραγματικών δεδομένων.
- Στην περίπτωση που το διαθέσιμο DEM έχει ακρίβεια τάξης μεγέθους ανάλογης με χαρακτηριστικά γεωμετρικά του ποταμού όπως το βάθος της κοίτης, το υψών αναχωμάτων κ.α. είναι ακατάλληλο για χρήση σε υδραυλικές προσομοιώσεις, με ακόμη εντονότερο το πρόβλημα στην περίπτωση που τα δεδομένα έχουν αλλοιωθεί και από την θεώρηση βλάστησης-κτισμάτων ως υψόμετρα εδάφους. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η χρήση DEM μεγαλύτερης ακρίβειας (είτε με την όσο το δυνατόν διόρθωση του υφιστάμενου είτε με την δημιουργία νέου).
- Για την εκτίμηση βάθους πλημμύρας περιοχών κατάκλυσης το DEM πρέπει να έχει ακρίβεια μικρότερης τάξης μεγέθους από τις υψομετρικές ανομοιογένειες των αντίστοιχων εκτάσεων. Για εκτάσεις με μικρό βάθος πλημμύρας>>>Μέθοδος παραγωγής τοπογραφικού με εναέριο μέσο-λείξερ.
- Η καταγραφή των χρήσεων γης είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό παραμέτρων σε σχέση με τις υδρολογικές απώλειες ή για την επιλογή του συντελεστή Manning κατά τη διαδικασία μιας υδραυλικής προσομοίωσης.
- Σημαντικό ρόλο στις πλημμύρες παίζουν τα τεχνικά έργα, και ιδίως οι υφιστάμενες γέφυρες στην

περιοχή μελέτης, οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν ως εμπόδια στη ροή του υδατορέματος καθώς μειώνουν την επιφάνεια των διατομών και επηρεάζουν το συνολικό βάθος ροής, κατά συνέπεια θα πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στις σχετικές υδραυλικές προσομοιώσεις.

- Τα ιστορικά στοιχεία πλημμύρας είναι ιδιαιτέρως χρήσιμα για τον έλεγχο αξιοπιστίας των υδραυλικών προσομοιώσεων μιας περιοχής μελέτης, και μπορούν να συμβάλλουν ουσιαστικά στην ορθότερη επιλογή της περιόδου επαναφοράς στον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό.
- Συνδυαστικά ο καθαρισμός της κοίτης ενός ποταμού, και της υπερύψωσης των αναχωμάτων, μπορούν να μειώσουν δραστικά την πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων. Ωστόσο υπάρχουν ζητήματα περιβαλλοντικής φύσης ιδίως όταν η απαιτούμενη αποψίλωση βλάστησης και απομάκρυνση φερτών υλικών συνεπάγεται την υποβάθμιση οικοτόπων και την απειλή για κάποια είδη χλωρίδας και πανίδας που ενδιατούν και εξαρτώνται από αυτές τις ποτάμιες περιοχές.
- Στην περίπτωση που ο σχεδιασμός της αντιπλημμυρικής προστασίας μιας περιοχής περιορίζεται από την όσο το δυνατόν διατήρηση των υφιστάμενων χρήσεων γης και δραστηριοτήτων, μπορούν να διερευνηθούν πρόσθετα μέτρα ελέγχου ροής στις πηγές του ποτάμιου συστήματος της περιοχής μελέτης, όπου και αναμένεται συνήθως μικρότερης κλίμακας ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

5.3 Ειδικά συμπεράσματα

- Η λεκάνη του Πάμισου, είναι γνωστή για τις απότομες κλίσεις στο νότιο και νοτιοανατολικό τμήμα της, στην οροσειρά της Πίνδου και τα μεγάλα υψόμετρα (έως και 1000+ m), καθώς και από το ομαλό ανάγλυφο και τις ήπιες κλίσεις, κατά την έξοδο του ποταμού στον Κάμπο της Θεσσαλίας.
- Με βάση το ιστορικό πλημμυρών της περιοχής που διατρέχει ο Πάμισος, ιδίως στο πεδινό τμήμα, υπάρχει ο κίνδυνος πλημμυρικών επεισοδίων και κατά συνέπεια απαιτείται σειρά παρεμβάσεων για την πρόληψή τους.
- Απαιτείται διόρθωση του διαθέσιμου ΨΜΕ σε δύο επίπεδα, την αφαίρεση της συνεισφοράς των υψομέτρων λόγω της βλάστησης για την πιο ορθή αποτύπωση της τοπογραφίας της κοίτης του ποταμού και την διόρθωση του ύψους των αναχωμάτων λόγω μικρής γεωμετρικής ακρίβειας του. Επιτεύχθηκε με τη χρήση πρόσθετων τοπογραφικών στοιχείων και πραγματοποιήθηκε η διόρθωση του τοπογραφικού υποβάθρου/ψηφιακού μοντέλου εδάφους, ποσοτικά με ενιαίο τρόπο για όλο το μήκος του Πάμισου ποταμού.
- Η γεωμετρική ακρίβεια του διαθέσιμου ΨΜΕ, δεν επιτρέπει τρισδιάστατες υδραυλικές προσομοιώσεις για την ασφαλή εκτίμηση του βάθους κατάκλυσης για μια δυνητικά πλημμυρισμένη παραρεμάτια περιοχή, καθώς τόσο οι διαφορές υψών μεταξύ αρδευτικών καναλιών και γεωργικών

πεδίων ιδίως στην πεδινή περιοχή αλλά και το εν δυνάμει βάθος πλημμύρας είναι ίδιας τάξης μεγέθους με τα σφάλματα αποτύπωσης της υφιστάμενης κατάστασης.

- Για περίοδο επαναφοράς τα 100 έτη και για τις δύο συνθήκες εδαφικής υγρασίας, CNII και CNIII, οι περιοχές στο ανάντη τμήμα του Πάμισου ποταμού από τις πηγές του έως τον οικισμό Γελάνθης, δεν εμφανίζουν κίνδυνο πλημμύρας. Η προσομοίωση εμφανίζει αντίθετη εικόνα στα κατάντη, στο πεδινό τμήμα που διατρέχει ο ποταμός από τον οικισμό Γελάνθης έως την εκβολή του στον Πηνειό ποταμό ιδίως για συνθήκες υγρασίας CNIII, όπου εμφανίζεται αυξημένος κίνδυνος υπερχειλίσης του ποταμού και πλημμύρας όπου παρατηρείται ότι η περιοχή που κινδυνεύει από πλημμύρα εκτείνεται σε μήκος άνω των 10 km.

- Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για συνθήκες μη μόνιμης ροής, στην αιχμή της πλημμυρικής κατάκλυσης, είναι παρόμοια με τα αντίστοιχα αποτελέσματα για συνθήκες μόνιμης ροής.

- Για τις υπό εξέταση παροχές σχεδιασμού η ύπαρξη των γεφυρών κατά μήκος του Πάμισου ποταμού δεν επηρεάζουν σημαντικά την παροχετευτικότητα του.

- Η εκτίμηση της έκτασης και της χρονική διάρκειας φαινομένων υπερχειλίσης του ποταμού σε παρακείμενες εκτάσεις, μέσω της ανάλυσης των αποτελεσμάτων για συνθήκες μη μόνιμης ροής, οδηγεί στον υπολογισμό ποσότητας όγκου του νερού που δεν μπορεί να παροχετεύσει η υφιστάμενη κοίτη του ποταμού της τάξης των 8,000,000.0 m³.

- Υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης των πρανών των όχθων του Πάμισου ποταμού λόγω ανάπτυξης μεγάλων ταχυτήτων ροής, που εντοπίζεται κυρίως στην περιοχή του Μουζακίου, όπως έχει καταγραφεί και στο πρόσφατο παρελθόν, όπου πράγματι προκύπτουν μεγάλες ταχύτητες ροής από τις προσομοιώσεις στην περιοχή αυτή.

- Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για την υφιστάμενη κατάσταση στη λεκάνη απορροής του Πάμισου ποταμού είναι συνεπή με πλημμυρικά φαινόμενα που έχουν παρατηρηθεί και στο πρόσφατο παρελθόν (πχ κατά τη διάρκεια του μεσογειακού κυκλώνα «Ιανός»).

- Οι χάρτες πλημμυρικής κατάκλυσης που προέκυψαν από την υδραυλική προσομοίωση του Πάμισου ποταμού καταδεικνύουν τις περιοχές που χρήζουν αντιπλημμυρικής προστασίας οι οποίες βρίσκονται στο πεδινό τμήμα που διατρέχει ο ποταμός. Καθώς σε αυτές εντοπίζονται οικισμοί και αγροτικές εκτάσεις με έντονη δραστηριότητα κρίνεται αναγκαία η λήψη μέτρων αντιπλημμυρικής προστασίας.

- Αν εφαρμοστεί μεμονωμένα το μέτρο ήπιας παρέμβασης του καθαρισμού της επιφάνειας της κοίτης του ποταμού από φερτά υλικά και βλάστηση, δεν επαρκεί για την αντιπλημμυρική θωράκιση της περιοχής μελέτης.

- Αν εφαρμοστεί μεμονωμένα η εκτεταμένη παρέμβαση της υπερύψωσης των αναχωμάτων στις ευάλωτες σε πλημμύρα περιοχές, αυτή δεν επαρκεί για την αντιπλημμυρική θωράκιση της περιοχής μελέτης. Δυνητικά στο πλαίσιο εφαρμογής μόνο αυτού του μέτρου απαιτούνται αρκετά μεγάλες υπερυψώσεις αναχωμάτων (τουλάχιστον 2 m), που συνεπάγεται δραματική αύξηση του κόστους

παρέμβασης.

- Η προσομοίωση του συνδυασμού του καθαρισμού της κοίτης για το πεδινό τμήμα του Πάμισου ποταμού, με την μικρή εκβάθυνσή του και την υπερύψωση των αναχωμάτων στην περιοχή αυτή, προβλέπει δραστική μείωση των πλημμυρικών φαινομένων σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση τα οποία και περιορίζονται μόνο στα δυτικά του οικισμού της Μαγούλας και σε σχετικά μικρό μήκος.
- Η μερική εκτροπή του Πάμισου ποταμού, με προσφορότερη και οικονομικότερη λύση την διευθέτηση του υφιστάμενου υδατορέματος που εκρέει από αυτόν προς τους οικισμούς του Παλαιοχωρίου και του Αγναντερού, και καταλήγει στο Μέγα Ρέμα, κοντινό παραπόταμο του Πηνειού, προς τα κατάντη της εκβολής του Πάμισου σε αυτόν μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην αντιπλημμυρική προστασία της περιοχής.

