



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ»

Μεταπτυχιακή εργασία:

«Υδραυλική προσομοίωση της λεκάνης απορροής
Ντραφίου και υπολογισμός του πλημμυρικού
κινδύνου για διάφορα σενάρια με το μοντέλο Mike
11»

Κατσίμπας Απόστολος
Επιβλέπων: Μακρόπουλος Χρήστος
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Δεκέμβριος 2013

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα άτομα εκείνα τα οποία συνέβαλαν καθοριστικά στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Αποτελεί το ελάχιστο δείγμα ευγνωμοσύνης εκ μέρους μου.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου, κ. Χρήστο Μακρόπουλο, ο οποίος με εμπιστεύτηκε με την ανάθεση του συγκριμένου θέματος ενώ ήταν πρόθυμος να με βοηθήσει και να με καθοδηγήσει καθ'όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Χρυσούλα Παπαθανασίου η οποία μου μετέδωσε όλη την εμπειρία της δίνοντας μου τις κατάλληλες συμβουλές ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ήταν διαθέσιμη και πρόθυμη να με βοηθήσει όποτε το χρειάστηκα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Ηλία Μουσούλη, εκπρόσωπο του Danish Hydraulic Institute (DHI) στην Ελλάδα, ο οποίος με βοήθησε καταλυτικά προκειμένου να κατανοήσω τη φιλοσοφία και το τρόπο λειτουργίας του λογισμικού MIKE 11 by DHI.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Βάσω Παγανά, συνάδελφο και ερευνήτρια στο Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, η οποία είχε την ευγενική καλοσύνη να μου δώσει ορισμένα σημαντικά δεδομένα για το στήσιμο του υδραυλικού μοντέλου ενώ ήταν πρόθυμη να βοηθήσει σε οτιδήποτε χρειάστηκα.

Φυσικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω το φίλο μου Γεώργιο Μπαριάμη για την αμέριστη ψυχολογική υποστήριξη και βοήθεια του σε πολλά ζητήματα σχετικά με το Μεταπτυχιακό και τη παρούσα διπλωματική εργασία καθώς και τη φίλη μου Δομνίκη Στρατηγέα για τη προθυμία της να βοηθήσει όποτε το χρειάστηκα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλη την οικογένεια μου που με στηρίζει όλα αυτά τα χρόνια ψυχικά και ουσιαστικά.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
1.2	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2
1.3	ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	2
1.4	ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	3
2.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	5
2.1	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΟΙΚΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	5
2.1.1	ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ.	6
2.2	ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ	7
2.3	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ.....	9
2.4	ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ	13
3.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	15
3.1	ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΕ ΜΙΑ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	15
3.2	ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	15
3.2.1	HEC RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System)....	16
3.2.2	FLO-2D	16
3.2.3	LISFLOOD-FP	17
3.2.4	MIKE 11.....	18
3.3	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	19
4.	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	21
4.1	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	21
4.2	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΟΙΚΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ ΡΑΦΗΝΑΣ	21

4. 2. 1 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ – ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ.....	22
4. 3 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	24
4. 3. 1 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙ.....	26
4. 3. 2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ.....	31
4. 3. 3 ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ ΚΥΡΙΟΥ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ.	32
5. ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE 11 BY DHI.....	33
5. 1 «ΣΤΗΣΙΜΟ» ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (SET UP)	33
5. 2 ΕΞΑΓΩΓΗ ΠΡΩΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	59
5. 2. 1 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 9/12/2009 – 12/12/2009	60
5. 2. 2 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 2/2/2011 – 6/2/2011	62
5. 2. 3 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 5/2/2012 – 8/2/2012.....	64
5. 2. 4 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 28/12/2012 – 1/1/2013	66
5. 2. 5 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 21/2/2013 – 24/2/2013	68
5. 3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΩΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ.....	70
5. 3. 1 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 9/12/2009 – 12/12/2009	70
5. 3. 2 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 2/2/2011 – 6/2/2011	71
5. 3. 3 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 5/2/2012 – 8/2/2012.....	71
5. 3. 4 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 28/12/2012 – 1/1/2013	72
5. 3. 5 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 21/2/2013 – 24/2/2013	72
5. 4 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	73
5. 5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ.....	77
5. 5. 1 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 9/12/2009 – 12/12/2009	78

5. 5. 2	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 2/2/2011 – 6/2/2011	80
5. 5. 3	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 5/2/2012 – 8/2/2012.....	82
5. 5. 4	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 28/12/2012 – 1/1/2013	84
5. 5. 5	ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 21/2/2013 – 24/2/2013	86
6.	ΧΑΡΤΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΕΝΑΡΙΑ	89
6. 1	ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ 2007/60 ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ – ΣΕΝΑΡΙΑ.	89
6. 2	ΣΕΝΑΡΙΟ #1 (T=10 ΕΤΗ).....	89
6. 3	ΣΕΝΑΡΙΟ #2 (T=100 ΕΤΗ).....	90
6. 4	ΣΕΝΑΡΙΟ #3 (T=1000 ΕΤΗ).....	91
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	93
8.	ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	97

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η υδραυλική συμπεριφορά της περιοχής μελέτης και η επίδραση της οικιστικής ανάπτυξης και της κλιματικής αλλαγής στη πλημμυρική επικινδυνότητα. Επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης ένα κομμάτι του περιαστικού περιβάλλοντος της Ραφήνας, ο οικισμός του Ντραφίου, ο οποίος είναι οικοδομημένος στους νοτιανατολικούς πρόποδες του Πεντελικού όρους. Η έντονη αστικοποίηση των τελευταίων ετών στην ευρύτερη περιοχή σε συνδυασμό με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής έχουν ως συνέπεια τη σταδιακή οικολογική υποβάθμιση της ευρύτερης περιοχής η οποία είναι επιρρεπής σε πυρκαγιές και πλημμύρες.

Παρατέθηκαν ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα πλημμυρών που συνέβησαν στην Ευρώπη τα τελευταία χρόνια και είχαν ως αποτέλεσμα απώλειες ανθρώπινων ζώων και υλικές ζημιές σε κατοικίες και έργα υποδομών. Παρουσιάστηκε το Ευρωπαϊκό Θεσμικό Πλαίσιο γύρω από τις πλημμύρες και τον τρόπο αντιμετώπισης αυτών με έμφαση στη πρόγνωση πλημμυρικών φαινομένων και στη πρόληψη των φυσικών καταστροφών στο ανθρωπογενές περιβάλλον.

Τεκμηριώθηκε η επιλογή του λογισμικού Mike 11 by DHI προκειμένου να προσομοιωθεί υδραυλικά η λεκάνη απορροής του Ντραφίου και να εξαχθούν χάρτες πλημμυρικού κινδύνου όπου θα φαίνεται η χωρική κατανομή του βάθους του νερού. Έγινε σύγκριση λογισμικών που χρησιμοποιούνται ευρέως ως εναλλακτικά «εργαλεία» προσομοίωσης πλημμυρών και εν τέλει διευκρινίστηκε γιατί επιλέχθηκε το Mike 11 by DHI. Παρουσιάστηκε αναλυτικά η διαδικασία «στησίματος» και βαθμονόμησης του μοντέλου προσομοίωσης. Ακολούθησε η υδραυλική προσομοίωση της περιοχής και η κατάρτιση χαρτών πλημμυρικού κινδύνου για σενάρια πλημμυρών όπως υποδεικνύει η Κοινοτική Οδηγία 2007/60 (T= 10, 100, 1000 έτη).

Τέλος, παρατίθενται τα συμπεράσματα καθώς και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα. Η υδραυλική προσομοίωση σε συνθήκες σχεδόν μόνιμης ροής κρίθηκε αρκετά ικανοποιητική. Στους χάρτες πλημμυρικού κινδύνου παρατηρήθηκε ότι όσο αυξάνεται η «ένταση» του πλημμυρικού φαινομένου μεγαλώνει το βάθος του νερού στα κατακλυζόμενα πεδία ενώ η έκταση αυτών παραμένει σχεδόν η ίδια.

EXTENDED ABSTRACT

Aim

Within the framework of this master thesis aim was to develop a methodology to quantify the flood risk in a suburban environment.

Structure

- Understanding the phenomenon of urban development and climate change in the suburban environment in relation to the flooding.
- Understanding the legal regime for the management of flood risk within the European Union
- Selection of simulation model
- Determination of case study
- Setting up and calibration of the model
- Creation of flood risk maps for different scenarios according to EU Directive 2007/60/EC

Overview

In this thesis we studied the hydraulic behavior of the study area and the effect of residential development and climate change on flood risk. Floods are causing more economic losses and affecting more human lives than any other natural disasters in Europe and around the world. The intention of the EU Flood Directive is to alleviate flood damages through systematic planning based on the best science and technology available. The chosen is the settlement of Drafi in Rafina Greece which is built at the southeast foot of Penteli Mountain. The intense urbanization in recent years in the region combined with the phenomenon of climate change have as result the gradual ecological deterioration in the region which is prone to fires and floods.

The thesis presents examples of flooding that occurred in Europe in recent years and resulted in losses of lives and damage to housing and infrastructure projects. It also discusses the European Institutional Framework addressing flooding with an emphasis of flood forecast and prevention of natural disasters in human environment.

Mike 11 was used to undertake hydraulic simulation of the catchment of Drafi and draw flood hazard maps showing the spatial distribution of the depth of the water. The choice of Mike 11 by DHI as the model of choice is discussed in comparison with other software packages that are widely used as alternative flood simulation tools.

The thesis presents in detail the process of setting up and calibrating the simulation model. Then the flood risk maps for flood scenarios in accordance with the EU Floods Directive (2007/60). For return periods of $T=10$, 100 and 1000 years.

Finally the conclusions and suggestions for further research were presented.

Methodology : Mike 11 by DHI

Mike 11 is a part of the DHI software products based on the Mike Zero platform, comprising a fully Windows integrated Graphical User Interface, which conforms to the evolving standards for Windows based software. Mike 11 is a professional engineering software package for the simulation of flows, water quality and sediment transport in estuaries, rivers, irrigation systems, channels and other water bodies. Also is a user friendly, fully dynamic, one-dimensional modeling tool for the detailed analysis, design, management and operation of both simple and complex river and channel systems.

Mike 11 comprises a number of different editors in which data can be implemented and edited independently of each other. As a consequence of the system of separated editor-files, no direct linkage exists between the different editors if they are opened individually. That is, it will not be possible to e. g. view the locations of cross-sections specified in the cross-section file in the Graphical view of the network editor (Plan plot) if these editors are opened individually. The integration and exchange of information between each of the individual data editors is achieved by use of the Mike 11 Simulation Editor. The Simulation Editor serves two purposes:

- It contains simulation and computation control parameters and is used to start the simulation
- It provides a linkage between the graphical view of the network editor and the other Mike 11 editors as illustrated in the figure below.

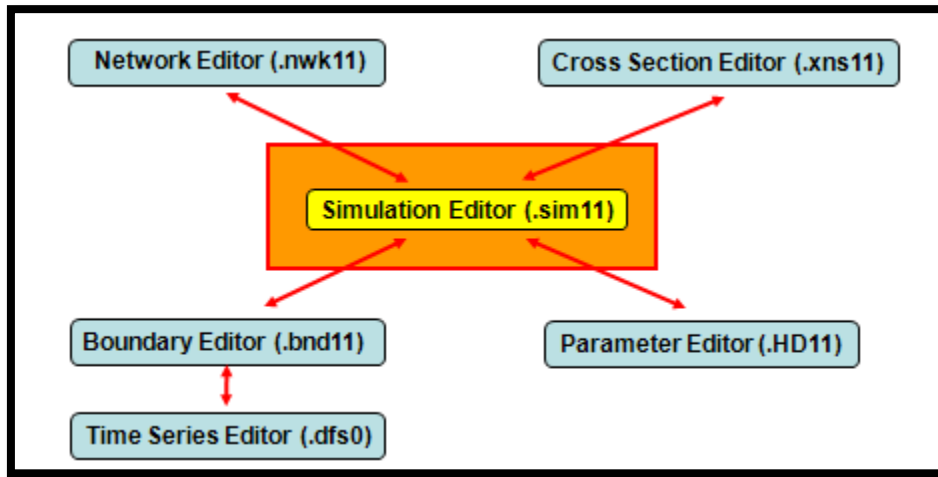


Figure 1: Linkage between Simulation Editor and other editors in Mike 11

Mike 11 is a tool for:

- Rapid flood mapping and flood zone delineation
- Preparation of flood risk and hazard maps
- Assessment of economic losses and environmental damage
- Flood risk management plans

The Case Study

The study area is a part of suburban environment of Rafina, the settlement of Drafi, which is built at the southeast foot of Penteli Mountain. The thesis collected all those characteristics that are associated with the phenomenon under study. Displays an intense urbanization in the latest years combined with the effects of climate change which has lead to gradual environmental degradation of the region which is prone to fires and floods.

In order to simulate the hydraulic behavior of the area we used the software Mike 11 by DHI and there was a hydraulic simulation of river basin of Drafi. The model was set up using data bases as described below:

- River topography (definition of river bed and river banks)
- Definition of cross-sections including the floodplain in several positions along the river
- Time series of discharge as an upstream boundary condition
- Regarding the roughness coefficient Manning's n was used the default value of the software

During the model calibration the area was divided into four zones according to land cover properties and representative values for the Manning's roughness coefficient n were selected for each cross-section (river bed and floodplain sides).

Time series of discharge were introduced to the model in order to study the model performance for different scenarios. The selected scenarios were according to the indication of the E. U Flood Directive 2007/60. As a result of this simulation the following flood risk maps for return periods T=10, 100 and 1000 years respectively were exported.

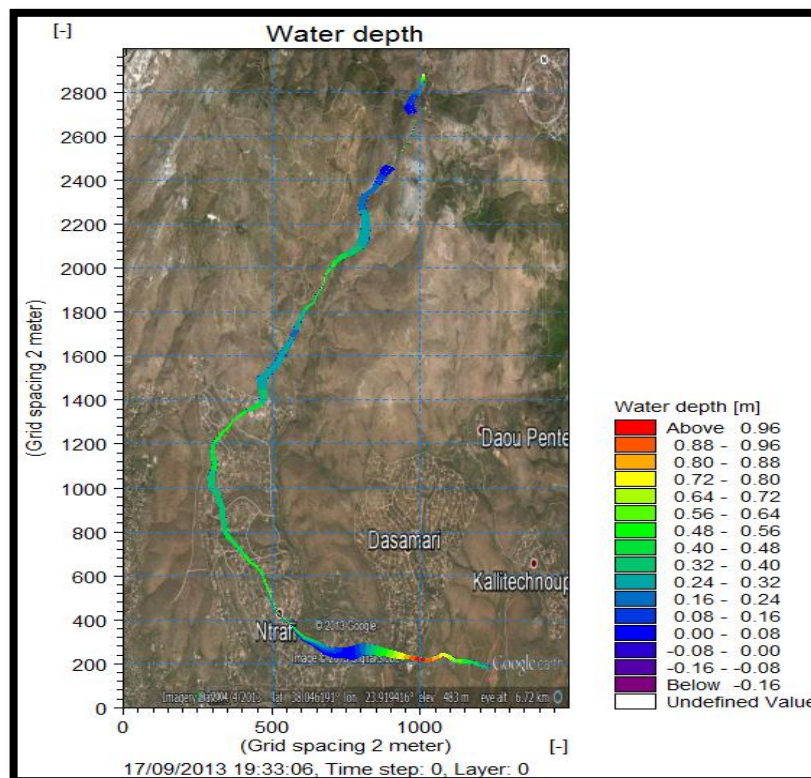


Figure 2: Flood risk map (T=10 years)

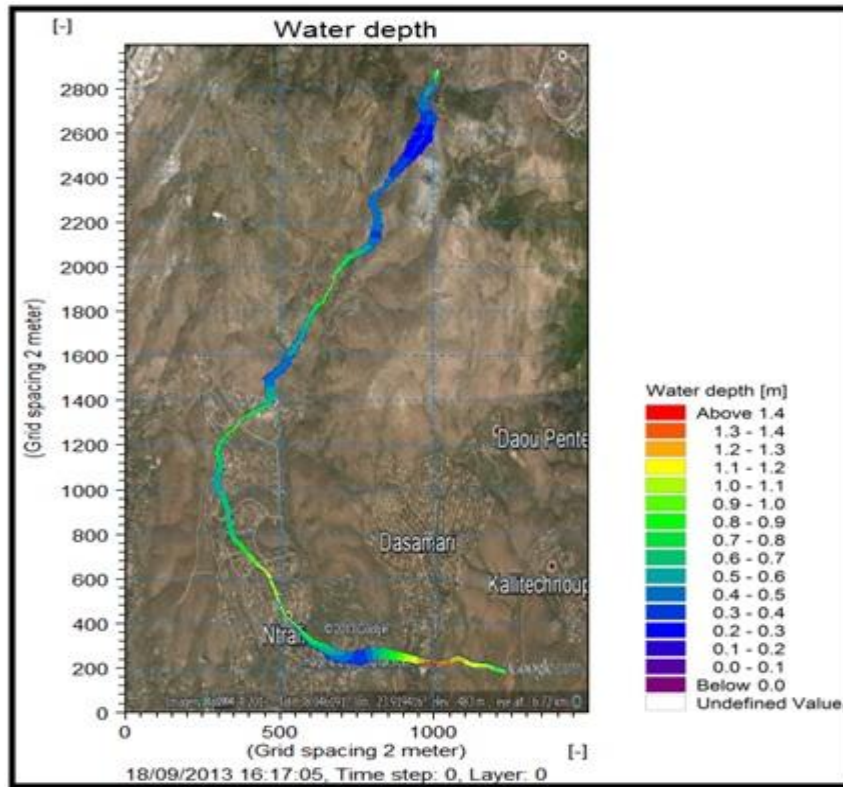


Figure 3: Flood risk map (T=100 years)

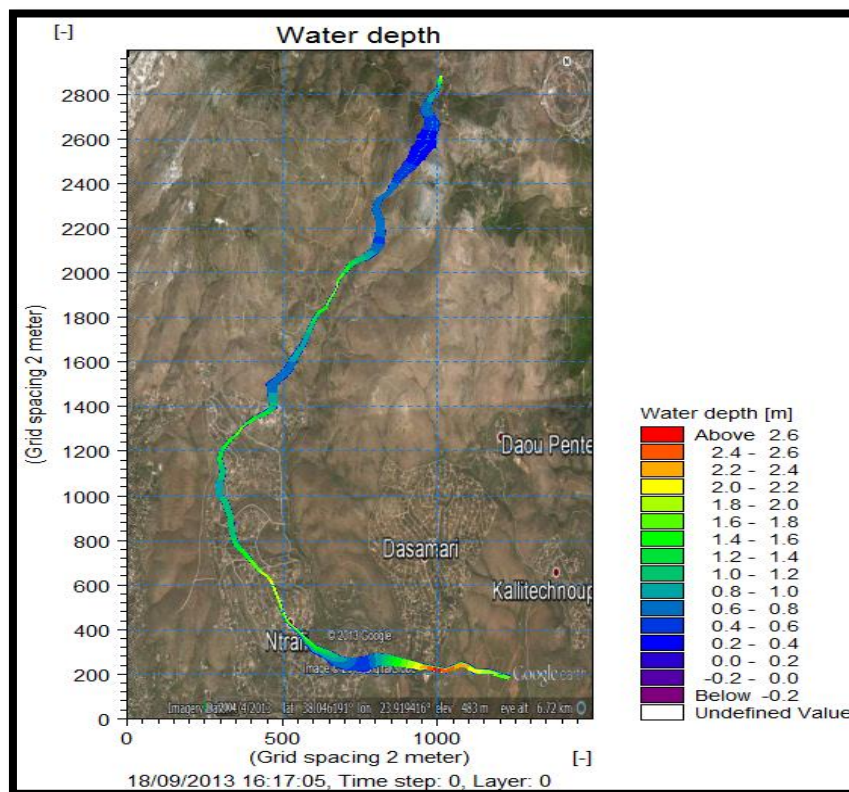


Figure 4: Flood risk map (T=1000 years)

Conclusions

- The hydraulic simulation in almost permanent flow conditions was considered quite satisfactory in terms of accuracy, simulation speed and simplicity in setting up the model.
- In flood hazard maps it can be observed that as the intensity of the flood phenomenon increases the water depth in floodplains is increased as well while the floodplain extent remains almost the same. Limiting factor in the visualization of the actual flood in some sections was the fact that considered a section width of 300 m. In order to be more accurate wider sections (extending over e.g. 400, 500 m) need to be inserted at certain locations. This was not the case in this thesis due to program license restrictions.
- The area of Drafi has not been affected recently by a flood phenomenon of similar scale to the examined flood scenarios. The results are indicative of the negative consequences that will occur in the floodplain area if some of the possible scenarios will take place.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η οικιστική ανάπτυξη των περιαστικών περιοχών τόσο ως κοινωνικό φαινόμενο όσο και ως φυσικός μετασχηματισμός των τοπίων μπορεί να θεωρηθεί ως μια σημαντική παράμετρος αλλαγής και πίεσης στο περιβάλλον. Οι περιαστικές περιοχές επειδή χαρακτηρίζονται συχνά απο πολύτιμα φυσικά περιβάλλοντα και φυσικούς πόρους μπορούν να παρέχουν χρήσιμες για τη ζωή λειτουργίες στους κατοίκους. Οι αλλαγές στη κάλυψη και χρήση της γής στις περιαστικές περιοχές λόγω της άναρχης αστικής επέκτασης, οι επακόλουθοι μετασχηματισμοί στα βιοφυσικά και κοινωνικοοικονομικά συστήματα συχνά αγνοούνται απο τους υπεύθυνους για τον αστικό και αγροτικό σχεδιασμό.

Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι η αστικοποίηση περιαστικών περιοχών οι οποίες λόγω της γεωμορφολογίας τους εμπεριέχουν φυσικούς κινδύνους όπως πλημμύρες, πυρκαγιές, κατολισθήσεις κτλ. οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν καταστροφικές συνέπειες για τον άνθρωπο και τις χρήσεις γής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα οι πλημμύρες που έλαβαν χώρα στο Δούναβη και στον Έλβα το διάστημα 1998-2002 με 700 νεκρούς και μισό εκατομμύριο εκτοπισμένους πολίτες και περί τα 25 δις € οικονομικές ζημιές. Οι καταστροφικές αυτές πλημμύρες αποτέλεσαν αιτία ανάληψης πρωτοβουλίας απο την Ευρωπαϊκή Ένωση προκειμένου να δημιουργηθεί ένα ευρωπαϊκό θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Στις 18/9/2007 το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε τη Κοινοτική Οδηγία «για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας» (Directive of the European Parliament and of the Council “on the assessment and management of flood risks”). Βασικός στόχος της Οδηγίας 2007/60/EK είναι να βοηθήσει τα Κράτη Μέλη στην πρόληψη, τον περιορισμό και την αντιμετώπιση των πλημμυρών.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μεθοδολογίας προσδιορισμού του πλημμυρικού κινδύνου σε περιαστικό περιβάλλον υπο διάφορα σενάρια.

1.3 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΧΟΙ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι επιμέρους στόχοι της διπλωματικής εργασίας παρατίθενται παρακάτω:

- Κατανόηση του φαινομένου της οικιστικής ανάπτυξης και κλιματικής αλλαγής σε περιαστικό περιβάλλον σε σχέση με τις πλημμύρες.
- Κατανόηση του νομικού καθεστώτος για τη διαχείριση της πλημμυρικής διακινδύνευσης εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
- Επιλογή του μοντέλου προσομοίωσης.
- Προσδιορισμός περίπτωσης μελέτης (case study).
- «Στήσιμο» του μοντέλου προσομοίωσης και βαθμονόμηση αυτού με τη χρήση πραγματικών βροχοπτώσεων.
- Δημιουργία χαρτών πλημμυρικού κινδύνου για διάφορα σενάρια (σύμφωνα με Κοινοτική Οδηγία 2007/60/ΕΚ).

1.4 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η Παρούσα διπλωματική εργασία περιλαμβάνει, εκτός του παρόντος κεφαλαίου το οποίο αποτελεί εισαγωγή όσον αφορά το αντικείμενο της εργασίας, άλλα 6 κεφάλαια:

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται το «πρόβλημα». Δηλαδή περιγράφεται το φαινόμενο της οικιστικής ανάπτυξης και της κλιματικής αλλαγής σε περιαστικό περιβάλλον σε σχέση με τις πλημμύρες. Γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή στο πρόσφατο παρελθόν με παραδείγματα πλημμυρών στην Ευρώπη. Τέλος παρουσιάζεται αναλυτικά το νομικό καθεστώς που ισχύει για τις πλημμύρες εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Κοινοτική Οδηγία 2007/60/ΕΚ).

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται εντοπισμός των «εργαλείων» (Tools for flood risk management) εκείνων με τα οποία μπορεί να λυθεί το «πρόβλημα». Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση των λογισμικών μεταξύ τους και τελικά διευκρινίζεται ποιο λογισμικό επιλέχθηκε και γιατί.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

Στο Κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για το «στήσιμο» του μοντέλου και τη βαθμονόμηση αυτού με τη χρήση πραγματικών βροχοπτώσεων.

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται χάρτες πλημμυρικού κινδύνου της περιοχής μελέτης για διάφορα σενάρια (σύμφωνα με τη Κοινοτική Οδηγία 2007/60/ΕΚ).

Στο Κεφάλαιο 7 παρατίθενται συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

2.1 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΟΙΚΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΕ ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η περιαστική ζώνη των πόλεων αρχικά λειτούργησε , μόνο ως τόπος κατοικίας ατόμων ιδιαίτερα χαμηλού βιοτικού επιπέδου. Στη συνέχεια , όπως συμβαίνει συνήθως στα μητροπολιτικά κέντρα που βρίσκονται σε επόμενη φάση ανάπτυξης , η περιαστική ζώνη μετεξελίχθηκε σε χώρο κατοικίας υψηλού βιοτικού επιπέδου, αφού εκεί οδήγησαν σημαντικές ομάδες πληθυσμών, τα προβλήματα των σύγχρονων πόλεων (όπως η ρύπανση, η κυκλοφορία, η έλλειψη χώρων πρασίνου κ. λπ.).

Ο ορισμός και τα χαρακτηριστικά της περιαστικής ζώνης αποτελούν ένα σύνθετο πρόβλημα της αστικής θεωρίας μια και ο χαρακτήρας τέτοιων ζωνών διαμορφώνεται ανάλογα με την ευρύτερη οικονομική , κοινωνική και πολιτιστική ανάπτυξη της πόλης. Θα μπορούσαμε με ένα γενικευμένο τρόπο να πούμε ότι περιαστική ζώνη ορίζεται ως το απόθεμα γής του αστικού κέντρου , όπου μια συνήθης απόσταση απο τον αστικό πυρήνα της πόλης είναι της κλίμακας των 20 με 25 χιλιομέτρων. Συνήθως οι δεσμοί και η εξάρτηση της περιαστικής ζώνης με το κέντρο είναι τέτοια που η ανάπτυξη και ο χαρακτήρας της πόλης καθορίζει τη φυσιογνωμία και καθοδηγεί την εξέλιξη της περιαστικής ζώνης.

Απο την άλλη πλευρά, τέτοιου είδους θέματα θα πρέπει να αντιμετωπίζονται σε όλες τις ιστορικές φάσεις της εξέλιξής τους. Αρχικά ο περιαστικός χώρος λειτούργησε ως χώρος φτηνής κατοικίας βιομηχανικών εργατών, κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης στις Δυτικές κοινωνίες του 19^{ου} αιώνα. Σήμερα στη περιαστική ζώνη χωροθετούνται νέες κατοικίες και εγκαθίστανται διαφορετικές κοινωνικές ομάδες ανθρώπων που δίνουν τη δυναμική για μια περαιτέρω ανάπτυξη της ζώνης.

Ο σύγχρονος άνθρωπος χρησιμοποιεί τη περιαστική ζώνη ως βασικό χώρο κατοικίας. Οι καλύτερες συνθήκες διαβίωσης στη περιαστική ζώνη (περιβάλλον, αποφυγή των αστικών θορύβων κ. λπ) προστίθενται στην εξέλιξη του τομέα των μεταφορών (δίκτυα, συστήματα μαζικής μεταφοράς, εξέλιξη αυτοκινήτου) και επικοινωνίας (τηλέφωνο, Internet), και δημιουργούν τις κατάλληλες προϋποθέσεις για τη μετάλλαξη των ζωνών αυτών σε χώρους πολυτελών κατοικιών. Βέβαια ο ελλιπής σχηματισμός των περιαστικών ζωνών πολλές φορές δεν επιτρέπει την πλήρη μεταφορά των αναγκών του αστικού νοικοκυριού στην περιαστική ζώνη. Έτσι η εξάρτηση των «περιαστών» απο το κέντρο γίνεται εκτός απο την εργασία, πιο ειδική και ξεκάθαρη μέσα απο τις καθημερινές ανάγκες κάθε νοικοκυριού. Συγχρόνως, οι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

ανάγκες των σύγχρονων μητροπόλεων για δραστηριότητες δευτερογενή τομέα επιβάλλουν την ύπαρξη χώρου ικανού να δεχτεί τέτοιου είδους χρήσεις γής. Έτσι η περιαστική ζώνη καλείται να παίξει το ρόλο του μέσου ανάπτυξης του κέντρου. Η διάσταση τούτης της ανάγκης σήμερα είναι δισχιδής (σε σχέση με τη πρώτη φάση σχηματισμού περιαστικών ζωνών), αφού πέρα από τις φθηνές εργατικές κατοικίες, η περιαστική ζώνη σήμερα διαθέτει τον χώρο ανάπτυξης των μεγάλων βιοτεχνικών και βιομηχανικών μονάδων. Άλλωστε είναι γνωστό ότι η ανάπτυξη των σύγχρονων μητροπολιτικών κέντρων εξαρτάται άμεσα από τις υπηρεσίες και τους χώρους που απολαμβάνουν οι σύγχρονες επιχειρήσεις. Συμπληρωματικά, συγκεκριμένες και ειδικές χρήσεις γής όπως αεροδρόμια, κεντρικές οικονομικές εφορίες, διευθύνσεις αστυνομικών τμημάτων κτλ επίσης χωροθετούνται στην περιαστική ζώνη κάθε πόλης.

Η περιαστικοποίηση πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ένα φαινόμενο κατά την εξέλιξη μιας πόλης σε μητροπολιτικό κέντρο. Είναι μια κοινωνικο-οικονομική διαδικασία που απορρέει από τα σύγχρονα προβλήματα των αστικών δομών και τις κοινωνικές αντιδράσεις των αστών απέναντι σε αυτά. Ο όρος «περιαστικός» - «προαστιακός» αναφέρεται σε χώρο με αστικά χαρακτηριστικά έξω όμως από τα όρια της πόλης και σε τέτοια απόσταση, ώστε να είναι ικανή η ύπαρξη οικονομικών και κοινωνικών δεσμών με την πόλη (Καρανικόλας, 2006).