5.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

- Να γίνει η αξιολόγηση των πρόσφατων μετεωρολογικών δεδομένων στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (π.χ. μεσογειακοί κυκλώνες «Ιανός» και «Daniel») για το κατά πόσον θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη περίοδος επαναφοράς μεγαλύτερη από τα 100 έτη για τον προσδιορισμό της παροχής σχεδιασμού.
- Για την εκτίμηση βάθους πλημμύρας περιοχών κατάκλυσης να παραχθεί DEM ικανής ακρίβειας >>Μέθοδος παραγωγής τοπογραφικού με εναέριο μέσο-λείζερ.
- Συμπληρωματικά στα προτεινόμενα έργα καθαρισμού και διεύρυνσης της κοίτης με κριτήριο την όσο το δυνατόν μικρότερη κλίμακά σχετικών παρεμβάσεων κυρίως για περιβαλλοντικούς λόγους, αλλά και με την πιθανότητα συχνής εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων, να μελετηθεί η δημιουργία ζωνών προσωρινής παραμονής πλημμυρικού όγκου.
- Αν περιβαλλοντικοί όροι, η πιθανότητα συχνής εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων αλλά και η ανάγκη να μην επηρεαστούν οι υφιστάμενες χρήσεις γης στην πεδινή περιοχή όπου εντοπίζονται τα πλημμυρικά φαινόμενα είναι κρίσιμοι παράγοντες, θα πρέπει να εξεταστεί η διαχείριση του υδάτινου φορτίου του Πάμισου ποταμού στις πηγές του, που βρίσκονται στον ορεινό όγκο δυτικά του Μουζακίου, λαμβάνοντας υπόψη την γεωμορφολογία του ορεινού όγκου, με την κατασκευή μιας σειράς μικρών φραγμάτων ελέγχου της ροής των χειμάρρων που παροχετεύουν τον Πάμισο ποταμό.
- Να εξεταστεί αν η χρήση/διαχείριση της βλάστησης στο πεδινό τμήμα που διατρέχει ο Πάμισος ποταμός, μέσω πυκνής φύτευση στα αναχώματα και στις αντίστοιχες παραποτάμιες περιοχές, θα μπορούσε να επιβραδύνει μια πιθανή πλευρική υπερχειλίση.
- Σε ότι αφορά τα ανάντη, και ιδίως στις υπολεκάνες απορροής των χειμάρρων που τροφοδοτούν τον Πάμισο ποταμό, να εξεταστεί αν έργα ορεινής υδρονομίας θα μπορούσαν να συμβάλλουν ουσιαστικά στον συντελεστή απορροής των περιοχών αυτών και κατ' επέκταση στην απομείωση της παροχής αιχμής ενός φαινομένου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Asian Development Bank, (2016). Nature-Based Solutions for Building Resilience in Towns and Cities: Case Studies from the Greater Mekong Subregion.
- Brunner, G.W. (2021). HEC-RAS River Analysis System,Hydraulic Reference Manual Version 6.0.
- Chow, V.T. (1959). Open-channel hydraulics: New York, McGraw-Hill Book Co., 680 p.
- Elmer, F., Thieken, A. H., Pech, I., Kreibich, H. (2010): Influence of flood frequency on residential building losses. - Natural Hazards and Earth System Sciences (NHESS), 10, 2145- 2159
- European Commission (2015) Nature-based solutions research policy.
- Guo, J., Admiral, D. M., Zhang, T. C. (2010). Computational Design Tool for Bridge Hydrodynamic Loading in Inundated Flows of Midwest Rivers. Lincoln.
- Inglezakis, V.J., Menegaki, A.N. (2016). Hydrological Cycle - The hydrological cycle of the earth is the sum of all processes in which water moves from the land and ocean surface to the atmosphere and back in the form of precipitation.
- Papaioannou, G., Efstratiadis, A., Vasiliades, L., Loukas, A., Papalexiou, S., Koukouvinos, A., Tsoukalas, I., Kossieris, P. (2018). An operational method for Flood Directive implementation in ungauged urban areas. Hydrology, 5, 24.
- UN World Water Development Report (2006).
- Walter Langbein. (1962) Committee of the U.S. Federal Council for. Science and Technology.
- Brunner, G. W. (2022). HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual Version 6.2.
- Βασιλειάδης, Λ., και Ν. Μυλόπουλος. «Τεχνική Έκθεση Πραγματογνωμοσύνης για την Πλημμύρα του Μεσογειακού Κυκλώνα «Ιανός» στην ευρύτερη περιοχή Δήμων Μουζακίου και Αργιθέας την 18η Σεπτεμβρίου 2020». Πυροσβεστική Υπηρεσία Μουζακίου, Μουζάκι, Μάρτιος 2021.
- Βασιλειάδης, Λ., Υδρολογική μελέτη Πάμισου ποταμού, 2023
- Βηλαρά Β., «Υδρογεωλογική και Περιβαλλοντική Μελέτη της Υδρολογικής Λεκάνης των Τρικάλων», Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2010-2011
- Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο (2018) «Οδηγία για τις πλημμύρες: πρόοδος ως προς την αξιολόγηση των κινδύνων, ανάγκη βελτίωσης του σχεδιασμού και της υλοποίηση».

- Ζαμπετάκη – Λέκκα Α. & Τσούρου Θ., “Κεφάλαια Στρωματογραφίας, Στρωματογραφία Εξωτερικών Ελληνίδων”, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2011
- Καραπάνος Σ., “Το χειμαρρικό Περιβάλλον (δυναμικό) του χειμάρρου Πάμισου Θεσσαλίας. (Εστίες Παραγωγής Χειμαρρικών Φαινομένων – Αποτελεσματικότητα των Εκτελεσθέντων Έργων Διευθέτησης)”, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2007
- Κάψαλης Κ.Π., “Προσομοίωση της ανάντη λεκάνης του ποταμού Πηνειού και ανάλυση ευαισθησίας με χρήση του Υδρολογικού μοντέλου HEC-HMS”, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2009
- Κοινοπραξία Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου & Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, 2011γ. Χαρακτηρισμός και τυπολογία επιφανειακών υδατικών συστημάτων και αρχικός και περαιτέρω χαρακτηρισμός των υπόγειων υδατικών συστημάτων, Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Οδηγίας 2000/60/EK, κατ’ εφαρμογή του Ν. 3199/2003 και του ΠΔ. 51/2007: Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας (08), Παραδοτέο 5ο, ΥΠΕΚΑ, Αθήνα
- Κοινοπραξία Διαχείρισης Υδάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου & Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, 2011ι. Σχέδιο Διαχείρισης Υδάτων: Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας, Κατάρτιση Σχεδίων Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Θεσσαλίας, Ηπείρου και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Οδηγίας 2000/60/EK, κατ’ εφαρμογή του Ν. 3199/2003 και του ΠΔ. 51/2007: Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας (08), 1η Έκδοση, ΥΠΕΚΑ, Αθήνα
- Κοσκινιώτη Κ., “Ανάπτυξη Προσχεδίου Δράσης για την Αειφόρο Ενέργεια για το Δήμο Μουζακίου”, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2014
- Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος Θ., (1999) Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, 418 ΕΜΠ Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ., (2009). Ο αντιπλημμυρικός σχεδιασμός στην Ελλάδα - Αξιοποίηση της επιστημονικής γνώσης, Συνέδριο: Ο ρόλος της επιστήμης στην πορεία ανασυγκρότησης της πυρόπληκτης περιοχής, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.
- Κωνσταντινίδης Δ., Λέκκας Ε., “2. Εκδρομή Δυτικής Θεσσαλίας”, 3ο Επιστημονικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Μάιος 1986

- Λαζάρου Δ., “Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην υδρολογική ξηρασία: Εφαρμογή στις λεκάνες απορροής Πύλης και Μουζακίου”, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείου, Ιούλιος 2013
- Λαμπροπούλου Αικατερίνη, “Υδρολογική μελέτη των καρστικών πηγών στην περιοχή της Οκτωνιάς, Κ.Εύβοια”, Πτυχιακή Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2011
- Λέκκας Ε., Πανταρτζή Π., Νασοπούλου Σ., Παναγοπουλο Α., “Οι Γεωλογικές και Γεωτεχνικές Συνθήκες της Περιοχής Θεμελίωσης του φράγματος Μουζακίου”, Γεωτεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδας, Επιστημονικό Συνέδριο “Εκτροπή του Αχελώου ποταμού στη Θεσσαλία”
- Μαλλιαρός Α., “Διαχείριση Υδατικών Αποθεμάτων ταμιευτήρων σε Συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής- Εφαρμογή στους ταμιευτήρες Πλαστήρα και Σμοκόβου Θεσσαλίας”, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2010
- Μαμάσης Ν., Κουτσογιάννης Δ., “Ερευνητικό Έργο, Υδροσκόπιο – Προκαταρτική Εφαρμογή στο Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας”, Τελική Έκθεση, Υπουργείο Γεωργία – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1996
- Μαμάσης, Ν., (2011). 'Φυσικό και Πιθανοτικό Πλαίσιο Πλημμυρών. Πρόληψη και μετριασμός των επιπτώσεων τους, Εκπαιδευτικές σημειώσεις για το μάθημα Υδατικό Περιβάλλον και Ανάπτυξη, ΔΠΜΣ Περιβάλλον και Ανάπτυξη, ΕΜΠ.
- Μαμάσης, Ν.,(2007). Πλημμύρες και αντιπλημμυρικά έργα, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίηση Υδατικών Πόρων, Σημειώσεις μαθήματος, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μαρίνος, Π. (1995). “Συνολική μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων της εκτροπής του Αχελώου”, Αθήνα.
- Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, του έργου “Αμμοληψία του ποταμού Πάμισου στη θέση «Παλαιά Σφαγεία» Δήμου Μουζακίου”, Καρδίτσα Μάιος 2014
- Ξανθόπουλος, Θ. (1984), «Εισαγωγή στην Τεχνική Υδρολογία», ΕΜΠ, Αθήνα.
- Ξανθόπουλος, Θ. ΕΜΠ, Γκανούλης, Ι. ΑΠΘ «Άνθρωπος και περιβάλλον στον 21^ο αιώνα , Τα κρίσιμα προβλήματα», άρθρο, Μουσείο Γουλανδρή Φυσικής Ιστορίας.
- Παπαζώη, Β., Νάστος , Π. & Φιλάνδρας , Κ., (2010). Μελέτη Πλημμυρικών Φαινομένων στην Αττική (Αστικό και Περιαστικό Περιβάλλον), 9ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο.
- Πετρίτσης Ε., (2022) Διπλωματική Εργασία «Υδρολογική-Υδραυλική προσομοίωση στον Πάμισο ποταμό Θεσσαλίας», ΕΜΠ.

Σκουρλής Κ., “Κινηματική Εξέλιξη του Πινδικού Καλύμματος”, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2002

Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΣΜΠΕ) του ΠΕΠ Θεσσαλίας 2014-2020.

ΥΠΕΚΑ - Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2017) 1η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (EL 8).

ΥΠΕΚΑ – Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Εφαρμογή της Οδηγίας 207/60/ΕΚ, κατ’ εφαρμογή της Κ.Υ.Α. Η.Π. 31822/1542/Ε103. ΥΠΕΚΑ (<http://floods.ypeka.gr/index.php>).