2.1.1 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Με τον όρο κλιματική αλλαγή αναφερόμαστε στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ακόμα ετών. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας.

Στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC) η κλιματική αλλαγή ορίζεται ειδικότερα ως η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια. Οι δραστηριότητες αυτές σχετίζονται άμεσα με αυτές που λαμβάνουν χώρα κατα την αστικοποίηση περιαστικών περιοχών (Βικιπαίδεια, 2013).

Η αλλαγή του κλίματος έχει ήδη εμφανή αποτελέσματα , που εκτείνονται απο την αύξηση της θερμοκρασίας έως την άνοδο της στάθμης της θάλασσας σαν αποτέλεσμα της τήξης των πολικών παγετών, καθώς και τη συχνότερη εμφάνιση καταιγίδων και πλημμυρών (ΥΠΕΚΑ , 2013).

2.2 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Η παγκόσμια τάση για αστικοποίηση περιοχών σε περιαστικό περιβάλλον έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης για χρήση της γής για ανθρώπινες δραστηριότητες. Αυτές οι μετατροπές κάλυψης γής συνήθως σχετίζονται με γεωργικές δραστηριότητες. Σε περιοχές όπου η αστικοποίηση είναι ανεξέλεγκτη οι ανθρώπινες επεμβάσεις σε επίπεδο κατοικιών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων προκαλούν σημαντικές αλλαγές στη δομή του φυσικού συστήματος.

Τα φυσικά συστήματα (ατμόσφαιρα, ξηρά κτλ) χαρακτηρίζονται από την χωρική και χρονική εξέλιξη μεταβλητών (π. χ βροχόπτωση, σεισμικότητα) οι οποίες παίρνουν ακραίες τιμές που αντιστοιχούν σε κάποια πιθανότητα εμφάνισης. Όταν οι ακραίες τιμές των φυσικών μεταβλητών πραγματοποιούνται σε περιοχές που υπάρχουν ανθρώπινα συστήματα τότε ονομάζονται φυσικοί κίνδυνοι και εφόσον έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες και επιφέρουν απώλειες (ανθρώπινες, οικονομικές, υποδομών) ονομάζονται φυσικές καταστροφές. Το μέγεθος των φυσικών καταστροφών εξαρτάται :

- Ένταση των φυσικών μεταβλητών
- Έκταση των δραστηριοτήτων
- Ετοιμότητα των μηχανισμών να διαχειριστούν τα έκτακτα φαινόμενα

Οι ακραίες τιμές των φυσικών μεταβλητών είναι διαφορετικές για κάθε περιοχή της γής. Έτσι θερμοκρασίες αέρα κάτω απο το μηδέν είναι ακραίες για το κέντρο της Αθήνας αλλά όχι για τη κορυφή της Πάρνηθας ή για τις πόλεις της Βόρειας Ευρώπης. Αντίστοιχα η ανοβρία για ένα συνεχή χρόνο είναι ακραίο γεγονός για την Ελλάδα αλλά όχι για την Σαχάρα. Οι φυσικές καταστροφές συμβαίνουν γιατί οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν είναι προσαρμοσμένες σε γεγονότα που συμβαίνουν σπάνια (π. χ χρησιμοποιούνται περιοχές ευάλωτες σε πλημμύρες ή κατασκευάζονται κτήρια χωρίς αντισεισμικό κανονισμό). Στη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

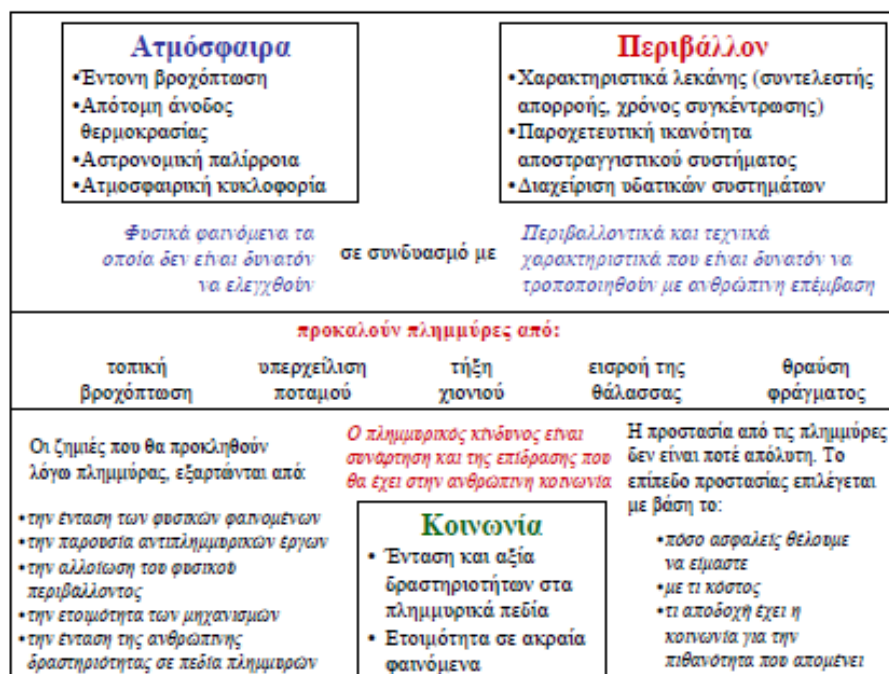
παρούσα διπλωματική εργασία αντικείμενο ενδιαφέροντος αποτέλεσαν οι φυσικές καταστροφές λόγω πλημμυρών.

Πλημμύρα ονομάζεται η κατάσταση κατα την οποία περιοχές, που συνήθως είναι στεγνές, καλύπτονται από ποσότητες νερού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Οι πλημμύρες προέρχονται από την αλληλεπίδραση :

- Φυσικών φαινομένων (βροχόπτωση)
- Συνθήκες της λεκάνης απορροής
- Χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης (φυσικού ή ανθρωπογενούς)

Στους μεγάλους ποταμούς οι πλημμύρες μπορεί να εμφανιστούν αρκετό χρόνο μετά τη βροχόπτωση και να διαρκέσουν ημέρες, εβδομάδες ή ακόμα και μήνες. Σε μικρότερα ποτάμια είναι δυνατόν να εμφανιστούν στιγμιαίες πλημμύρες (flash floods) που συνήθως οφείλονται σε πολύ έντονη τοπική βροχόπτωση. Αυτές είναι λιγότερο προβλέψιμες και μπορεί να προκαλέσουν εκτεταμένες καταστροφές. Δεδομένου ότι συμβαίνουν ξαφνικά και με ελάχιστη προειδοποίηση είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες για τους ανθρώπους (Μαμάσης, 2011).

Στο παρακάτω Σχήμα 2. 1 φαίνεται πως αλληλεπιδρά η ατμόσφαιρα με το περιβάλλον και τη κοινωνία στα πλαίσια του φαινομένου της πλημμύρας.



Σχήμα 2.1 Αλληλεπίδραση ατμόσφαιρας, περιβάλλοντος και κοινωνίας στο φαινόμενο της πλημμύρας (N. Μαμάσης, 2011)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Οι βαθύτερες αιτίες των πλημμυρών είναι φυσικά φαινόμενα τα οποία δεν μπορούν να ελεγχθούν. Εντούτοις, το εάν μια δεδομένη βροσόπτωση, θα προκαλέσει ζημιές λόγω πλημμύρας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ανθρώπινες ενέργειες - επεμβάσεις που έχουν γίνει σε μια περιοχή όπως :

- Αστικοποίηση
- Αποδάσωση τμημάτων της λεκάνης απορροής
- Ευθυγράμμιση του ρου των ποταμών
- Εξάλειψη των φυσικών πεδίων κατάκλυσης
- Ανεπαρκής αποστράγγιση
- Οικοδόμηση κτιρίων και κατασκευών σε επικίνδυνα πεδία κατάκλυσης

2.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Τη τελευταία δεκαετία έχουν πλήξει την Ευρώπη αρκετές μεγάλες πλημμύρες με καταστροφικές συνέπειες για τις περιοχές όπου επλήγησαν και συνολικά για την Ε. Ε.

Τον Αύγουστο του 2002 προκλήθηκε μεγάλου μεγέθους πλημμύρα εξαιτίας συνεχόμενων καταιγίδων που διήρκεσαν περισσότερο από μια βδομάδα. Η πλημμύρα έπληξε τα κράτη της Τσεχικής Δημοκρατίας, Αυστρίας, Γερμανίας, Σλοβακίας, Πολωνίας, Ουγγαρίας, Ρουμανίας και Κροατίας προκαλώντας το θάνατο δεκάδων πολιτών, ανάγκασε χιλιάδες ανθρώπους να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους ενώ οι υλικές ζημιές που προκλήθηκαν κοστολογήθηκαν περίπου σε 25 δις €. Το μέγεθος της πλημμύρας ήταν τόσο μεγάλο όπου η περίοδος επαναφοράς του φαινομένου εκτιμήθηκε στα 100 χρόνια. Χαρακτηριστικές εικόνες ορισμένων πλημμυρισμένων περιοχών παρατίθενται παρακάτω :



Εικόνα 2.2 Πλημμυρισμένος ποταμός Έλβας στη Δρέσδη Γερμανίας (Βικιπαίδεια)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ



Εικόνα 2.3 Πλημμύρα στη Βουδαπέστη Ουγγαρίας (Βικιπαίδεια)



Εικόνα 2.4 Πλημμύρα στη Πράγα Τσεχικής Δημοκρατίας (Βικιπαίδεια)



Εικόνα 2.5 Ζημιές λόγω της πλημμύρας στη περιοχή Karlin της Πράγας Τσεχικής Δημοκρατίας (Βικιπαίδεια)

Τον Ιούνιο του 2009 προκλήθηκαν πολλές φυσικές καταστροφές στη Κεντρική Ευρώπη. Ισχυρές καταιγίδες που έλαβαν χώρα είχαν σαν αποτέλεσμα να πλημμυρίσουν τα ποτάμια Oder, Vistula, Elbe και Danube. Σκοτώθηκαν δεκάδες πολίτες ενώ ήταν η χειρότερη πλημμύρα που έπληξε τη Δημοκρατία της Τσεχίας ύστερα απο τη καταστροφική πλημμύρα του 2002. Η Γερμανία επλήγη επίσης με τη πόλη της Δρέσδης να δέχεται τη χειρότερη πλημμύρα των τελευταίων τουλάχιστον 100 ετών. Τέλος η πλημμύρα προκάλεσε προβλήματα και σε άλλες γειτονικές χώρες όπως η Πολωνία, Σλοβακία, Αυστρία και Ουγγαρία.

Στα τέλη Μαΐου – αρχές Ιουνίου του 2013 έλαβαν χώρα στη Κεντρική Ευρώπη ακραίες πλημμύρες οι οποίες προκλήθηκαν ύστερα απο ισχυρές καταιγίδες που διήρκεσαν αρκετές μέρες. Οι πλημμύρες προκάλεσαν καταστροφές κυρίως στις νοτιοανατολικές περιοχές της Γερμανίας, στις δυτικές περιοχές της Τσεχικής Δημοκρατίας, στην Αυστρία και σε μικρότερο βαθμό στην Ελβετία, στη Σλοβακία, στη Λευκορωσία, στη Πολωνία, στην Ουγγαρία και στη Σερβία. Πλημμύρισαν οι ποταμοί Έλβας και Δούναβης καθώς και οι παραπόταμοί τους. Οι πλημμύρες προκάλεσαν το θάνατο 25 ατόμων καθώς και τεράστιες υλικές ζημιές ύψους 12 δις € περίπου.

Οι σημαντικότερες πλημμύρες όσον αφορά τον αριθμό των απωλειών ζωών και την έκταση των συνολικών ζημιών έχουν συμβεί στις χώρες της Κεντρικής Ευρώπης και σε μεγάλα ποτάμια που διασχίζουν αυτές τις χώρες όπως ο Δούναβης και ο Έλβας. Παρ'όλα αυτά δεν μπορούμε να παραβλέψουμε πλημμύρες που έχουν συμβεί σε Μεσογειακές χώρες με αρκετά καταστροφικές συνέπειες για τις τοπικές κοινωνίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στις αρχές Οκτώβρη του 2009 στην επαρχία Messina της Σικελίας στην Νότια Ιταλία λόγω των ισχυρών καταιγίδων προκλήθηκαν πλημμύρες και κατολισθήσεις. Αποτέλεσμα να χαθούν τουλάχιστον 31 άνθρωποι ενώ εκατοντάδες ήταν αυτοί που χρειάστηκε να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους. Προκλήθηκαν και σοβαρές υλικές ζημιές.

Στα τέλη του Δεκεμβρίου του 2009 και αρχές Ιανουαρίου του 2010 ακραίες πλημμύρες έπληξαν τις βόρειες περιοχές της Αλβανίας λόγω ισχυρών καταιγίδων. Οι πλημμύρες προκάλεσαν σοβαρές υλικές ζημιές σε δρόμους, γέφυρες, αγροτικές εκτάσεις ενώ χρειάστηκε να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους χιλιάδες άνθρωποι. Παρατίθεται παρακάτω μια χαρακτηριστική εικόνα της ευρύτερης περιοχής όπου πλημμύρισε.



Εικόνα 2.6 Περιοχή Shkodra Αλβανίας όπου έχει πληγεί απο τη πλημμύρα
(Βικιπαίδεια)

2.4 ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

Η Οδηγία 2007/60 για τις πλημμύρες μπήκε σε εφαρμογή το Νοέμβριο του 2007. Η Οδηγία αποτελεί συμπλήρωμα της Οδηγίας πλαισίου 2000/60 και έχει στόχο τη μείωση της πλημμυρικής διακινδύνευσης στις χώρες μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Κύρια αιτία της ανάληψης πρωτοβουλίας από την Ευρωπαϊκή Ένωση για τις πλημμύρες αποτελούν οι καταστροφικές πλημμύρες στο Δούναβη και τον Έλβα στο διάστημα 1998-2002 με 700 νεκρούς και μισό εκατομμύριο εκτοπισμένους πολίτες και περί τα 25 δις € οικονομικές ζημιές.

Η Οδηγία που αναφέρεται σε όλα τα είδη πλημμυρών (ποταμών, λιμνών, στιγμιαίων-απότομων, αστικών και παράκτιων) απαιτεί από τις χώρες μέλη να αντιμετωπίσουν το θέμα των πλημμυρών με τη μεθοδολογία της εκτίμησης και της διαχείρισης της πλημμυρικής διακινδύνευσης.

Η Οδηγία διακρίνει τρία στάδια εφαρμογής :

1. Μέχρι το 2011 οι χώρες μέλη πρέπει να έχουν ολοκληρώσει το προκαταρκτικό στάδιο εκτίμησης των περιοχών που είναι εκτεθειμένες στον πλημμυρικό κίνδυνο, να έχουν προσδιορίσει τις περιοχές όπου υπάρχει ή θα υπάρξει διακινδύνευση.
2. Στις περιοχές που εκτίθενται σε πλημμύρες , οι χώρες μέλη πρέπει να κατασκευάσουν χάρτες κινδύνου και διακινδύνευσης μέχρι το 2013. Οι χάρτες θα δείχνουν πιθανά βάθη κατάκλυσης σε γεγονότα με πιθανότητα (τουλάχιστον 1:100 έτη) αλλά και σε γεγονότα μικρότερης πιθανότητας. Στις περιοχές αυτές θα πρέπει να γίνει αποτύπωση των περιοχών αυτών, απογραφή των κατοίκων, των οικονομικών δραστηριοτήτων και καταγραφή των συνθηκών περιβάλλοντος που βρίσκονται σε δυνητικό κίνδυνο.
3. Μέχρι το 2015 πρέπει οι χώρες μέλη να έχουν διαμορφώσει Σχέδια Διαχείρισης της Διακινδύνευσης που θα περιλαμβάνουν τρόπους μείωσης της διακινδύνευσης σε δύο άξονες : της πρόληψης (prevention) και της προετοιμασίας (preparedness).

Τα βήματα αυτά πρέπει να επαναλαμβάνονται κάθε έξι έτη συγχρονισμένα με τα βήματα της Οδηγίας 2000/60 με αρχή το 2009. Το αμέσως επόμενο έτος πρέπει να έχουν οριστεί οι Αρχές που θα υλοποιήσουν την Οδηγία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Τα κυριότερα σημεία της Οδηγίας 2007/60 είναι :

- Θεσπίζεται πλαίσιο για την αξιολόγηση και τη διαχείριση της πλημμυρικής διακινδύνευσης.
- Η Οδηγία στηρίζεται σε ορισμούς, μεθοδολογίες και προτάσεις που περιλαμβάνονται και στην Οδηγία Πλαίσιο 2000/60.
- Προβλέπει προκαταρκτικό στάδιο για τον αρχικό προσδιορισμό των εκτάσεων που είναι ευάλωτες σε πλημμύρες.
- Απαιτεί λεπτομερή χαρτογραφική απεικόνιση των περιοχών που κινδυνεύουν (ψηφιακά υπόβαθρα, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών).
- Καταγράφει οικονομικές δραστηριότητες, πληθυσμούς, χρήσεις γής, ώστε να υπάρχει εικόνα για το διακύβευμα.
- Απαιτεί την κατάρτιση χαρτών τρωτότητας για πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας, μέσης πιθανότητας(περίοδος επαναφοράς ≥ 100 έτη) και υψηλής πιθανότητας.
- Αφήνει στα κράτη μέλη να θέσουν τους στόχους για τη διαμόρφωση σχεδίων διαχείρισης της διακινδύνευσης, ώστε να εξασφαλίζεται η μείωση των δυνητικών αρνητικών συνεπειών που οι πλημμύρες έχουν για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα.
- Η διαχείριση της διακινδύνευσης περιλαμβάνει πάσης φύσεως μέτρα και έργα στη λεκάνη απορροής που έχουν ως στόχο τη μείωση των παροχών αλλά και τις μικρότερες δυνατόν απώλειες και ζημιές.
- Κύριο μέλημα της Οδηγίας αποτελεί η πρόληψη των πλημμυρών (και επομένως η προετοιμασία για την αντιμετώπισή της). Επομένως εκτός των μέτρων προστασίας έμφαση δίνεται και στα συστήματα πρόγνωσης και έγκαιρης προειδοποίησης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά κάθε λεκάνης.
- Αναφέρεται ιδιαίτερα στην ανάγκη διαμόρφωσης ενιαίου σχεδίου για τη διαχείριση της πλημμυρικής διακινδύνευσης στις περιπτώσεις των διασυνοριακών λεκανών και προτείνει ένα τρόπο διαμεσολάβησης στη περίπτωση που δεν είναι δυνατόν να υπάρξει συμφωνία μεταξύ των κρατών, στην επικράτεια των οποίων ανήκει απο κοινού η διασυνοριακή λεκάνη απορροής (Τσακίρης, 2008)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

3.1 ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΕ ΜΙΑ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Οι πλημμύρες μπορούν απλώς να οριστούν ως ένα φυσικό φαινόμενο κατά τη διάρκεια του οποίου μια περιοχή η οποία είναι στεγνή αρχικά στη συνέχεια καλύπτεται με νερό. Οι πλημμύρες προκαλούνται συνήθως από ακραίες καιρικές συνθήκες ενώ η εξέλιξή τους εξαρτάται κυρίως από γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά όπως είναι η σταθερότητα του εδάφους, η βλάστηση καθώς επίσης και από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Συνεπώς για τη πρόληψη των συνεπειών των πλημμυρών σε μια περιοχή κρίνεται απαραίτητη η μελέτη της υδραυλικής συμπεριφοράς μια λεκάνης απορροής και τελικά η υδραυλική προσομοίωση αυτής μέσω των κατάλληλων λογισμικών.

Τα στάδια μοντελοποίησης ενός υδραυλικού μοντέλου είναι :

- Δημιουργία γεωμετρικού υπόβαθρου
- Προσδιορισμός συνθηκών ροής
- Υδραυλική προσομοίωση του ποταμού
- Εξαγωγή αποτελεσμάτων
- Έλεγχος αποτελεσμάτων και αποδοχή ή απόρριψη αυτών

Η υδραυλική προσομοίωση μπορεί να γίνει σε συνθήκες μόνιμης ή μη μόνιμης ροής. Η διαφορά της μόνιμης και της μη μόνιμης ροής είναι ότι τα χαρακτηριστικά της μόνιμης ροής (παροχή, βάθος και ταχύτητα νερού) δεν μεταβάλλονται σε σχέση με το χρόνο.

3.2 ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

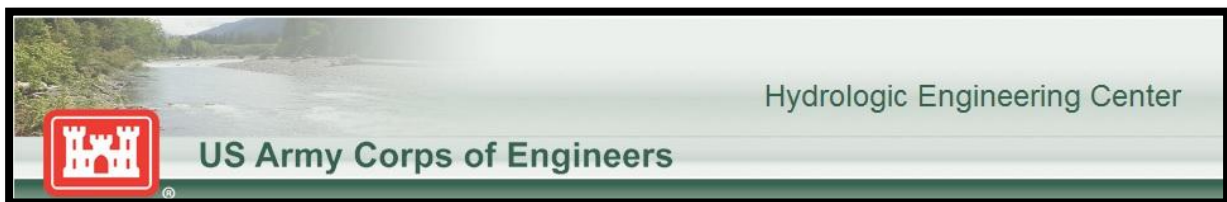
Υπάρχουν αρκετά λογισμικά τα οποία μπορούν να κάνουν υδραυλική προσομοίωση σε μια λεκάνη απορροής. Τα πιο διαδεδομένα είναι το HEC RAS , το FLO 2D , το LISFLOOD-FP και το MIKE 11. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες πληροφορίες για το καθένα ξεχωριστά σε διαφορετικές ενότητες.

3.2.1 HEC RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System)

Το HEC RAS είναι ένα απο τα μοντέλα του Οργανισμού HEC (Hydrologic Engineering Center) του Ειδικού Σώματος Μηχανικών του Στρατού (U. S Army Corps of Engineers) το οποίο υπάγεται στο Ινστιτούτο Υδατικών Πόρων των Η. Π. Α.

Ο συγκεκριμένος Οργανισμός αποτελείται απο ειδικευμένο προσωπικό σε θέματα επιφανειακής και υπόγειας Υδρολογίας, Υδραυλικής ποταμών, μεταφοράς φερτών, Στατιστικής Υδρολογίας, ανάλυσης διακινδύνευσης, ανάλυσης συστημάτων ταμιευτήρων, υδρολογικού σχεδιασμού, διαχείρισης υδατικών πόρων και άλλων συναφών τεχνικών αντικειμένων. Υποστηρίζει υπηρεσίες και εργαστήρια παρέχοντας τεχνικές μεθόδους και επιστημονική καθοδήγηση σε θέματα υδατικών πόρων. Προσφέρει στην έρευνα και ανάπτυξη και παρέχει τεχνική βοήθεια σε σημαντικά έργα. Τα προϊόντα των εργασιών του είναι διαθέσιμα μέσω της ιστοσελίδας του (<http://www.hec.usace.army.mil/>).

Το HEC RAS είναι μοντέλο υδραυλικής ποταμού και μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος. Προσομοιώνει υδατορεύματα φυσικά ή τεχνητά , μεμονωμένα ή συστήματα.



Εικόνα 3.1 Λογότυπο οργανισμού HEC (<http://www.hec.usace.army.mil/>)

3.2.2 FLO-2D

Το FLO-2D είναι λογισμικό το οποίο έχει δημιουργηθεί απο την FLO-2D Software, Inc η οποία βρίσκεται στην ανατολική Αριζόνα των Η. Π. Α. Οι εργαζόμενοι προγραμματιστές και μηχανικοί έχουν εμπειρία σε ποικίλα θέματα υδρολογικού και υδραυλικού ενδιαφέροντος.

Το FLO-2D είναι ένα μοντέλο 2-D διόδευσης πλημμυρών όπου προσομοιώνει τη ροή σε οποιαδήποτε είδους επιφάνεια ανεξαρτήτου τοπογραφίας. Λαμβάνει υπόψη τη ποικιλομορφία και τη πολυπλοκότητα των στοιχείων προσομοίωσης πλημμυρών όπως

βροχόπτωση, διήθηση, μεταφορά ιζημάτων, αναχώματα, παραβίαση φράγματος, χείμαρρους λάσπης, αποχέτευση ομβρίων, οχετούς, γέφυρες, υδραυλικές κατασκευές και υπόγεια ύδατα. Επίσης οι περισσότερες μεταβλητές όπως η βροχόπτωση, η διήθηση καθώς και άλλα χαρακτηριστικά μπορούν να προσδιοριστούν χωρικά και χρονικά εισάγοντας ιστορικές χρονοσειρές (<http://www.flo-2d.com/>)



Εικόνα 3.2 Λογότυπο λογισμικού FLO-2D (<http://www.flo-2d.com/>)

3.2.3 LISFLOOD-FP

Το LISFLOOD-FP είναι ένα μοντέλο για προσομοίωση πλημμυρών το οποίο δημιουργήθηκε από το τμήμα Υδρολογίας της Σχολής Γεωγραφικών Επιστημών του Πανεπιστημίου του Μπρίστολ.

Είναι ένα δισδιάστατο υδροδυναμικό μοντέλο ειδικά σχεδιασμένο για να προσομοιώνει πλημμύρες με ένα υπολογιστικά αποδοτικό τρόπο πάνω σε μια σύνθετη τοπογραφία. Είναι ικανό στο να προσομοιώνει καννάβους έως και 10^6 κελιά για δυναμικά εξελισσόμενα πλημμυρικά γεγονότα. Επίσης μπορεί να επωφεληθεί από νέες πηγές πληροφορίας εδάφους τις τεχνικές τηλεπισκόπησης όπως τον εναέριο υψομετρητή με laser ή κάποιο δορυφορικό ραντάρ.

Το μοντέλο προβλέπει βάθη νερού σε κάθε κελί για κάθε χρονικό βήμα και ως εκ τούτου μπορεί να προσομοιώσει τη δυναμική διάδοση των πλημμυρικών κυμάτων πάνω στις πλημμυρικές περιοχές (ποτάμια, παράκτιες καθώς και σε εκβολές ποταμών). Πρόκειται για ένα μη εμπορικό ερευνητικό κώδικα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της προσπάθειας του ιδρύματος να κατανοήσει καλύτερα τη θεμελιώδη υδραυλική των πλημμυρών, τη πρόγνωση πλημμυρών και την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου.

Το LISFLOOD-FP έχει χρησιμοποιηθεί ως ερευνητικό εργαλείο :

- Στα πλαίσια του προ-επιχειρησιακού Ευρωπαϊκού Συστήματος Προειδοποίησης για τις πλημμύρες (European Flood Alert System) το οποίο αναπτύχθηκε στο κέντρο ερευνών της Ε. Ε
- Για τη δημιουργία του RASP όπου αποτελεί κλιμακωτή μεθοδολογία για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου και η οποία αναπτύχθηκε για λογαριασμό της Υπηρεσίας Περιβάλλοντος της Αγγλίας και της Ουαλίας και του DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs).
- Στα πλαίσια ερευνητικών μελετών όπου έχουν λάβει χώρα σε ένα αριθμό πανεπιστημιακών ιδρυμάτων όπως του Οχάιο και της Ουάσινγκτον στις Η. Π. Α και σε αυτό της Μεσσίνα στην Ιταλία.



Εικόνα 3.3 Λογότυπο τμήματος Υδρολογίας Σχολής Γεωγραφικών Επιστημών Πανεπιστημίου του Μπρίστολ Αγγλίας. (<http://www.bristol.ac.uk/geography/research/hydrology/models/lisflood>)

3.2.4 MIKE 11

Το MIKE 11 είναι μοντέλο υδραυλικής προσομοίωσης ποταμών. Καλύπτει πολλές εφαρμογές όπως:

- Μελέτη για την αντιμετώπιση των πλημμυρών
- Πρόγνωση πλημμυρών σε πραγματικό χρόνο
- Ανάλυση θραύσης φράγματος
- Βελτιστοποίηση εργασιών ταμιευτήρα
- Εκτίμηση ποιότητας νερού ποταμών και υγροτόπων
- Μελέτη μεταφοράς ιζημάτων και μορφολογίας ποταμών
- Μελέτη φαινομένου υφαλμύρωσης σε ποταμούς και στις εκβολές αυτών,
- Μελέτες αποκατάστασης υγροτόπων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Το Mike 11 δύναται να προσομοιώσει υδραυλικά τη λεκάνη απορροής ενός ποταμού σε συνθήκες σχεδόν μόνιμης ροής. Αυτή η λύση απαιτεί ως συνοριακή συνθήκη εισόδου παροχή ενώ στην έξοδο αντίστοιχα στάθμη νερού ή τη σχέση Q-h.

Το MIKE 11 αποτελεί παγκοσμίως προτιμώμενη λύση για πολλούς επαγγελματίες υδραυλικούς μηχανικούς καθώς χαρακτηρίζεται απο λέξεις κλειδιά όπως αξιοπιστία, ευστροφία, παραγωγικότητα και ποιότητα αποτελεσμάτων. Έχει εγκριθεί απο την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Έκτακτων γεγονότων των Η. Π. Α για χρήση στο πρόγραμμα ασφάλειας έναντι των πλημμυρών.

Το MIKE 11 συμπεριλαμβάνεται στη πλατφόρμα MIKE Zero στο λογισμικό MIKE by DHI. Το λογισμικό MIKE by DHI είναι αποτέλεσμα πολλών ετών εμπειρίας και ανάπτυξης. Μεταμορφώνει την επιστήμη σε πράξη και προσφέρει στο χρήστη ανταγωνιστικό πλεονέκτημα. Προσομοιώνει το κόσμο του νερού. Χειμάρρους που πηγάζουν απ'τα βουνά, τον ωκεανό, το πόσιμο νερό έως και την αποχέτευση.