Ψωμάς Α., “Διαχείριση υδατικών πόρων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Πηνειού υπό καθεστώς κλιματικής και κοινωνικοοικονομικής αλλαγής με χρήση του λογισμικού WEAP21”, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2012

Χρήσιμοι διαδικτυακοί σύνδεσμοι:

http://wfd.ypeka.gr/index.php?option=com_content&task=category§ionid=2&id=9&Itemid=12

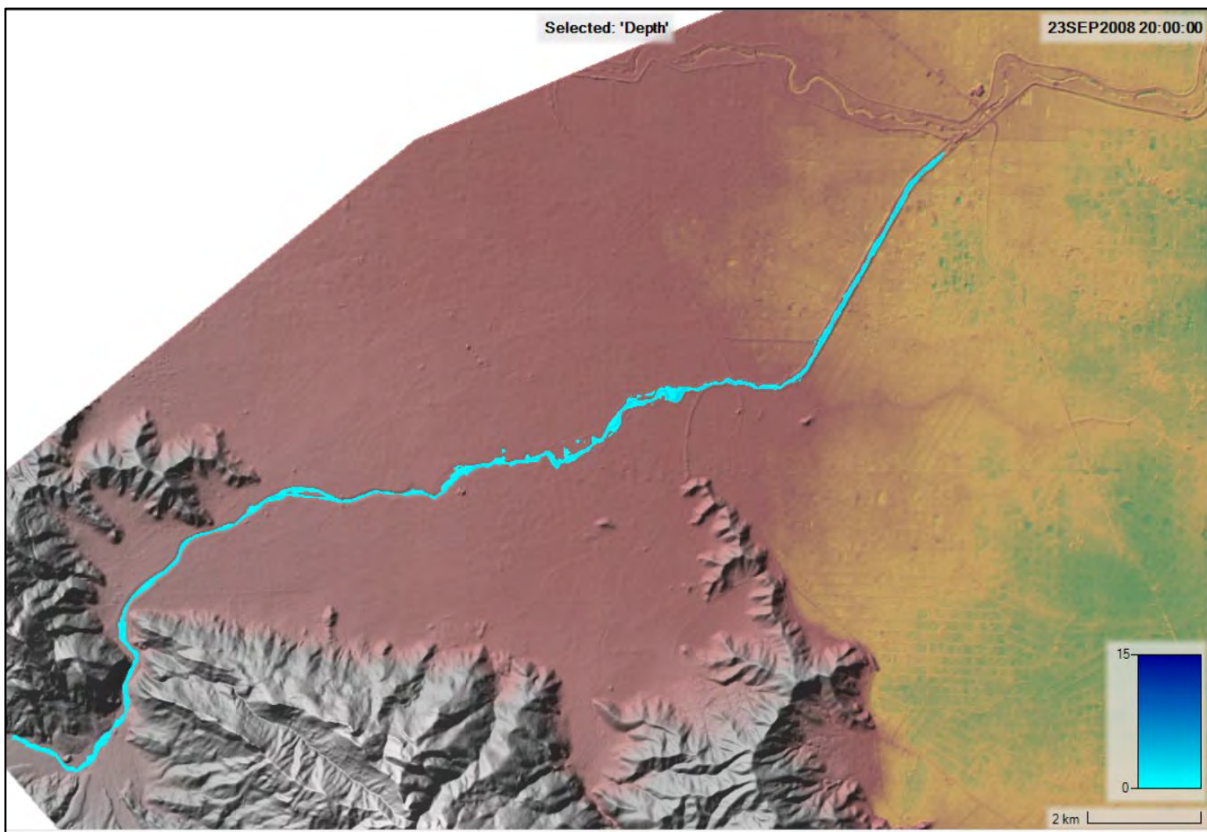
<http://www.openmi-life.org/project/pinios.php?lang=1>

http://www.mouzaki.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=24%3A2009-02-21-20-15-36&Itemid=48

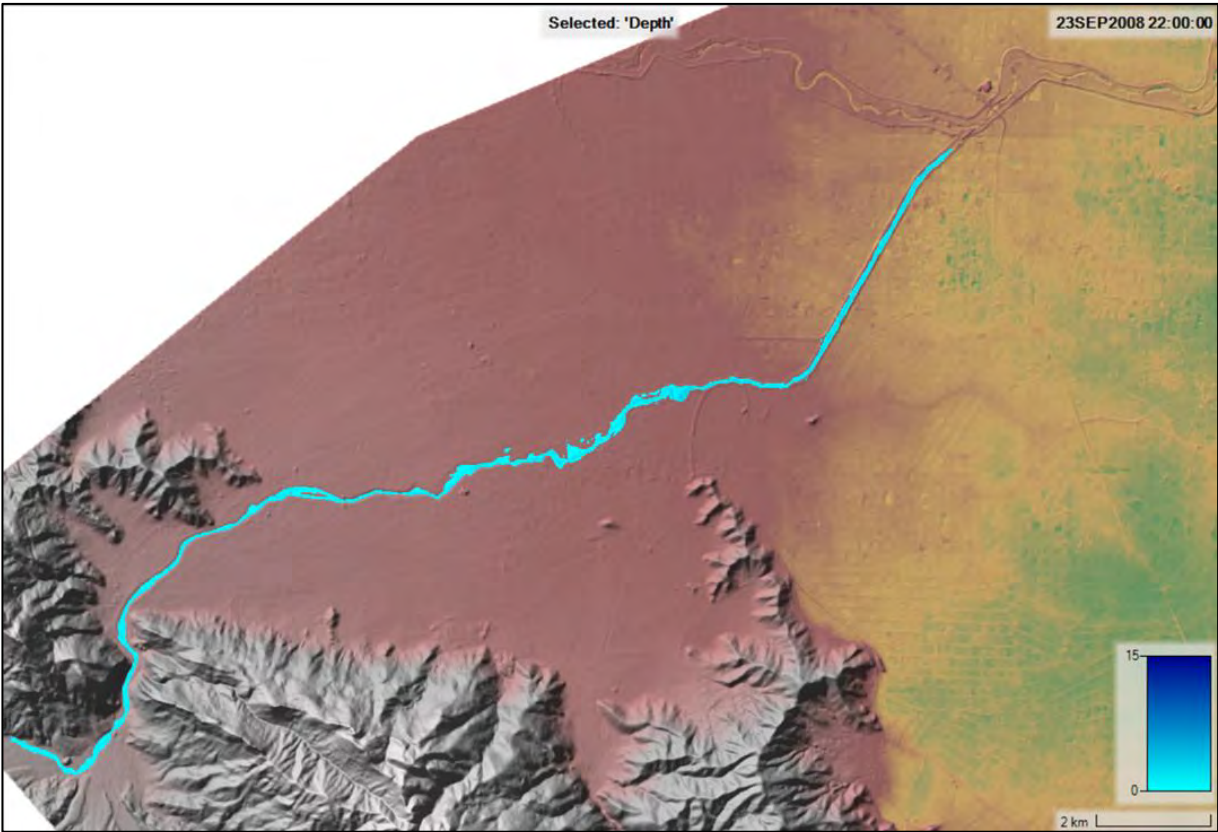
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Υδραυλική προσομοίωση με το λογισμικό Hec-Ras, της εξέλιξη πλημμυρικού επεισοδίου για συνθήκες μη μόνιμης ροής με βάση το πλημμυρογράφημα για δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII (βλ. κεφάλαιο 3.2.3).

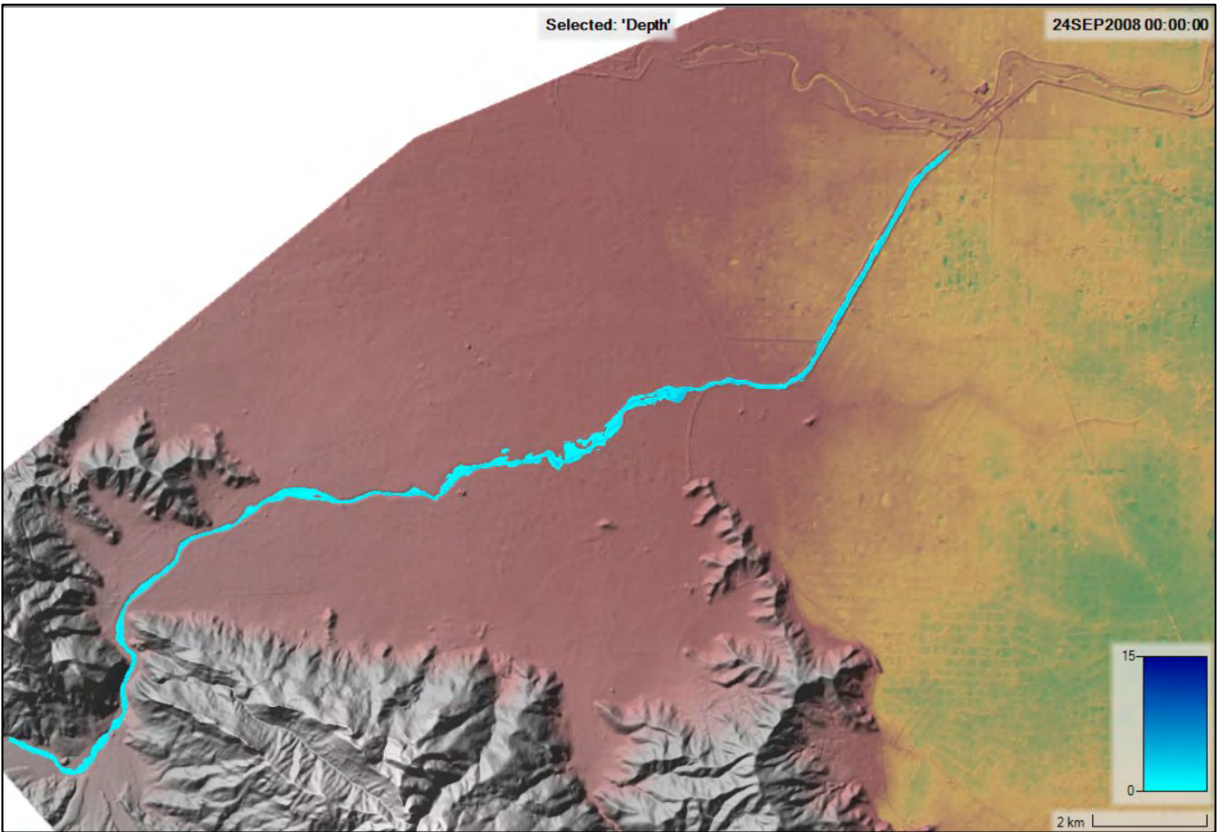
Ειδικότερα, παρατίθεται η εξέλιξη της πλημμυρικής κατάκλυσης, για τιμή της παροχής της κοίτης μεγαλύτερης των $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (εμφανίζεται περίπου 20 ώρες μετά την έναρξη του εξεταζόμενου υδρογραφήματος) που σταδιακά αυξάνει για τις επόμενες 15 ώρες και στη συνέχεια ακολουθεί η εκτόνωση του φαινομένου με την σταδιακή μείωση της παροχής σε διάστημα επιπλέον 10 ωρών οπότε και η παροχή επανέρχεται σε τιμές της τάξης των $100 \text{ m}^3/\text{s}$, με χρονικό βήμα ανά 2 ώρες σε περιβάλλον ψηφιακού τοπογραφικού υποβάθρου.