Το DHI (Danish Hydraulic Institute) είναι το Δανέζικο Ινστιτούτο Εφαρμοσμένης Υδραυλικής το οποίο ιδρύθηκε το 1964 απο τη Δανέζικη Ακαδημία Τεχνικών Επιστημών (Danish Academy of Technical Sciences) (<http://mikebydhi.com/>)



Εικόνα 3.4 Λογότυπο του λογισμικού MIKE by DHI (<http://mikebydhi.com/>)

3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Σε κάθε περίπτωση τα κριτήρια επιλογής του κατάλληλου μοντέλου αποτελούν τα παρακάτω (Παναγόπουλος, 2011) :

- Σκοπός κατασκευής
- Επιστημονική εγκυρότητα – Παρελθόν
- Χωρική ανάλυση – Διακριτοποίηση
- Χρονική ανάλυση (ωριαίο, ημερήσιο, μηνιαίο κτλ)
- Απαιτήσεις σε δεδομένα
- Ικανότητες χρηστών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

- Κόστος εφαρμογής
- Ικανότητα στην ανάπτυξη σεναρίων
- Καταλληλότητα ανά ευρύτερη περιοχή

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας όπου συγκρίνονται τα λογισμικά όπου παρουσιάστηκαν παραπάνω στη § 3. 2 σύμφωνα με τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Καταλληλότητα για χαρτογράφηση πλημμυρών (συμπεριλαμβανομένων των flash floods)
- Δυνατότητα υδραυλικής προσομοίωσης σε συνθήκες μη μόνιμης ροής
- Βαθμός δυσκολίας κατά τη διαδικασία «στησίματος» (set up) και βαθμονόμησης (calibration) του μοντέλου
- Πληρότητα (completeness) ως προς τη προσομοίωση του φαινομένου
- Δυνατότητα πρόσβασης στο λογισμικό από το χρήστη (εμπορικό ή μη)

Πίνακας 3.5 Σύγκριση λογισμικών υδραυλικής προσομοίωσης
(V. Pagana 2013, A. Κατσίμπας 2013)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΓΙΝΕΤΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ	HEC RAS	FLO-2D	LISFLOOD-FP	MIKE 11
Δυνατότητα χαρτογράφησης πλημμυρών (flash floods)	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Δυνατότητα υδραυλικής προσομοίωσης σε συνθήκες μη μόνιμης ροής	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Βαθμός δυσκολίας κατά τη διαδικασία "στησίματος" και βαθμονόμησης του μοντέλου	ΜΕΤΡΙΟΣ	ΜΕΤΡΙΟΣ	ΜΕΤΡΙΟΣ	ΚΑΝΕΝΑΣ
Πληρότητα ως προς τη προσομοίωση του φαινομένου	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ	ΠΟΛΥ ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ
Δυνατότητα πρόσβασης στο λογισμικό από το χρήστη (εμπορικό ή μη)	ΕΛΕΥΘΕΡΟ	ΕΛΕΥΘΕΡΟ (ΤΟ ΒΑΣΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ)	ΕΛΕΥΘΕΡΟ	ΕΜΠΟΡΙΚΟ (€)

Στη παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε το λογισμικό MIKE 11 επειδή :

- Χρησιμοποιήθηκε δωρεάν για εκπαιδευτικούς λόγους
- «Απαντάει» εξαιρετικά σε όλα τα ζητήματα που αφορούν το πρόβλημα και την αντιμετώπισή του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία περιοχή μελέτης αποτέλεσε ο οικισμός Ντράφι ο οποίος είναι οικοδομημένος στους νοτιοανατολικούς πρόποδες του Πεντελικού όρους και ανήκει στο Δήμο Ραφήνας-Πικερμίου. Ο συγκεκριμένος δήμος καλύπτει έκταση περίπου 19. 000 στρεμμάτων, έχει πληθυσμό 15100 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (ΕΛ. ΣΤΑΤ) ενώ απέχει από το κέντρο της Αθήνας περίπου 25 km.

4.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΟΙΚΙΣΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΗΣ ΡΑΦΗΝΑΣ

Ο Δήμος Ραφήνας-Πικερμίου ανήκει στα «Μεσόγεια» Αττικής. Πρόκειται για ένα συγκρότημα Δήμων της Ανατολικής Αττικής που οικοδομούνται ανατολικά του όρους Υμηττού το οποίο τα διαχωρίζει από το λεκανοπέδιο της Αττικής. Έδρα του συγκροτήματος είναι τα Σπάτα και επίνειο ο αναπτυσσόμενος λιμένας της Ραφήνας. Αρχικά είχαν αγροτικό και παραθεριστικό χαρακτήρα. Το 2004 όμως πραγματοποιήθηκαν μεγάλα έργα (αεροδρόμιο Σπάτων, Αττική Οδός, Προαστιακός και Μετρό) τα οποία συνέβαλλαν από το 2006 και μετά στο να λάβει φρενήρεις ρυθμούς η δόμηση σε αυτές τις περιοχές οι οποίες αποτελούν πια προάστια της Αθήνας καθώς έχει βελτιωθεί η πρόσβαση από το κέντρο της πόλης.

Πολλές εταιρείες μετέφεραν τις έδρες τους στην ευρύτερη περιοχή της Ραφήνας ενώ πολλά τμήματα μπήκαν με γοργούς ρυθμούς εντός σχεδίου πόλεως ώστε να υπάρχει περισσότερο ελεγχόμενη δόμηση. Παρ'όλα αυτά αντιμετωπίζουν σοβαρές ελλείψεις σε έργα υποδομών (δίκτυα ομβρίων-αποχέτευσης και ύδρευσης). Το γεγονός αυτό αποδεικνύει πόσο απότομα και άναρχα πήρε διαστάσεις το φαινόμενο της οικιστικής ανάπτυξης τις τελευταίες δεκαετίες στο περιαστικό περιβάλλον της Ραφήνας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το διάστημα 1971 – 2011 παρουσιάστηκε πληθυσμιακή αύξηση στις περιοχές Ραφήνας Πικερμίου κατά 543 % (ΕΛ. ΣΤΑΤ).

4.2.1 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ – ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ

Η έντονη αστικοποίηση των τελευταίων δεκαετιών στην ευρύτερη περιοχή σε συνδυασμό με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής έχουν ως συνέπεια τη σταδιακή οικολογική υποβάθμιση ενώ οι περιοχές αυτές είναι επιρρεπείς σε πυρκαγιές και πλημμύρες.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται η μεγάλη πυρκαγιά που έπληξε τη βορειοανατολική Αττική τον Αύγουστο του 2009. Η συγκεκριμένη πυρκαγιά προκάλεσε ανυπολόγιστη περιβαλλοντική καταστροφή καθώς καταγράφησαν επιπτώσεις στο νερό, στον αέρα, στο έδαφος, στη χλωρίδα και στη πανίδα ενώ οι κίνδυνοι ερημοποίησης, πλημμυρών, υποβάθμισης της ποιότητας των επιφανειακών νερών και μείωσης του φυσικού εμπλουτισμού των υπόγειων υδάτων, αύξησης της θερμοκρασίας και εξαφάνισης σπάνιων ειδών χλωρίδας και πανίδας είναι ορατοί.



Εικόνα 4.1 Μια χελώνα θύμα της φωτιάς πάνω στη καμμένη έκταση
(Πηγή : Εφημερίδα «Το Βήμα» 30/8/2009)

Επίσης ο δείκτης δυσφορίας (η αντιληπτή θερμοκρασία, εκείνη δηλαδή που αισθανόμαστε και όχι αυτή που δείχνουν τα θερμόμετρα) θα αυξηθεί βραχυπρόθεσμα καθώς ο μηχανισμός αερισμού της ατμόσφαιρας στις εκτάσεις αυτές απο τα δάση που υπήρχαν εκεί θα καταστραφεί. Μακροπρόθεσμα εάν δεν αφηθεί η φύση να αναγεννηθεί απο μόνη της και δεν γίνουν οι απαραίτητες αναδασώσεις οι αλλαγές στο κλίμα θα είναι δραματικές. Ειδικά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

στη περίπτωση όπου οι καμμένες εκτάσεις γνωρίσουν οικιστική ανάπτυξη η θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί έως και 6 βαθμούς Κελσίου (Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών). Η αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγήσει σε μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας (π. χ πιο συχνή χρήση κλιματιστικών) αλλά και νερού πόσιμου και αρδευτικού. Με τη σειρά της η μεγαλύτερη κατανάλωση νερού θα οδηγήσει σε αυξημένους όγκους λυμάτων. Ακόμη λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας θα πολλαπλασιαστεί η εξάτμιση στους ταμιευτήρες και στα δίκτυα ύδρευσης και άρδευσης.

Γενικότερα οι πυρκαγιές οδηγούν σε εκτεταμένη διάβρωση των εδαφών τα οποία μένουν «γυμνά» χωρίς τη προστατευτική χλωρίδα. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι ότο το επιφανειακό στρώμα εδάφους γίνεται «υδροφοβικό» δηλαδή δεν απορροφά το νερό αλλά το απωθεί. Αυτό συνεπάγεται ότι σε ενδεχόμενη καταιγίδα τα ρέματα θα δεχθούν πολλαπλάσιους όγκους νερού με αποτέλεσμα ο κίνδυνος πλημμυρών να αυξηθεί σημαντικά.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα η πλημμύρα που έπληξε τη Ραφήνα στις αρχές Φεβρουαρίου του 2013 και η οποία προκάλεσε αρκετές υλικές ζημιές ενώ κινδύνευσε η σωματική ακεραιότητα αρκετών ανθρώπων.

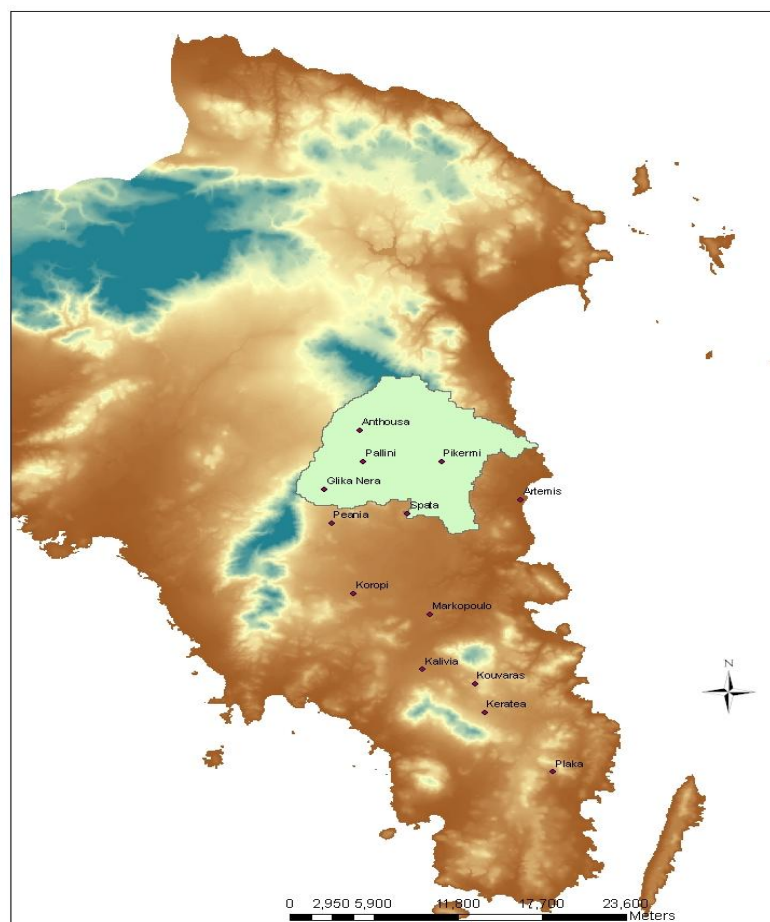


Εικόνα 4.2 Πλημμυρισμένο τοπίο στη Ραφήνα – Φεβρουάριος 2013

(<http://www.rpn.gr/>)

4.3 ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Το πρόβλημα όπως περιγράφηκε παραπάνω είναι πολυσύνθετο και οι συνέπειες εάν δεν αντιμετωπιστεί εγκαίρως και κατάλληλα θα είναι καταστροφικές στο εγγύς και μακροπρόθεσμο μέλλον για το περιβάλλον, τους κατοίκους και τις χρήσεις γής της περιοχής. Ήδη είναι σε εξέλιξη το ερευνητικό πρόγραμμα FLIRE (Floods and Fire Risk assessment and management) το οποίο ξεκίνησε το 2012 και θα ολοκληρωθεί το 2015. Πρόκειται για ένα Ευρωπαϊκό Ανταγωνιστικό Πρόγραμμα το οποίο χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος και το εργαλείο LIFE+ Περιβαλλοντική Πολιτική & Διακυβέρνηση. Σκοπός του προγράμματος είναι η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για τη συνδυασμένη εκτίμηση και διαχείριση πλημμυρών και πυρκαγιών. Περιοχή εφαρμογής του προγράμματος είναι μια τυπική Μεσογειακή περιαστική περιοχή στην Ανατολική Αττική έκτασης περίπου 200 km² (η Ραφήνα και το ευρύτερο περιαστικό περιβάλλον της).



Εικόνα 4.3 Περιοχή εφαρμογής προγράμματος FLIRE (<http://www.flire.eu/el/>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων θα σχεδιαστεί με τη χρήση καινοτόμων μεθόδων, τεχνολογίας και μοντελοποίησης με κύριο άξονα την πρόληψη, την προσαρμογή και τη διερεύνηση της αλληλεπίδρασης πολλών διαφορετικών παραγόντων. Το τελικό σύστημα θα είναι διαθέσιμο μέσω του διαδικτύου σε όλους τους αρμόδιους φορείς (εθνικούς και τοπικούς) και κοινωνικούς εταίρους που σχετίζονται με την αντιμετώπιση των δύο επικίνδυνων φαινομένων, με στόχο τη συνδυασμένη, αποτελεσματική, αποδοτική και μειωμένου κόστους διαχείρισή τους. Μέσω του συστήματος υποστήριξης αποφάσεων επιδιώκεται :

- Η μείωση των επιπτώσεων των πλημμυρικών φαινομένων και των δασικών πυρκαγιών τόσο στα οικοσυστήματα όσο και στην ανθρώπινη ζωή και ιδιοκτησία
- Η βελτίωση του βαθμού πρόληψης των πλημμυρικών φαινομένων
- Η μείωση των πλημμυρικών φαινομένων
- Η βελτίωση του βαθμού πρόληψης των δασικών πυρκαγιών
- Η βελτίωση του βαθμού προστασίας των δασικών εκτάσεων
- Η ευαισθητοποίηση και ενημέρωση του κοινού και των αρμόδιων φορέων για τους δύο κινδύνους και τις συνδυαστικές επιπτώσεις τόσο στο περιβάλλον όσο και την κοινωνία και οικονομία της Ανατολικής Αττικής και της Αθήνας.



Εικόνα 4.4 Λογότυπο προγράμματος FLIRE (<http://www.flire.eu/el/>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.3.1 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙ

Το σχήμα της λεκάνης απορροής είναι στενόμακρο με διεύθυνση Β-N. Το βόρειο τμήμα της λεκάνης περιλαμβάνεται στα όρια του Δήμου Πεντέλης και χαρακτηρίζεται από μεγάλες κλίσεις και απο την απουσία βλάστησης. Τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής είναι : έκταση 15, 08 km² , μέσο υψόμετρο 430 m με ελάχιστο και μέγιστο υψόμετρο τα 155 m και 915 m αντίστοιχα.



Εικόνα 4.5 Βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής Ντραφίου
(<http://meteo.chi.civil.ntua.gr/el/basin.php>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το νότιο τμήμα περιλαμβάνεται στα όρια του Δήμου Πικερμίου. Παρουσιάζει ήπιες κλίσεις, είναι αραιοκατοικημένο και υπάρχει ένα μικρό ποσοστό βλάστησης κυρίως κοντά στην έξοδο της λεκάνης.



Εικόνα 4.6 Νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής Ντραφίου
(<http://meteo.chi.civil.ntua.gr/el/basin.php>)



Εικόνα 4.7 Θέση κοντά στο κέντρο της λεκάνης απορροής Ντραφίου
(<http://meteo.chi.civil.ntua.gr/el/basin.php>)

Στην περιοχή είναι εγκατεστημένοι ένας υδρομετρικός σταθμός στην έξοδό της και ένα βροχομετρικό δίκτυο υψηλής πυκνότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο υδρομετρικός σταθμός περιλαμβάνει σταθμήμετρο και σταθμηγράφο για τη συνεχή καταγραφή της στάθμης κάθε δέκα λεπτά. Επίσης καταγράφεται η θερμοκρασία του νερού και του αέρα. Η μέτρηση της παροχής στο σταθμό γίνεται με μιλίσκο.



Εικόνα 4.8 Θέση υδρομέτρησης
(<http://meteo.chi.civil.ntua.gr/el/basin.php>)



Εικόνα 4.9 Σταθμηγράφος

(<http://meteo.chi.civil.ntua.gr/el/basin.php>)

Το βροχομετρικό δίκτυο αποτελείται από τρεις βροχογράφους οι οποίοι παρέχουν συνεχή ένδειξη του ύψους βροχής ανά δέκα λεπτά και είναι κατάλληλα διατεταγμένοι, ώστε να δίνουν την πλήρη εικόνα της βροχής για όλη τη λεκάνη.



Εικόνα 4.10 Βροχογράφος

(<http://meteo.chi.civil.ntua.gr/el/basin.php>)

4.3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ

Η στρωματογραφική ενότητα που απαντά στη περιοχή είναι η Α υτόχθονη ενότητα Αλμυροποτάμου – Αττικής. Το νότιο τμήμα της λεκάνης καλύπτεται απο νεογενείς αδρομερείς ποταμολιμναίους σχηματισμούς. Οι σχηματισμοί της Α υτόχθονης ενότητας Αλμυροποτάμου – Αττικής απο πάνω προς τα κάτω είναι :

- Σχηματισμοί μεταφλύσχη με ενστρώσεις μαρμάρων
- Μάρμαρα ΒΑ/κης Αττικής
- Σχιστολιθικοί σχηματισμοί ΒΑ/κής Αττικής με ενστρώσεις μαρμάρων και σερπεντινιτών
- Μάρμαρα Πεντέλης

4.3.3 ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ ΚΥΡΙΟΥ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ

Στο κύριο υδατόρευμα της λεκάνης παρατηρείται συνεχής ροή κατά τη διάρκεια του έτους , κάτι που οφείλεται στην αποστράγγιση των μαρμάρων ΒΑ/κής Αττικής. Τα μάρμαρα αυτά είναι υπερκείμενα των αδιαπέρατων σχιστολιθικών σχηματισμών. Χαρακτηρίζονται απο καλή υδροχωρητικότητα , εξαιτίας των πολυπληθών ρωγμών, οι οποίες έχουν διευρυνθεί απο την καρστική διεργασία. Οι πηγές επαφής που δημιουργούνται στην επαφή των μαρμάρων και των υποκείμενων αδιαπέρατων σχιστολιθικών σχηματισμών είναι υπεύθυνες για την συνεχή παρουσία βασικής απορροής στο υδατόρευμα. Η βασική απορροή φθάνει στην ελάχιστη τιμή της τον Αύγουστο ενώ παρουσιάζει μέγιστο τον Φεβρουάριο.

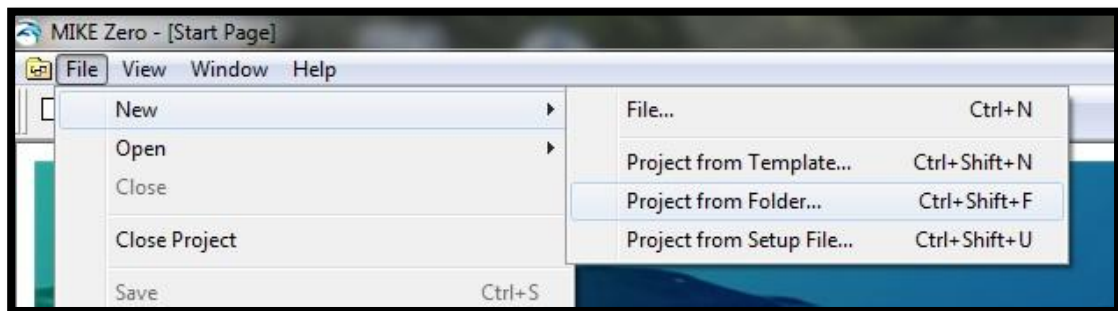
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE 11 BY DHI

5.1 «ΣΤΗΣΙΜΟ» ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ (SET UP)

Αρχικά δημιουργήθηκε ένας κενός φάκελλος με το όνομα Drafī στα Έγγραφα του υπολογιστή (Έγγραφα/Mike Zero Projects/Mike 11/Drafī). Σε αυτόν τον φάκελλο θα αποθηκευτούν στη συνέχεια όλα τα αρχεία δεδομένων και αποτελεσμάτων του μοντέλου όπου θα «στήσουμε».

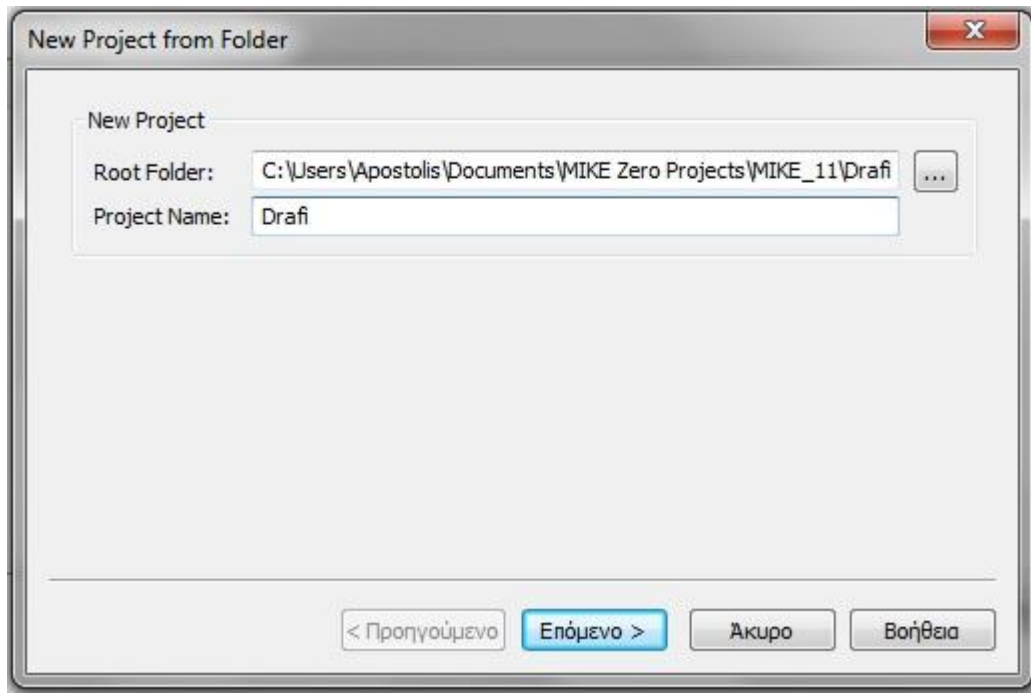
Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ένα νέο project μες το πρόγραμμα (πλατφόρμα Mike Zero όπου περιέχεται το Mike 11) με το ίδιο όνομα Drafī (File/New/Project from folder).



Εικόνα 5.1 Δημιουργία νέου Project (1)

Αφού έγινε «κλικ» στο Project from folder αναδύθηκε το παρακάτω παράθυρο (Εικόνα 5. 2) όπου συμπληρώθηκε Root folder → Drafī και Project name → Drafī.

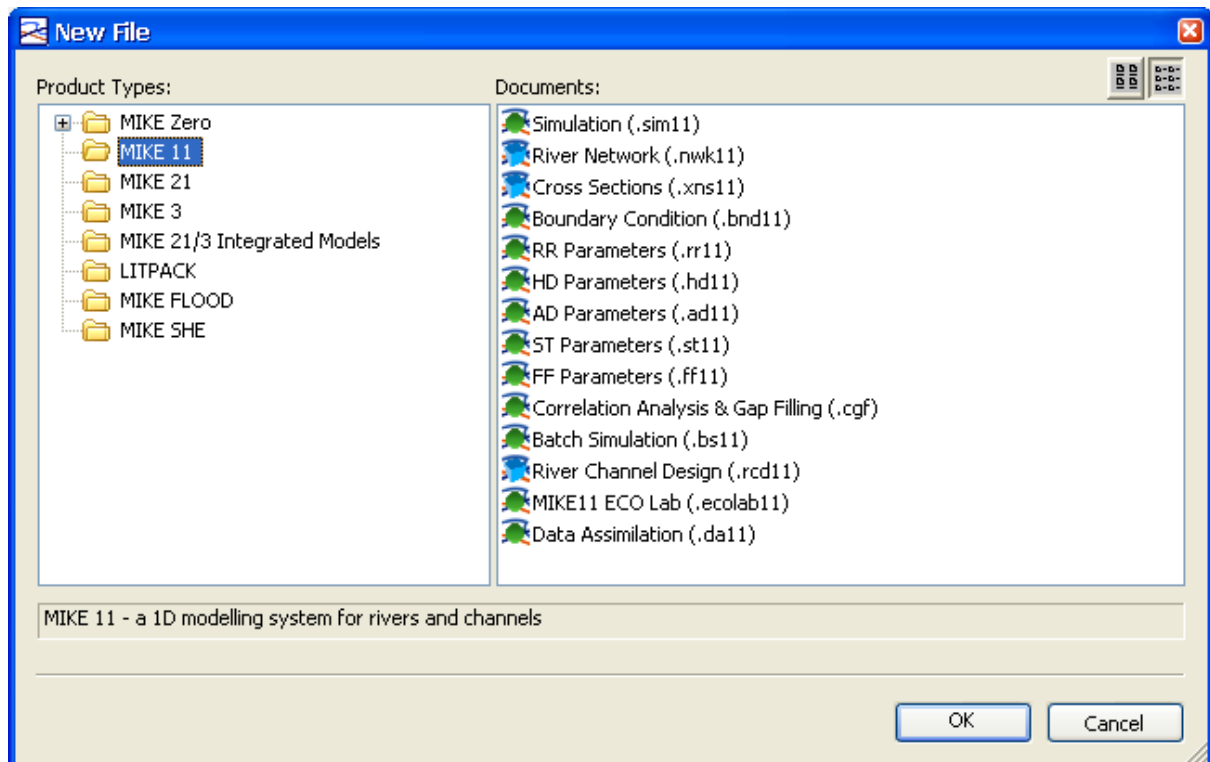
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



Εικόνα 5.2 Δημιουργία νέου Project (2)

Στη συνέχεια ξεκίνησε η διαδικασία δημιουργίας νέων editor files. Το Mike 11 περιλαμβάνει έναν αριθμό διαφορετικών editor files στους οποίους υπάρχει η δυνατότητα ξεχωριστά στον καθένα να εισαχθούν και να επεξεργαστούν δεδομένα με ανεξάρτητο τρόπο.

Πατώντας New/File στο κεντρικό μενού του Graphical User Interface (GUI) της πλατφόρμας Mike Zero αναδύεται το παρακάτω παράθυρο (Εικόνα 5. 3) όπου μπορούμε να δημιουργήσουμε οποιοδήποτε editor file επιθυμούμε.

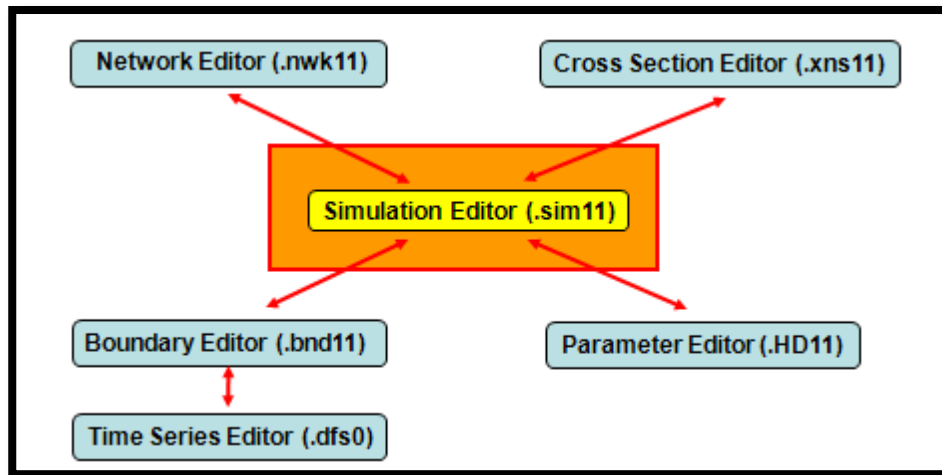


Εικόνα 5.3 Δημιουργία νέου editor file

Το σύστημα των ξεχωριστών editor files έχει ως άμεση συνέπεια τη μη ύπαρξη απευθείας σύνδεσης μεταξύ των διαφορετικών editors απο τη στιγμή όπου έχουν ανοιχτεί μεμονωμένα. Δηλαδή δεν είναι εφικτή η απεικόνιση των θέσεων των διατομών οι οποίες έχουν δημιουργηθεί στον cross-section editor στην γραφική μορφή (Graphical View) του Network Editor στη περίπτωση όπου αυτοί οι editors έχουν ανοιχτεί ξεχωριστά.