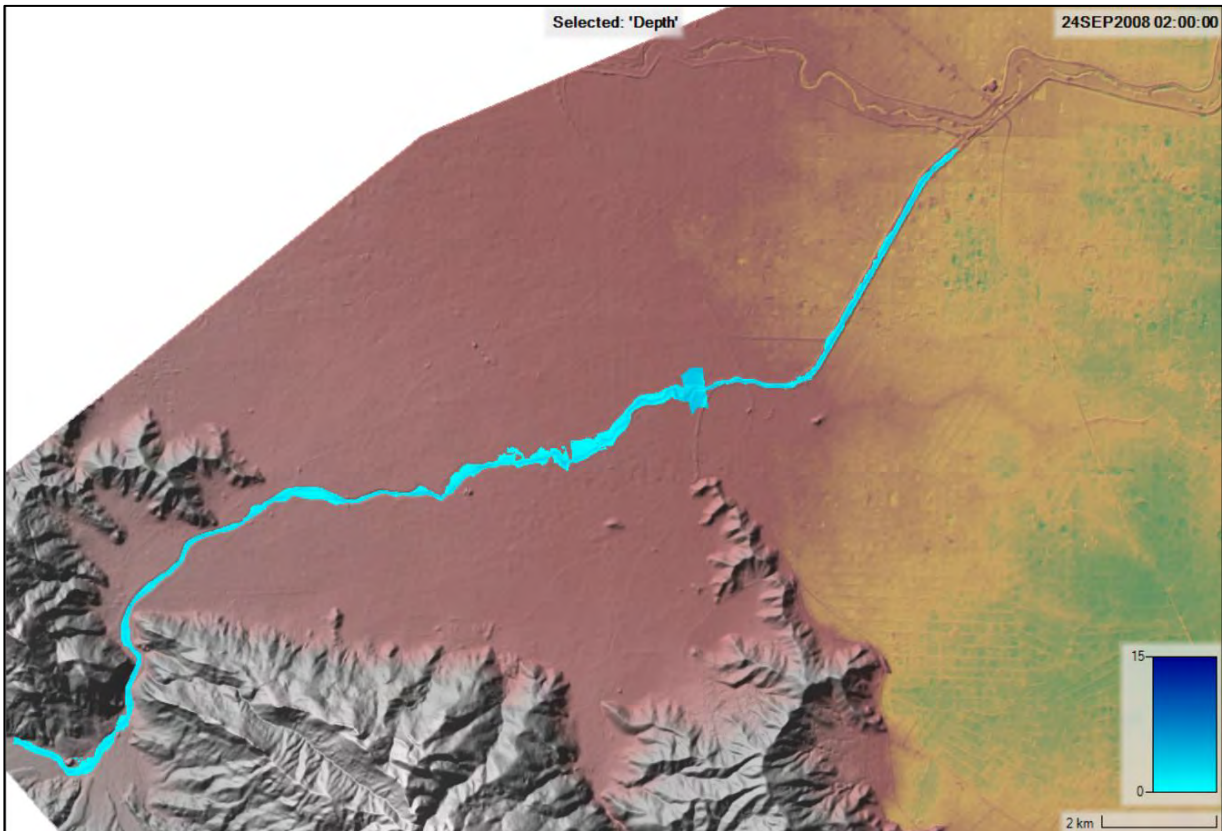
Σχήμα Α.1 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 23/9, ώρα 20:00.



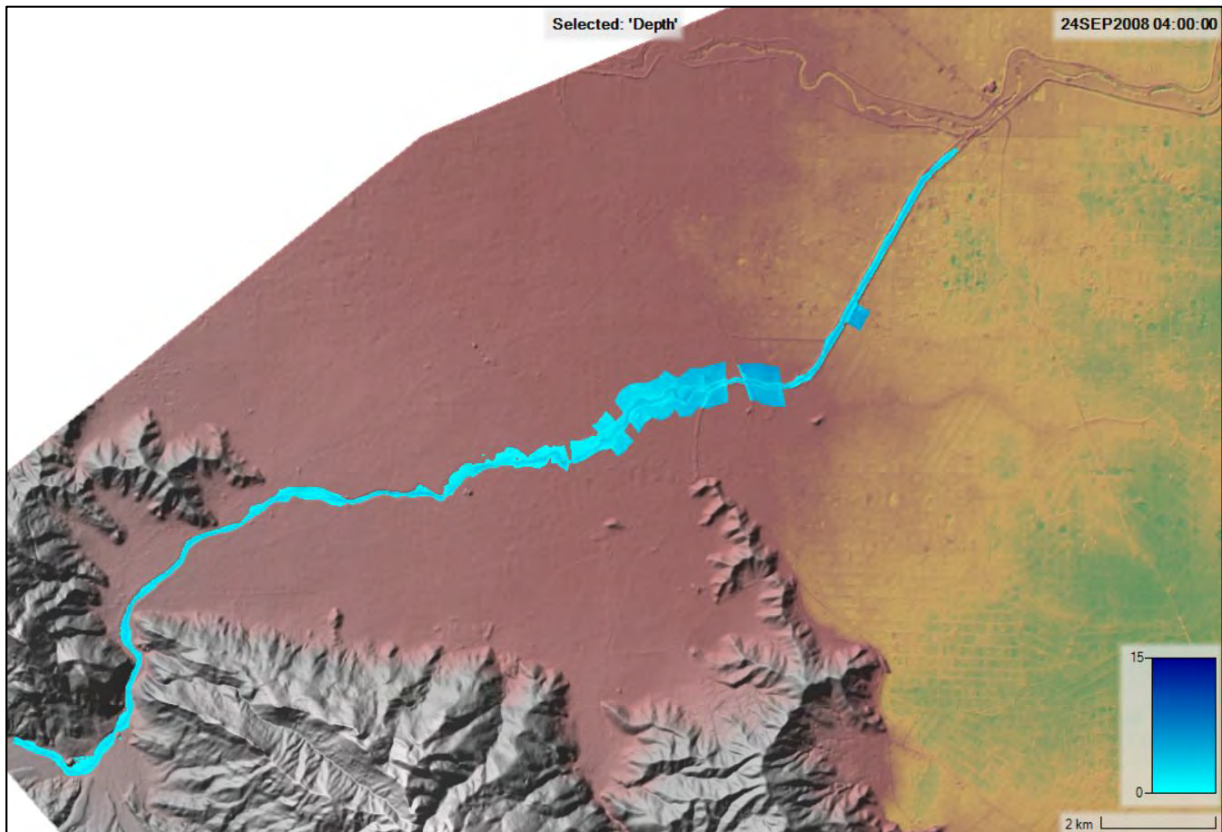
Σχήμα Α.2 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 23/9, ώρα 22:00.



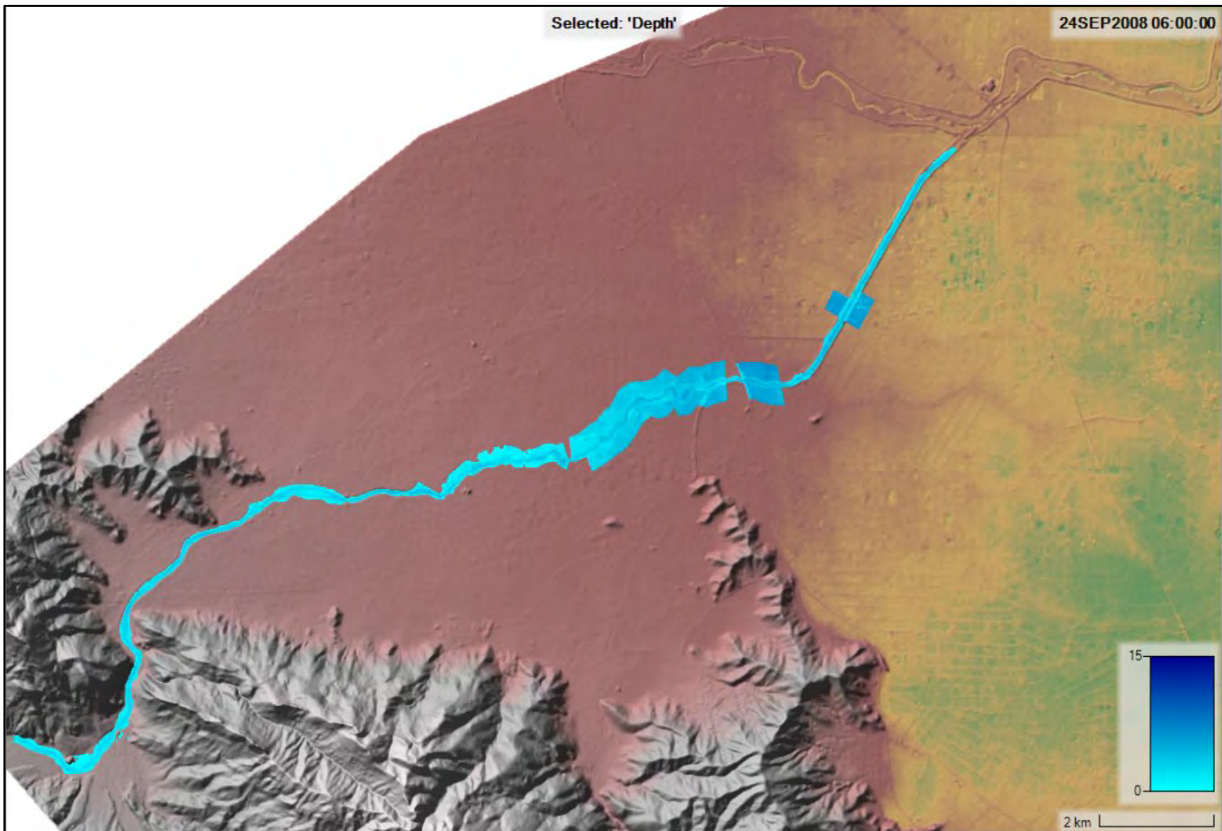
Σχήμα Α.3 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 00:00.



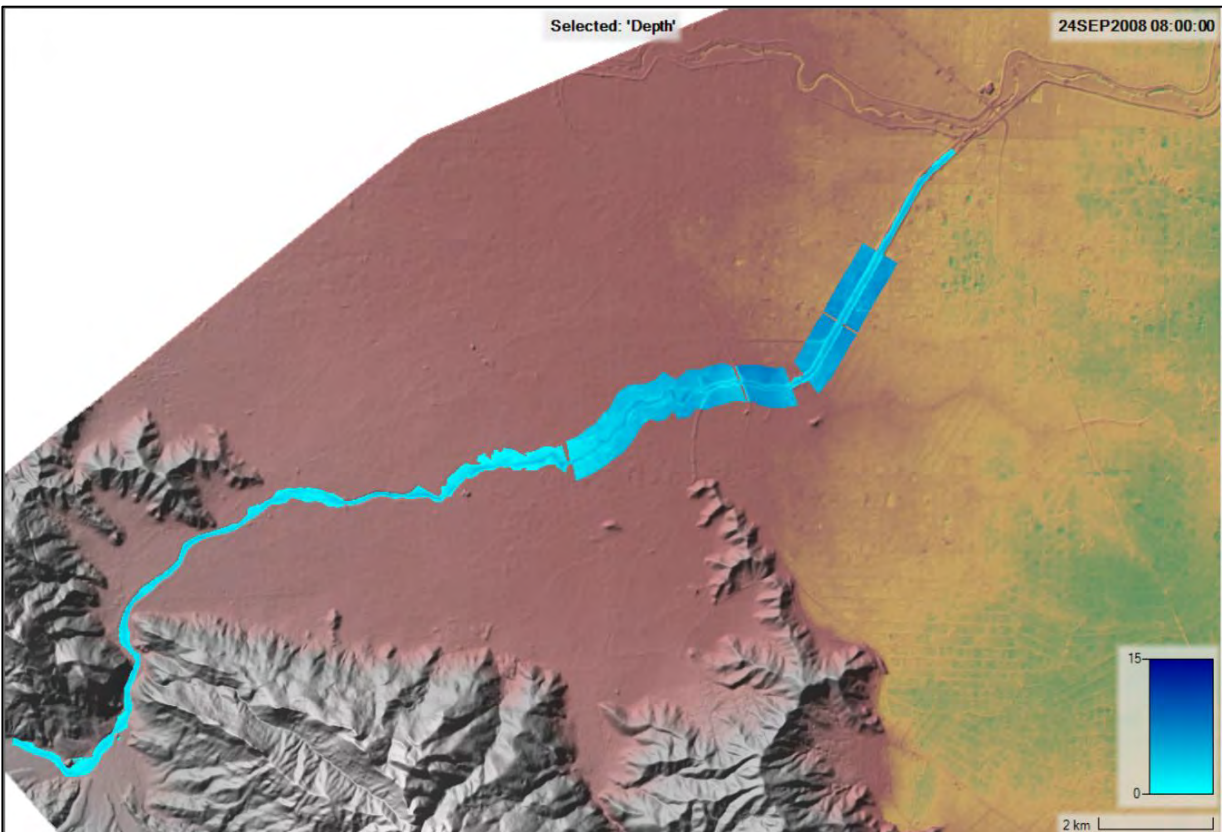
Σχήμα Α.4 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 02:00.



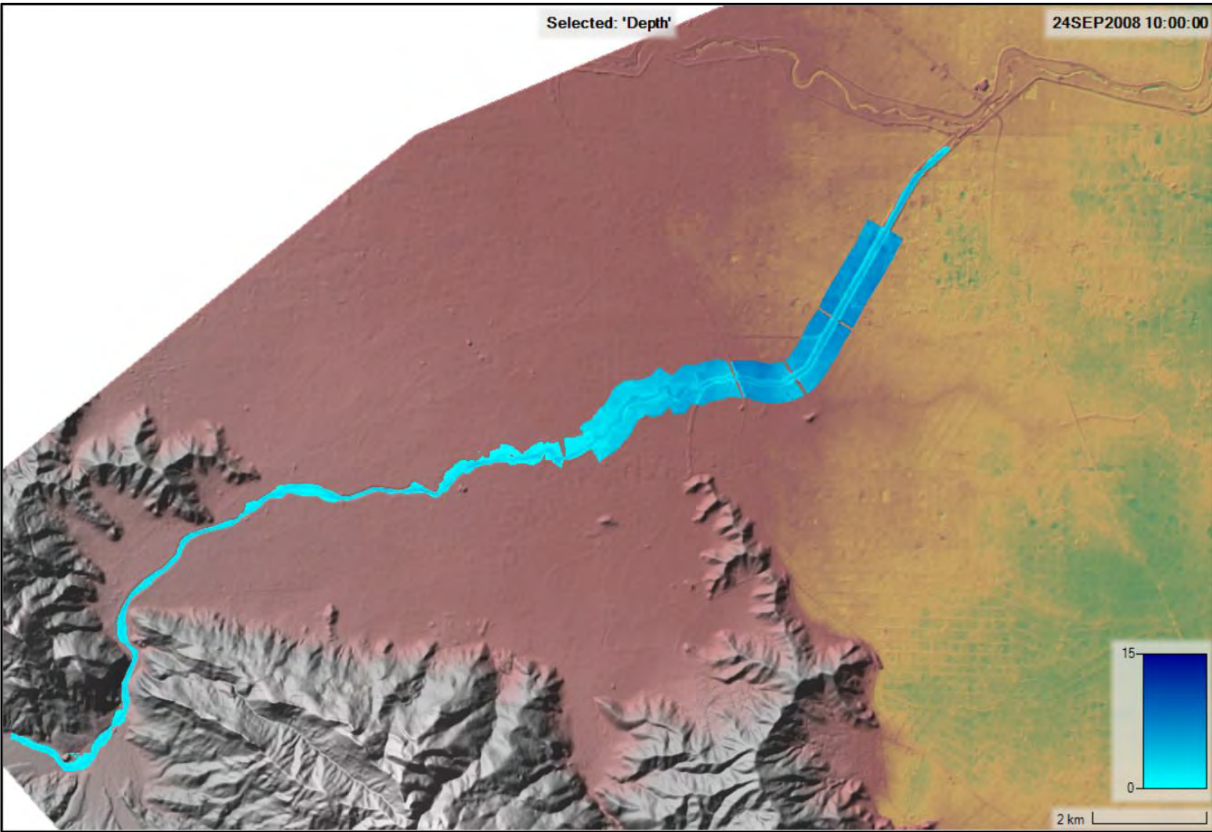
Σχήμα Α.5 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 04:00.



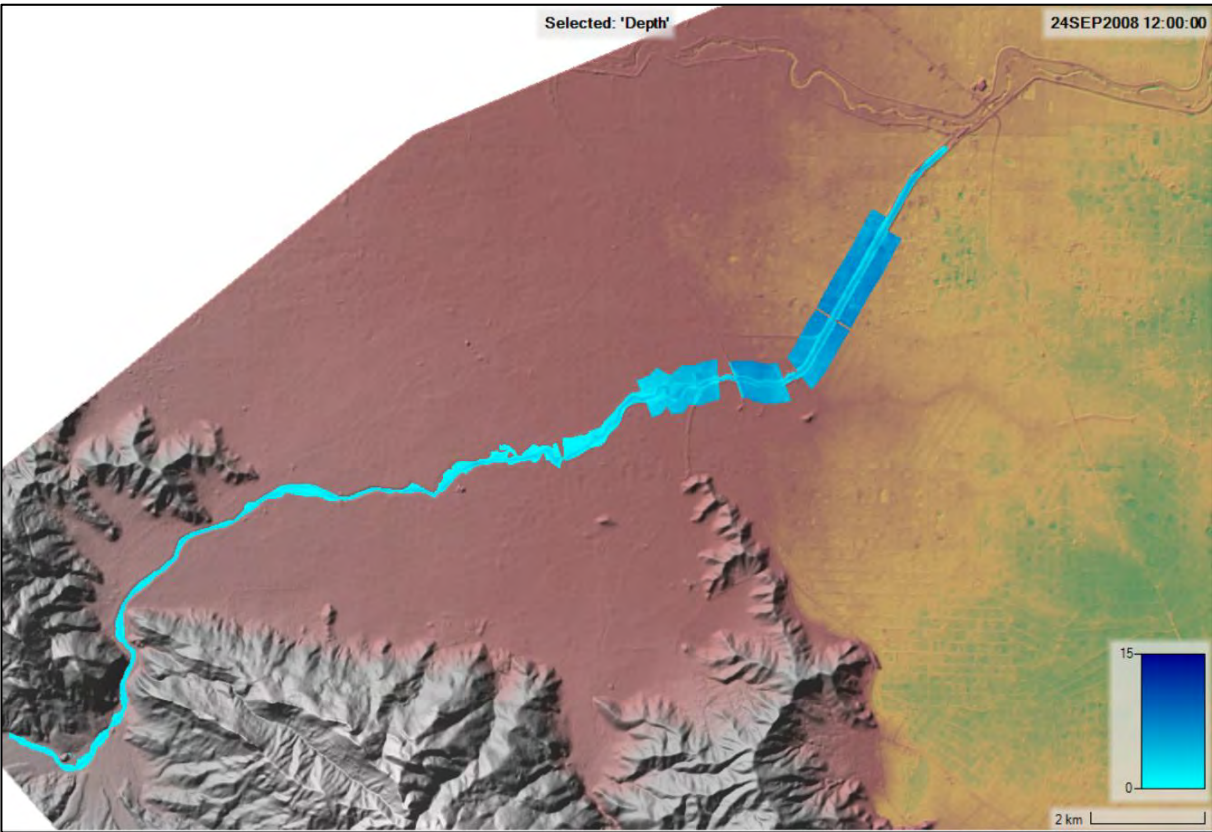
Σχήμα A.6 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 06:00.



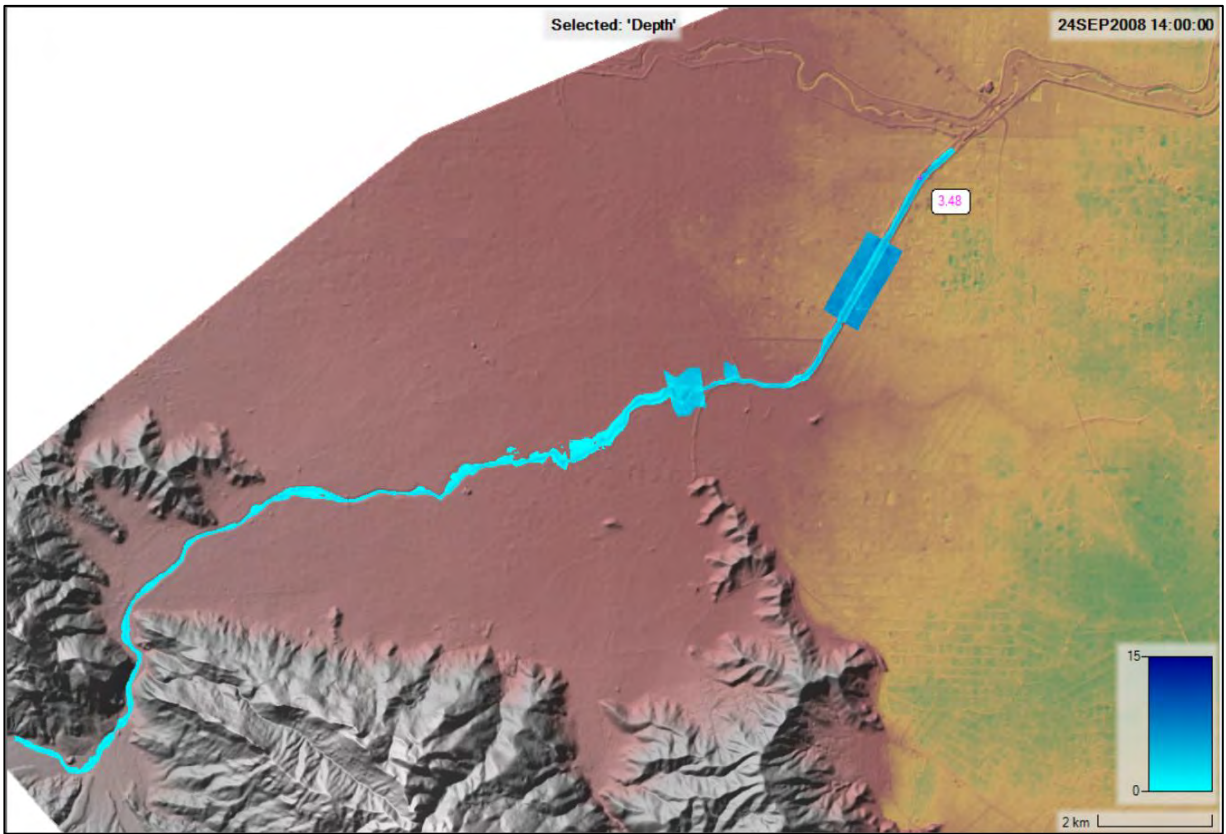
Σχήμα A.7 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 08:00.