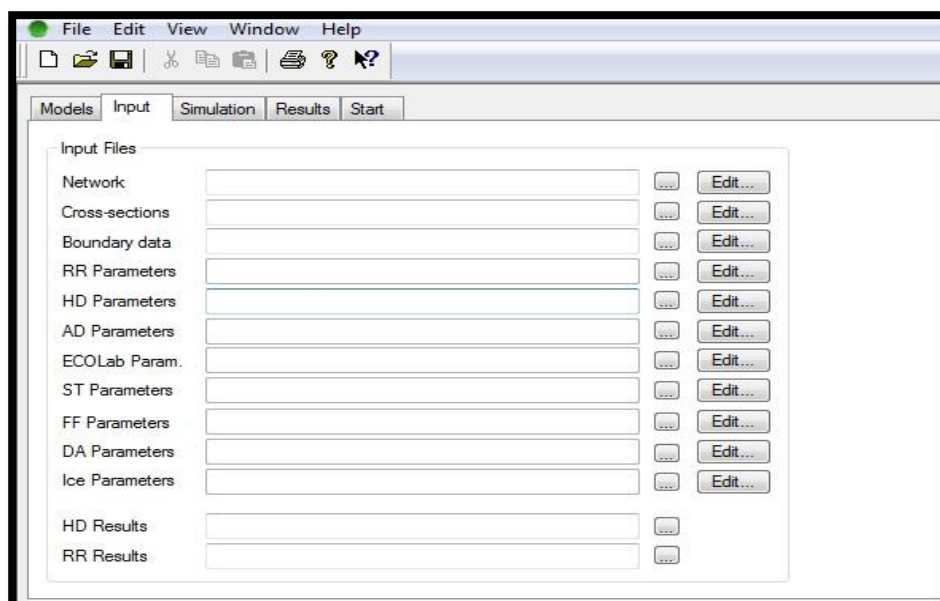
Η ολοκλήρωση και η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των ξεχωριστών data editors επιτυγχάνεται μέσω του Simulation Editor του Mike 11. Ο Simulation Editor εξυπηρετεί τους δύο παρακάτω σκοπούς :

1. Περιλαμβάνει παραμέτρους ελέγχου προσομοίωσης και υπολογισμών ενώ χρησιμοποιείται για να ξεκινήσει η προσομοίωση
2. Παρέχει σύνδεση μεταξύ της γραφικής μορφής (Graphical View) του Network Editor με τους υπόλοιπους editors του Mike 11 όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 5.4



Σχήμα 5.4 Σύνδεση Simulation Editor με τους υπόλοιπους Editors του Mike 11

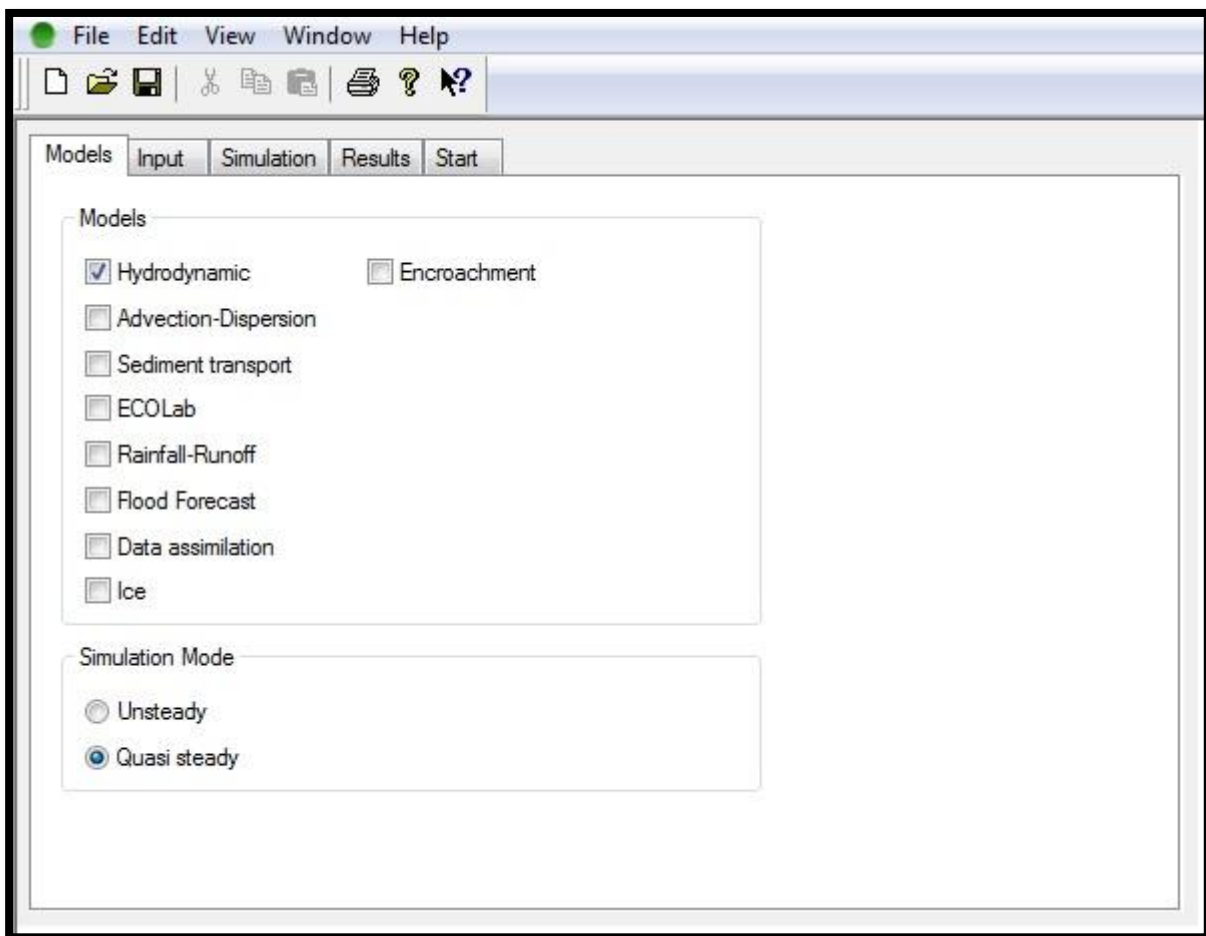
Η επεξεργασία των διατομών θα μπορούσε να αποτελέσει ένα τυπικό παράδειγμα. Οι διατομές επιλέγονται μέσω της γραφικής μορφής του Network Editor ώστε να επεξεργαστούν τελικά εντός του Cross Section Editor. Η σύνδεση απαιτεί να προσδιοριστεί ένα όνομα για κάθε editor. Ο καθορισμός των ονομάτων των αρχείων γίνεται στη καρτέλα Input Property Page του Simulation Editor (Εικόνα 5.5) όπου «καλούνται» όλοι οι Editor Files που έχουν δημιουργηθεί. Από τη στιγμή που έχουν προσδιοριστεί τα ονόματα των αρχείων αυτόματα οι πληροφορίες που περιέχουν αυτά συνδέονται μεταξύ τους. Δηλαδή υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης και παρουσίασης όλων των δεδομένων των ξεχωριστών editors όπως δεδομένων διατομών (cross sectional data), συνοριακές συνθήκες (boundary conditions) κτλ στη γραφική μορφή (graphical view) του River Network Editor.



Εικόνα 5.5 Input Property Page του Simulation Editor

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

Στην αρχή δημιουργήθηκε ο Simulation Editor ως εξής : File/New/file... και επιλογή στη συνέχεια Product Type → Mike 11 και Document → Simulation (. sim11) (βλέπε Εικόνα 5.3). Στη πρώτη καρτέλα Models Property Page του Simulation Editor επιλέχθηκε Models/Hydrodynamic και Simulation mode/quasi steady(σχεδόν μόνιμη ροή) όπως φαίνεται στη παρακάτω Εικόνα 5.6. Η διαφορά της μόνιμης και της μη μόνιμης ροής είναι ότι τα χαρακτηριστικά της μόνιμης ροής (παροχή, βάθος και ταχύτητα νερού) δεν μεταβάλλονται σε σχέση με το χρόνο. Η λύση της σχεδόν μόνιμης ροης απαιτεί ως συνοριακή συνθήκη εισόδου παροχή ενώ στην έξοδο αντίστοιχα στάθμη νερού ή τη σχέση Q-h.



Εικόνα 5.6 Models Property Page στον Simulation Editor

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ο Network Editor. Ο Network Editor αποτελεί μια πολύ κεντρική μονάδα στο Graphical User Interface (GUI) του Mike 11. Από τη γραφική μορφή του Network Editor, είναι εφικτό να εμφανιστούν πληροφορίες από τους άλλους data editors. Ο Network Editor αποτελείται από δύο μορφές. Τη πινακοειδή μορφή (Tabular view) όπου το υδρογραφικό δίκτυο (river network) παρουσιάζεται σε πίνακες και τη γραφική μορφή

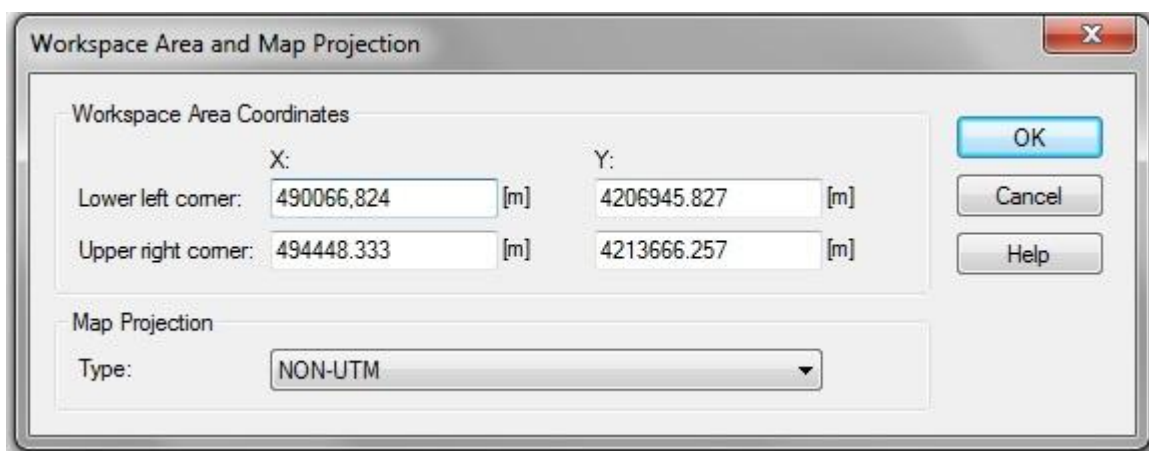
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

(graphical view) όπου το υδρογραφικό δίκτυο μπορεί να επεξεργαστεί καθώς υπάρχει η δυνατότητα πρόσβασης σε δεδομένα άλλων editors για περαιτέρω επεξεργασία.

Οι βασικές λειτουργίες του του Network Editor είναι :

- Παρέχει διευκολύνσεις για την επεξεργασία δεδομένων του υδρογραφικού δικτύου όπως :
 1. Ψηφιοποίηση σημείων και σύνδεσης κλάδων ποταμού
 2. Καθορισμός φραγμάτων, οχετών και άλλων υδραυλικών κατασκευών
 3. Καθορισμός της λεκάνης απορροής συνδέοντας το υδραυλικό μοντέλο ποταμού (river model) με το μοντέλο βροχής-απορροής (rainfall run-off model)
- Παρέχει μια επισκόπηση όλων των δεδομένων που περιλαμβάνονται στο υδραυλικό μοντέλο προσομοίωσης του ποταμού. Η επισκόπηση παρέχεται μέσω της δυνατότητας να εμφανίζονται «αντικείμενα» (items) όπως σύμβολα (symbols) και γραμμές (lines) διαφορετικών χρωμάτων και μεγεθών στη γραφική μορφή (graphical view).

Η διαδικασία δημιουργίας του River Network Editor είναι η εξής : File/New/file... και επιλογή στη συνέχεια Product Type → Mike 11 και Document → River Network (. nwk11) (βλέπε Εικόνα 5.3). Πατώντας ok αναδύθηκε στη συνέχεια το παράθυρο με τίτλο Workspace Area and Map Projection. Εκεί συμπληρώθηκαν οι συντεταγμένες του «κάτω αριστερά» και του «πάνω δεξιά» σημείου τα οποία περικλείουν τη περιοχή μελέτης.

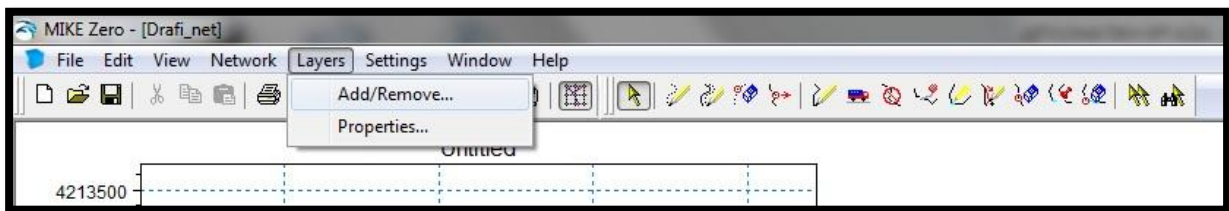


Εικόνα 5.7 Δημιουργία River Network Editor – Workspace Area and Map Projection

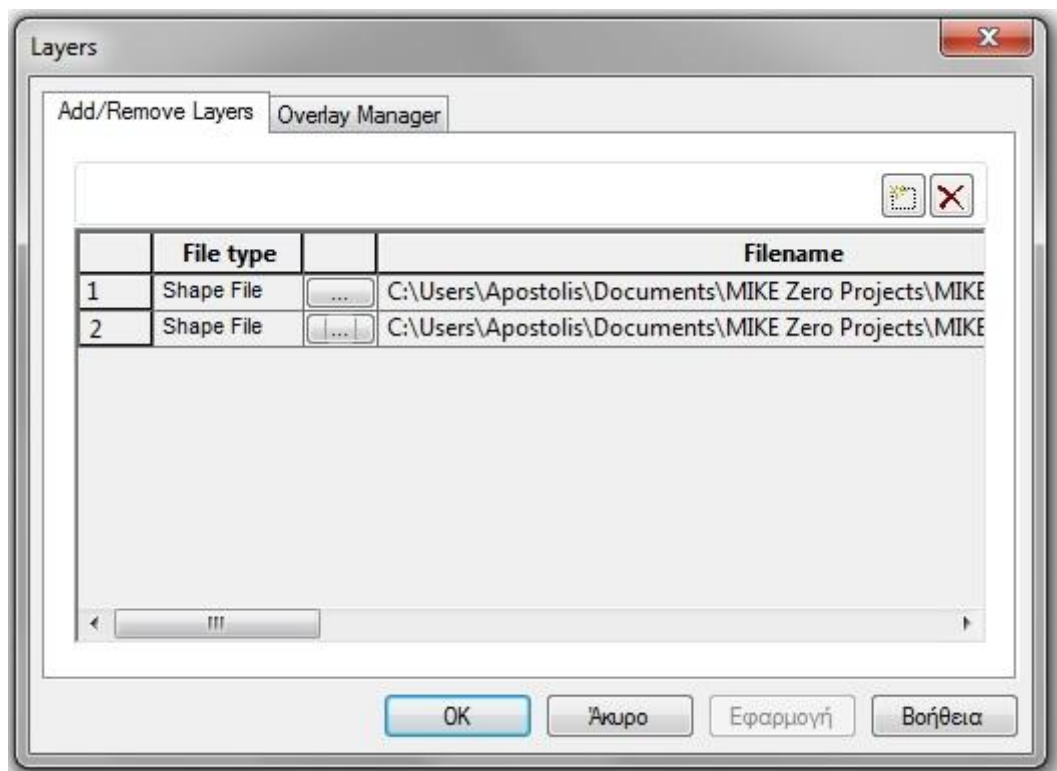
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

Στη συνέχεια εισήχθησαν τα shape files του ποταμού και των όχθών σύμφωνα με τις παρακάτω ενέργειες :

- Στο κεντρικό μενού του Network Editor επιλέχθηκε Layers/Add-Remove (βλέπε Εικόνα 5.8) και στη συνέχεια αναζητήθηκαν τα συγκεκριμένα shape files στον φάκελο Drafι στα όπου είχαν ήδη αποθηκευτεί (βλέπε Εικόνα 5.9).