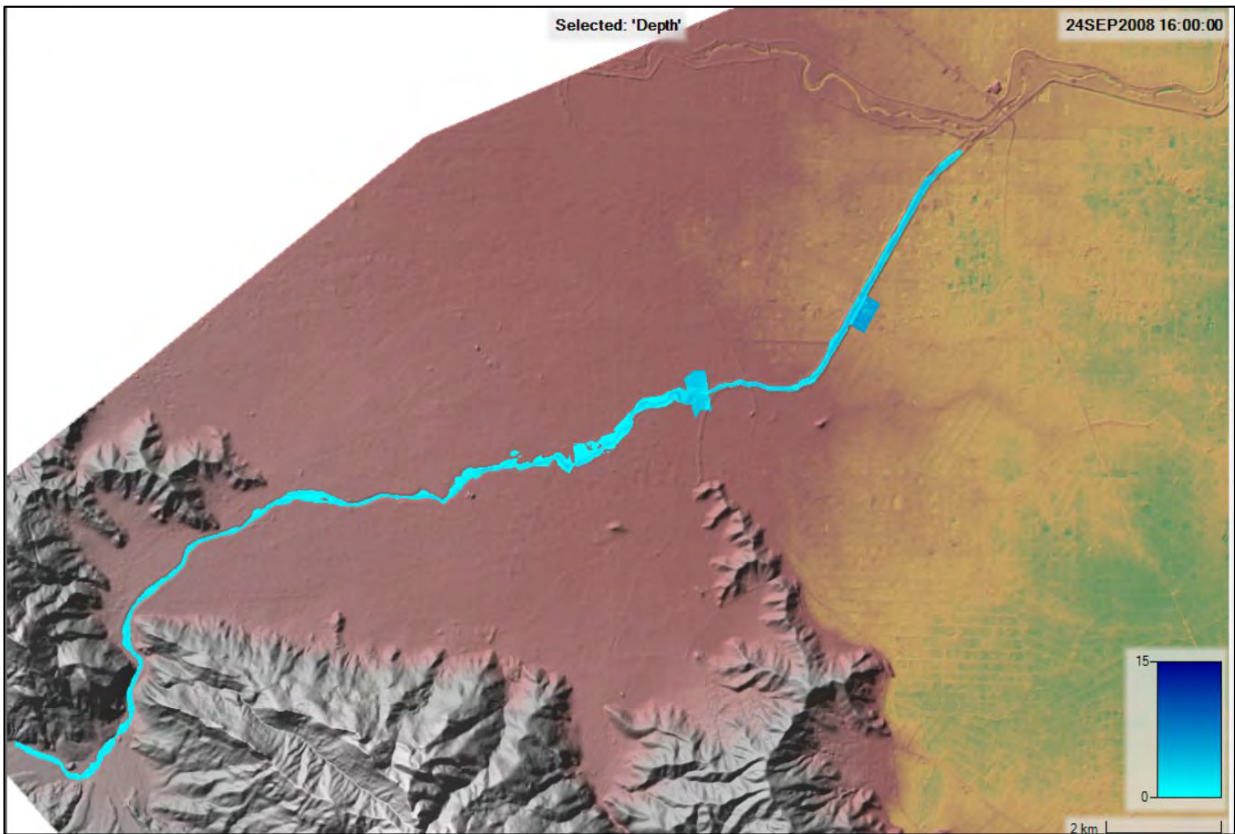
Σχήμα Α.8 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 10:00.



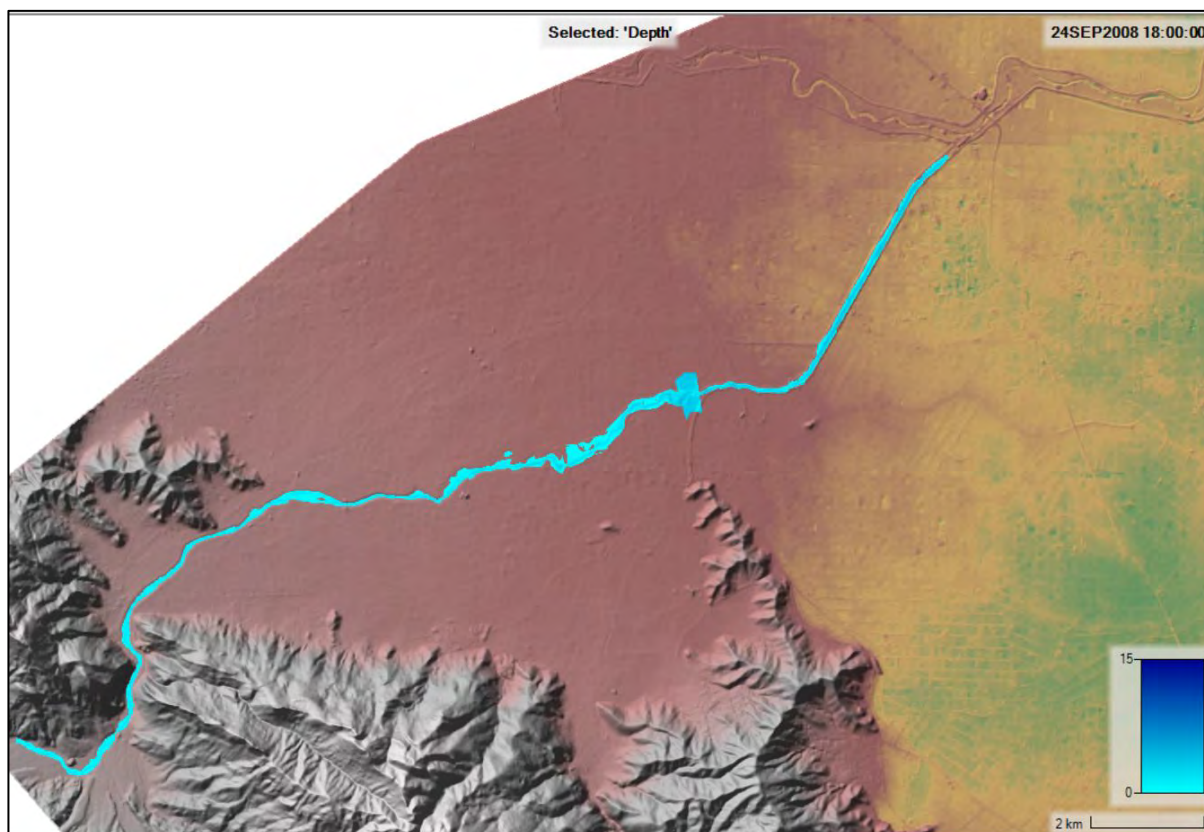
Σχήμα Α.9 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 12:00.



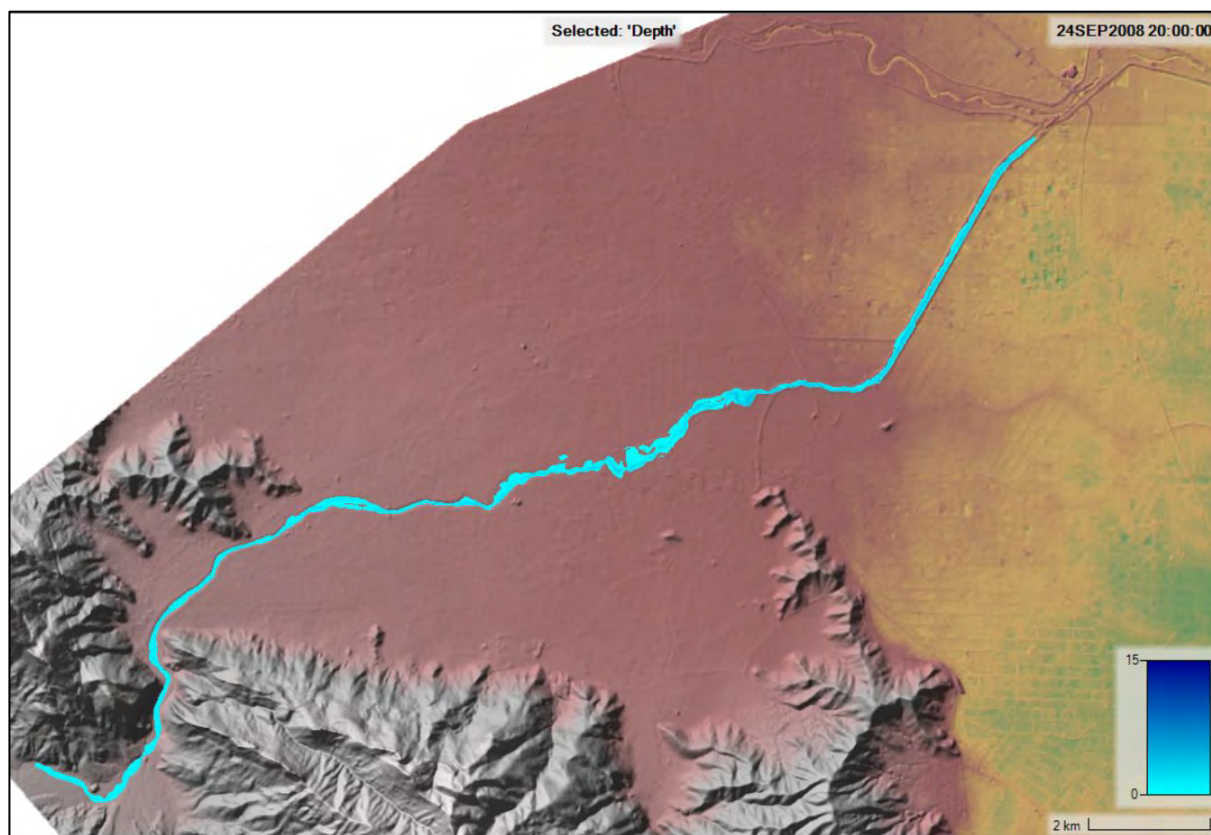
Σχήμα Α.10 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 14:00.



Σχήμα Α.11 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 16:00.



Σχήμα Α.12 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 18:00.

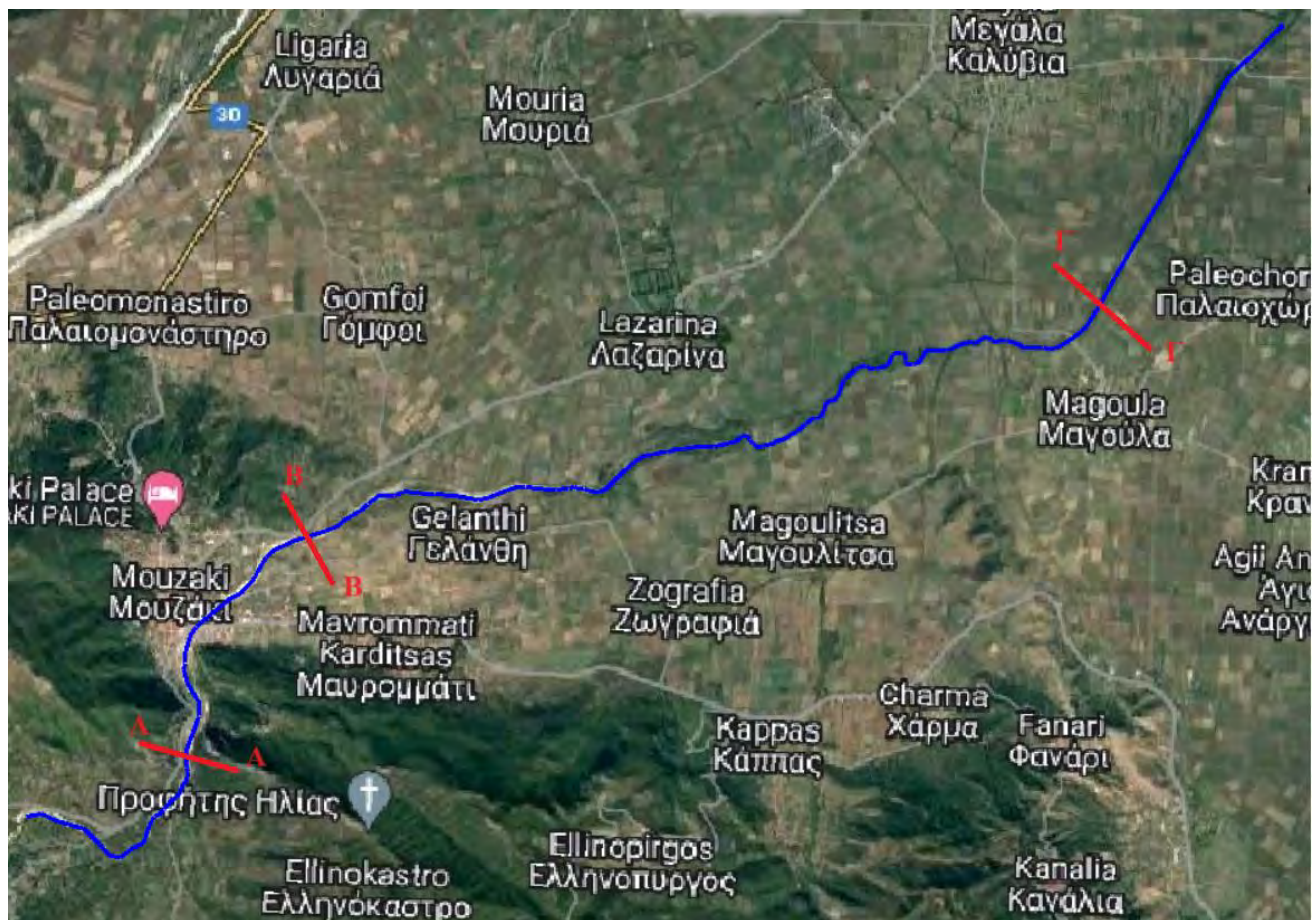


Σχήμα Α.13 Πλημμυρική κατάκλυση λεκάνης απορροής του ποταμού Πάμισου, συνθήκες μη μόνιμης ροής, συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, 24/9, ώρα 20:00.

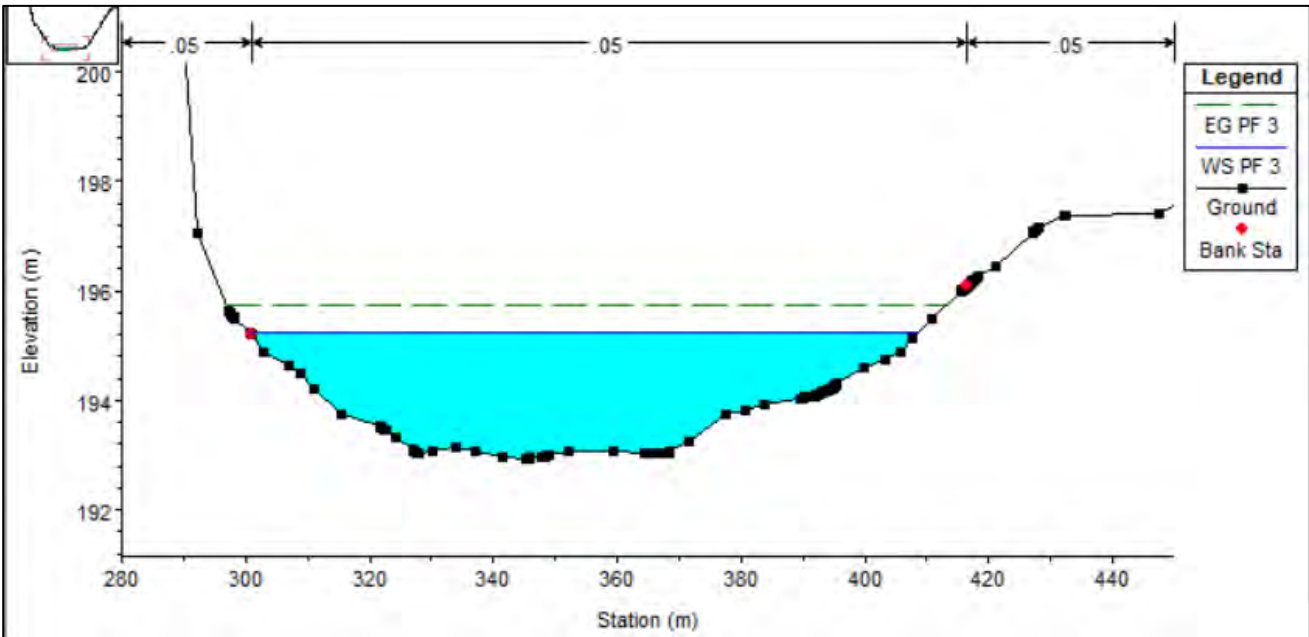
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Υδραυλική προσομοίωση με το λογισμικό Hec-Ras, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής σε χαρακτηριστικές διατομές κατά μήκος του Πάμισου ποταμού με παροχές σχεδιασμού για μέσες και δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNII και CNIII (βλ. κεφάλαιο 3.2.3).

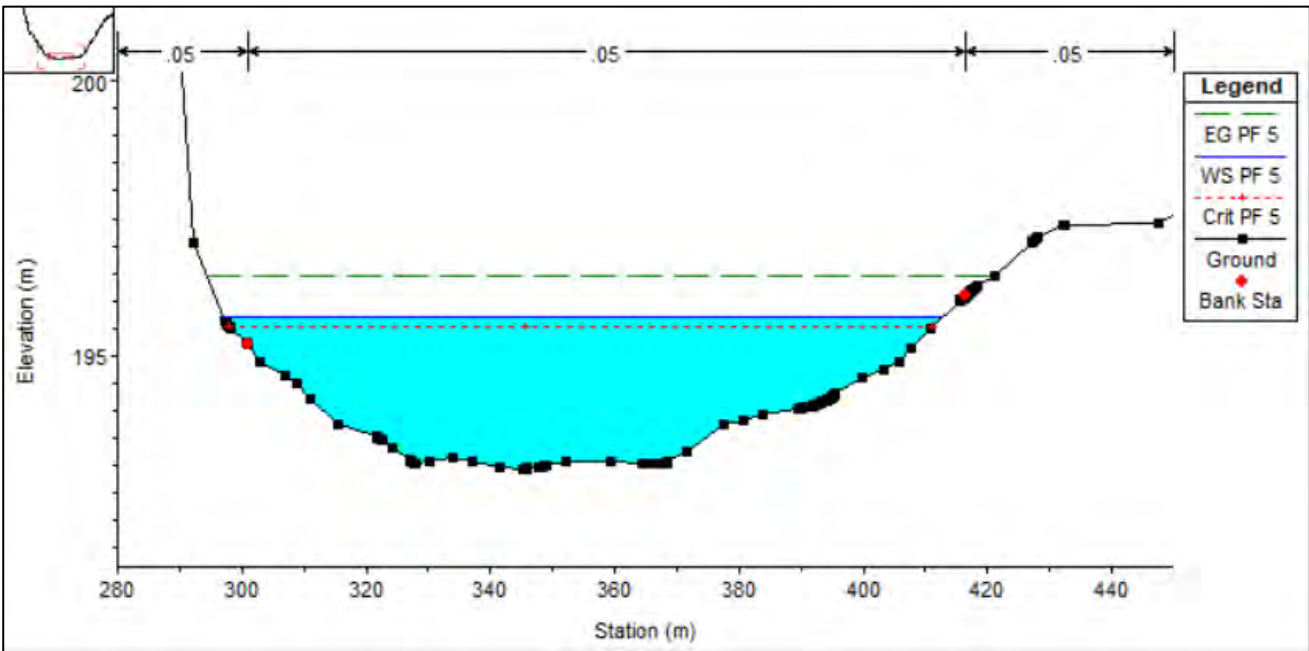
Ειδικότερα, παρατίθεται το προβλεπόμενο βάθος ροής, για τρεις χαρακτηριστικές διατομές με βάση την υφιστάμενη κατάσταση η θέση των οποίων φαίνεται στο Σχήμα Β.1.



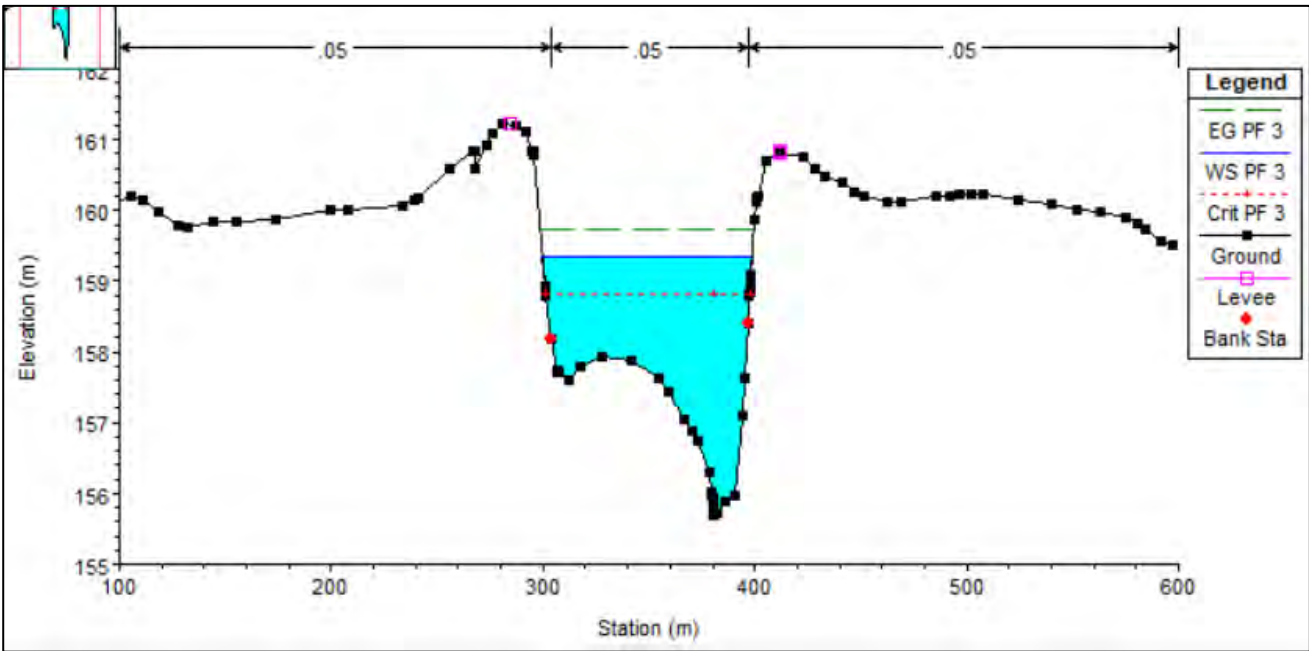
Σχήμα Β.1 Θέση χαρακτηριστικών διατομών (Α-Α, στα ορεινά, Β-Β, στα ημι-ορεινά, Γ-Γ, στα πεδινά).



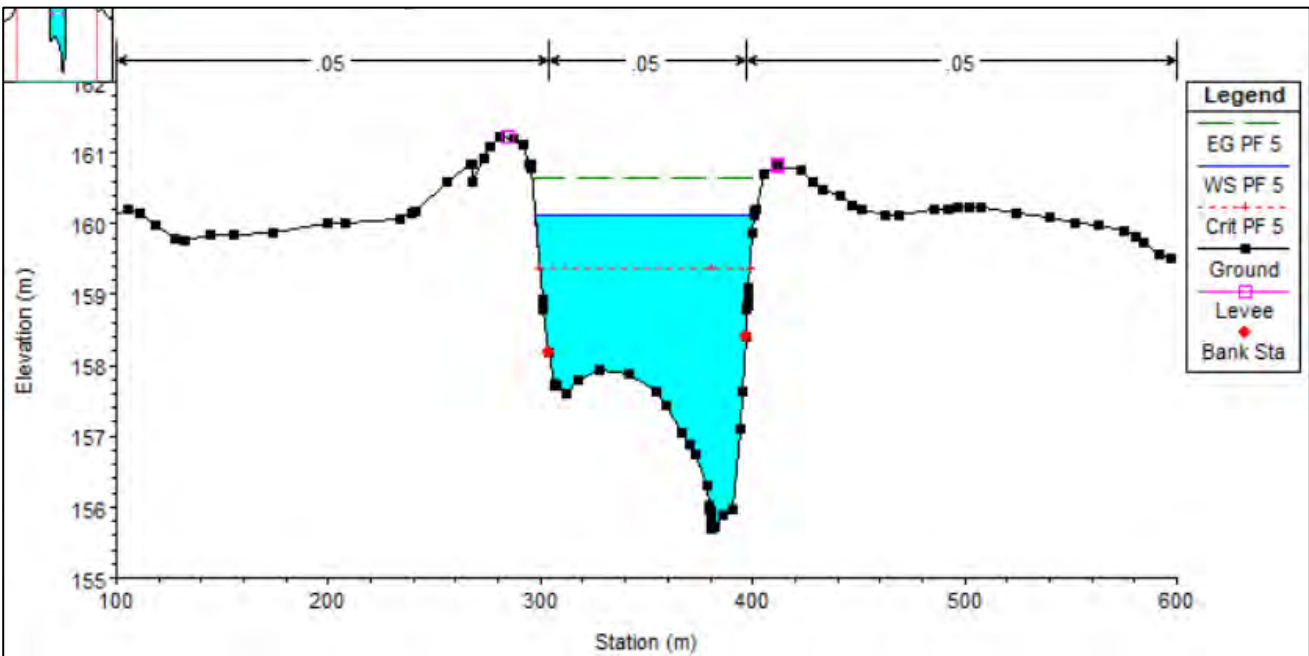
Σχήμα Β.2 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για μέσες συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNII, διατομή Α-Α, υφιστάμενη κατάσταση.



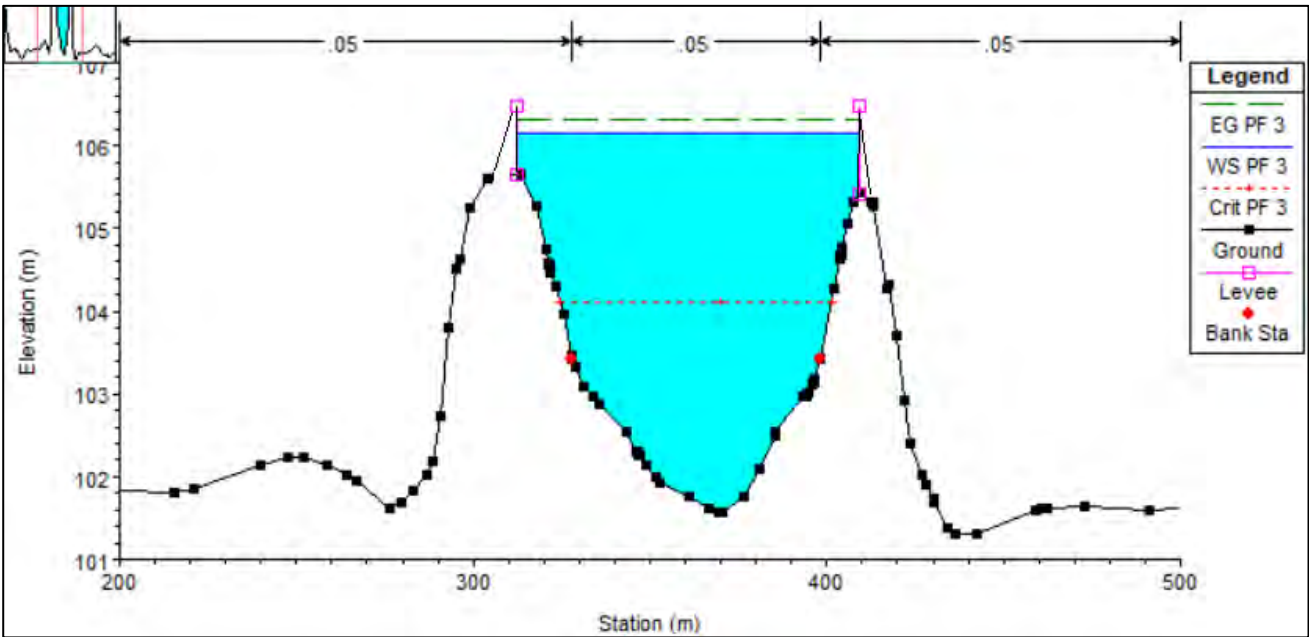
Σχήμα Β.3 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, διατομή Α-Α, υφιστάμενη κατάσταση.



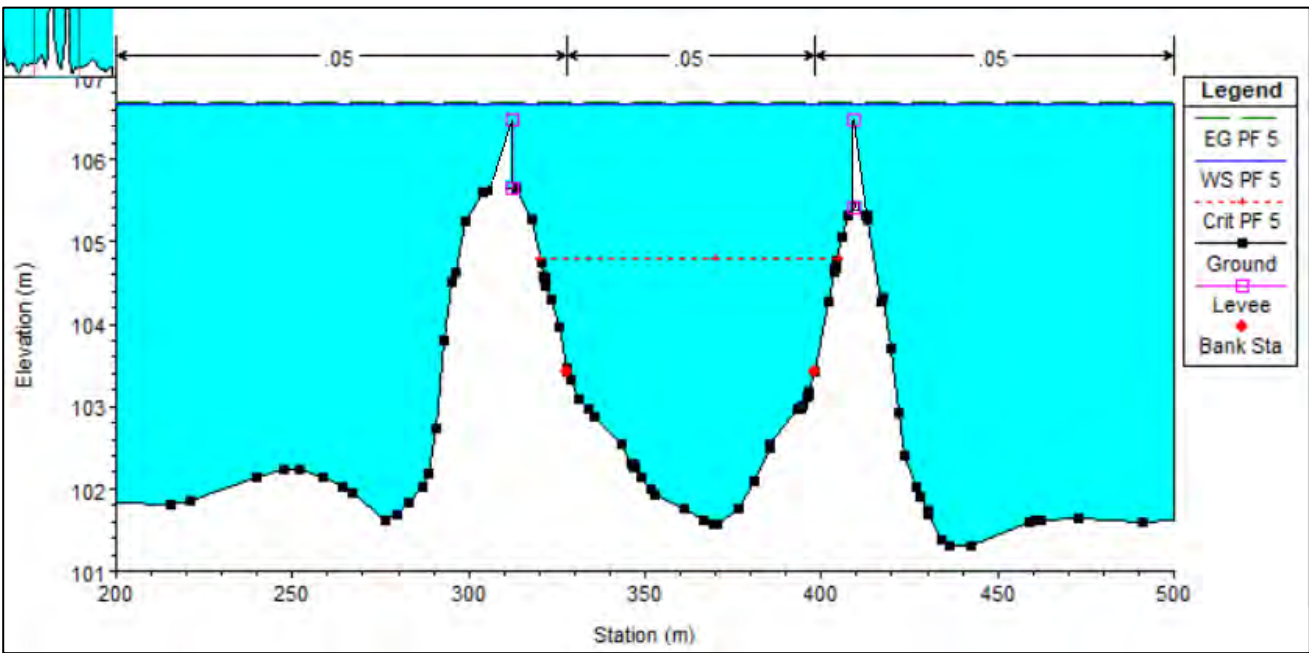
Σχήμα Β.4 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για μέσες συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNII, διατομή Β-Β, υφιστάμενη κατάσταση.



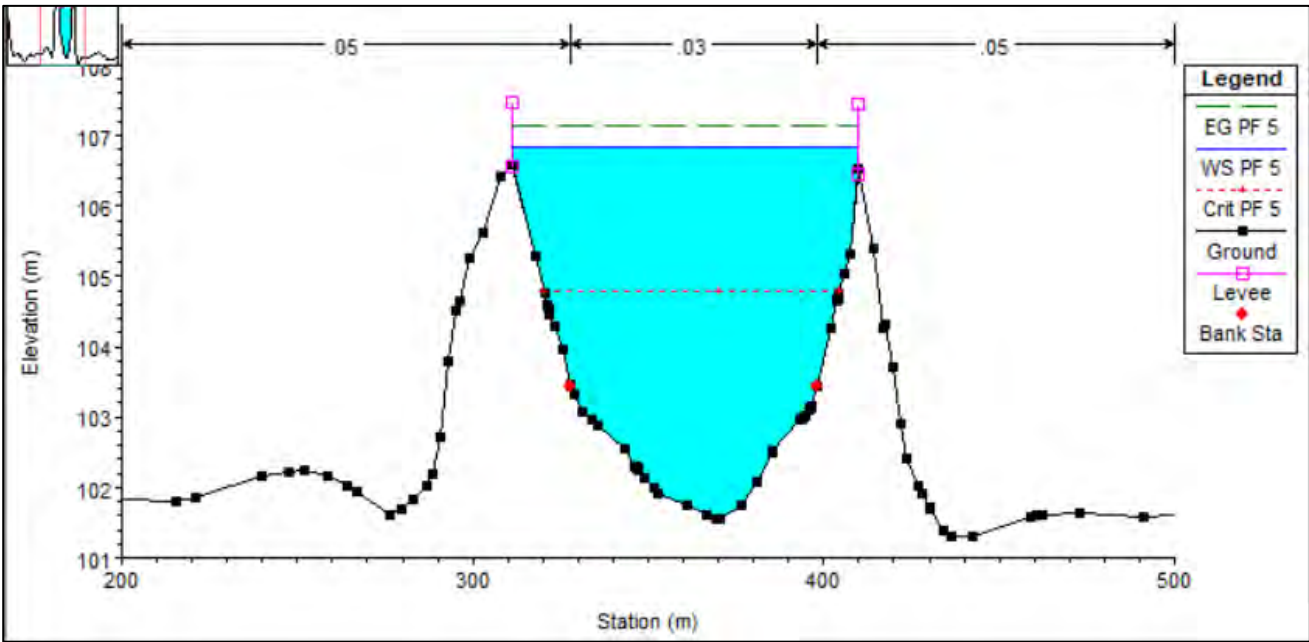
Σχήμα Β.5 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, διατομή Β-Β, υφιστάμενη κατάσταση.



Σχήμα Β.6 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για μέσες συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNII, διατομή Γ-Γ, υφιστάμενη κατάσταση.



Σχήμα Β.7 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, διατομή Γ-Γ, υφιστάμενη κατάσταση.



Σχήμα Β.8 Υδραυλική προσομοίωση, του βάθους ροής για συνθήκες μόνιμης ροής για δυσμενείς συνθήκες εδαφικής υγρασίας CNIII, διατομή Γ-Γ, μετά από καθαρισμό κοίτης και ανύψωση αναχωμάτων.