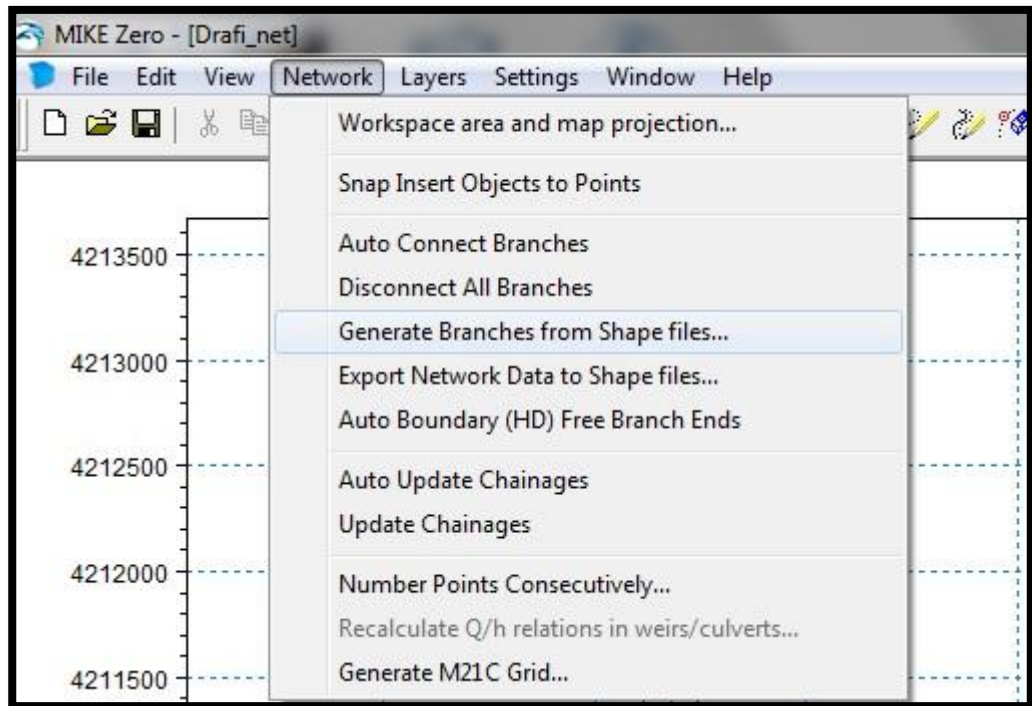
Εικόνα 5.8 Εισαγωγή των shape files του υδρογραφικού δικτύου και των όχθων στον River Network Editor



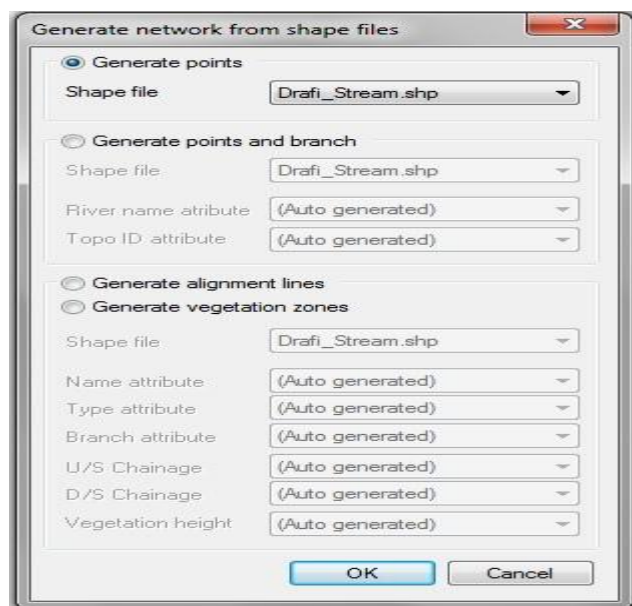
Εικόνα 5.9 Αναζήτηση των shape files Drafι_Stream και Banks στο φάκελο Drafι και εισαγωγή αυτών στον River Network Editor

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

Στη συνέχεια για να ολοκληρωθεί η διαδικασία επιλέχθηκε στο κεντρικό μενού του River Network Editor → Network/Generate branches from shape files (βλέπε Εικόνες 5.10, 5.11 και 5.12)

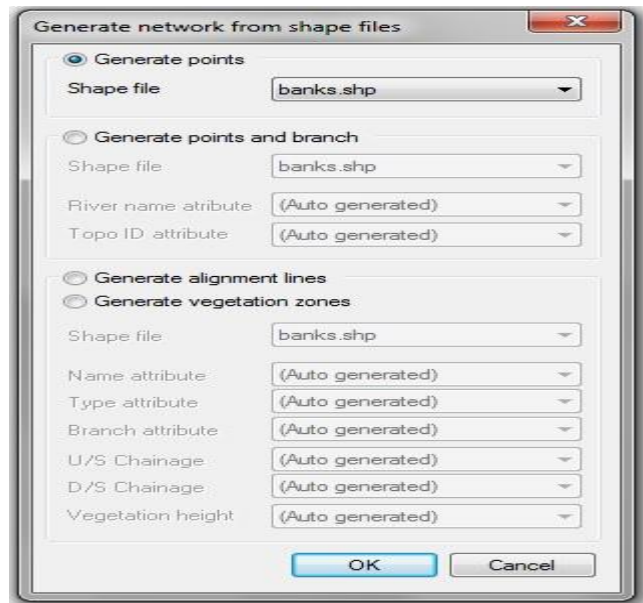


Εικόνα 5.10 Παραγωγή σημείων ποταμού και όχθων απο shape files



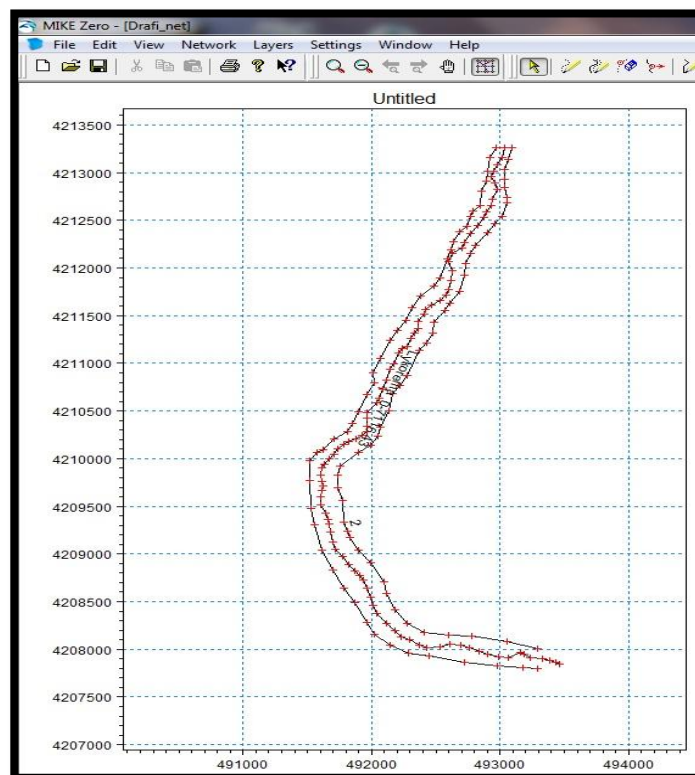
Εικόνα 5.11 Παραγωγή σημείων ποταμού απο το shape file Drafi_Stream

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



Εικόνα 5. 12 Παραγωγή σημείων όχθων απο το shape file banks

Στις παρακάτω Εικόνες 5.13 και 5.14, 5.15 παρουσιάζονται σε γραφική και πινακοειδή μορφή αντίστοιχα το ποτάμι με τις όχθες του όπως απεικονίζονται στον River Network Editor.



Εικόνα 5. 13 Γραφική μορφή του ποταμού και των όχθων του στον River Network Editor

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

The screenshot shows the MIKE Zero software interface. The Overview tab is active, displaying a table of river network points. The table has columns for ID, X Coord., Y Coord., Branch, Chainage Type, and Chainage. The data is as follows:

	X Coord.	Y Coord.	Branch	Chainage Type	Chainage
1	493035.37	4213263.2	Lykorema	System Defined	0
2	493020.94	4213155	Lykorema	System Defined	109.15472
3	492977.66	4213082.9	Lykorema	System Defined	193.27378
4	492948.81	4213010.7	Lykorema	System Defined	270.96169
5	492934.38	4212960.2	Lykorema	System Defined	323.47426
6	492963.24	4212895.3	Lykorema	System Defined	394.5155
7	492977.66	4212823.2	Lykorema	System Defined	468.07539
8	492941.6	4212722.2	Lykorema	System Defined	575.30656
9	492934.38	4212650.1	Lykorema	System Defined	647.79782
10	492891.1	4212592.4	Lykorema	System Defined	719.92918
11	492876.68	4212534.7	Lykorema	System Defined	779.41034
12	492826.19	4212448.1	Lykorema	System Defined	879.61865
13	492768.48	4212361.5	Lykorema	System Defined	983.64804
14	492725.2	4212267.8	Lykorema	System Defined	1086.9246
15	492703.56	4212210.1	Lykorema	System Defined	1148.5538
16	492631.43	4212152.4	Lykorema	System Defined	1240.9271
17	492602.58	4212065.8	Lykorema	System Defined	1332.1669
18	492624.22	4211972	Lykorema	System Defined	1428.4023
19	492617	4211863.8	Lykorema	System Defined	1536.8397
20	492595.36	4211770.1	Lykorema	System Defined	1633.075
21	492580.94	4211712.4	Lykorema	System Defined	1692.5562
22	492530.45	4211654.7	Lykorema	System Defined	1769.2331
23	492465.53	4211611.4	Lykorema	System Defined	1847.2552
24	492422.25	4211560.9	Lykorema	System Defined	1913.7571
25	492407.82	4211517.6	Lykorema	System Defined	1959.377
26	492364.54	4211438.3	Lykorema	System Defined	2049.7575
27	492357.33	4211366.1	Lykorema	System Defined	2122.2486
28	492335.69	4211315.6	Lykorema	System Defined	2177.1824
29	492306.84	4211257.9	Lykorema	System Defined	2241.6987
30	492277.99	4211178.6	Lykorema	System Defined	2326.1265
31	492241.92	4211156.9	Lykorema	System Defined	2368.1859
32	492213.07	4211106.5	Lykorema	System Defined	2426.3402
33	492169.79	4210998.3	Lykorema	System Defined	2542.8721

Εικόνα 5.14 Πινακοειδής μορφή ποταμού στον River Network Editor (σημεία)

The screenshot shows the MIKE Zero software interface. The Overview tab is active, displaying channel definition parameters. The data is as follows:

	Name	Topo ID	Upstr. Ch.	Downstr. Ch.	Flow Direction	Maximum dx	Branch Type	Upstr.Conn. Name	Upstr.Conn. Ch.
1	Lykorema	Topo?	0	7116.42818	Positive	10000	Regular		

Εικόνα 5.15 Πινακοειδής μορφή ποταμού στον River Network Editor (κλάδος)

Τέλος, «καλώ» τον Network Editor στη καρτέλα Input Property Page του Simulation Editor (βλέπε Εικόνα 5.5).

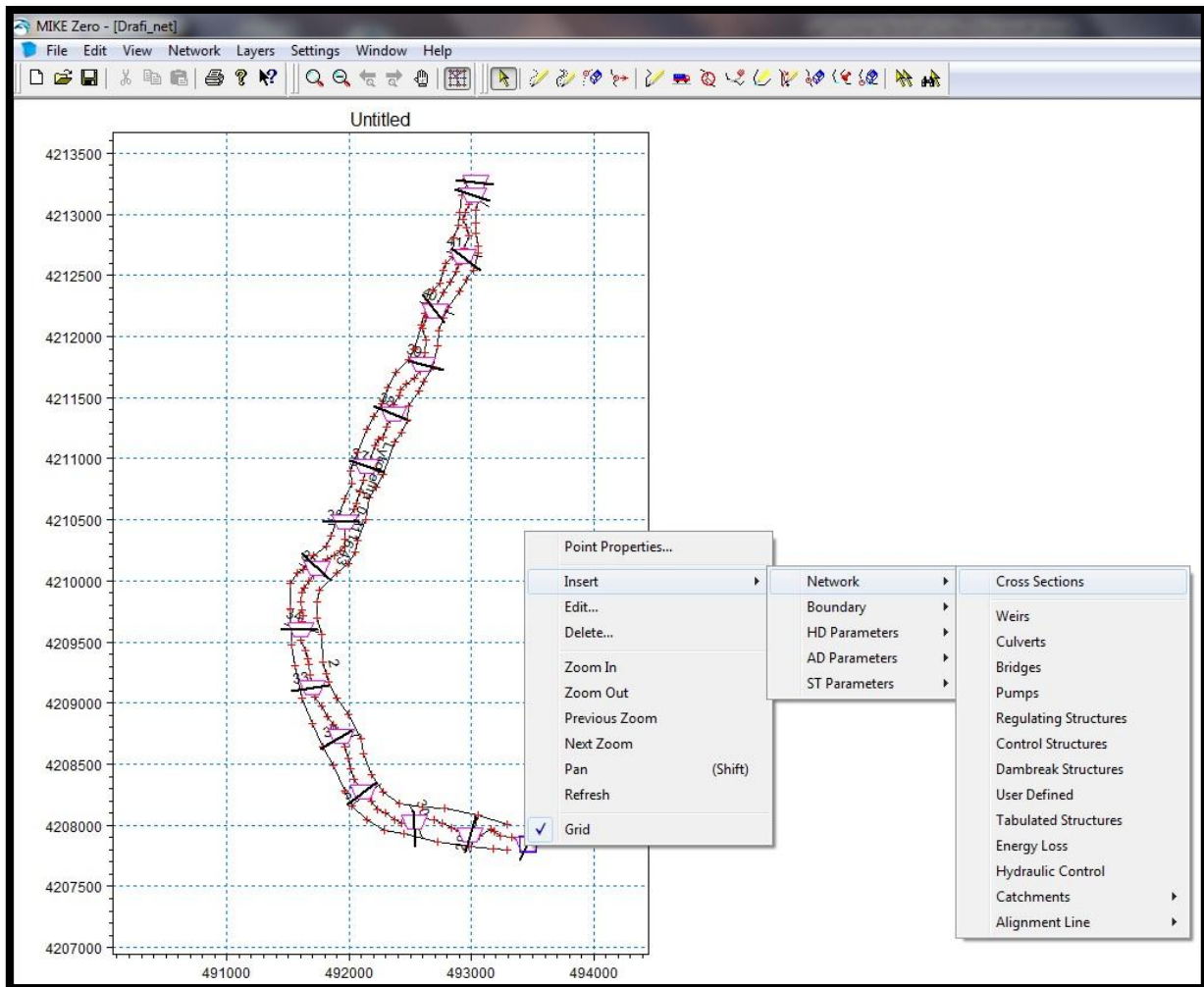
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ο Cross Section Editor. Κάθε διατομή ποταμού που δημιουργείται περιλαμβάνει δύο είδη δεδομένων, τα μη επεξεργασμένα (raw data) και τα επεξεργασμένα (processed data). Τα μη επεξεργασμένα δεδομένα περιγράφουν το φυσικό σχήμα της διατομής χρησιμοποιώντας συντεταγμένες x, z οι οποίες έχουν προκύψει ύστερα από την αποτύπωση της κοίτης του ποταμού καθώς και των πλημμυρικών πεδίων εκατέρωθεν. Τα επεξεργασμένα δεδομένα υπολογίζονται σύμφωνα με τα μη επεξεργασμένα δεδομένα και περιλαμβάνουν τιμές για τη περιοχή της διατομής, το πλάτος ροής, την υδραυλική ακτίνα καθώς και την ακτίνα αντίστασης. Κάθε διατομή είναι μοναδική και ταυτοποιείται από :

- Το όνομα του ποταμού (river name)
- «Τοπογραφική ταυτότητα» (Topographical Identification-TopoID)
- Χιλιομετρική θέση (chainage)

Η διαδικασία δημιουργίας του Cross Section Editor είναι η εξής : File/New/file... και επιλογή στη συνέχεια Product Type → Mike 11 και Document → Cross Sections (. xns11) (βλέπε Εικόνα 5. 3). Αρχικά εισήχθη το shape file των διατομών στον River Network Editor ώστε να διευκολυνθεί η εισαγωγή των διατομών στα σημεία όπου θέλουμε να εισάγουμε τις διατομές. Στη συνέχεια εισήχθησαν γραφικά στον River Network Editor οι 16 συνολικά διατομές σε κάθε σημείο ως εξής : Insert/Network/Cross Section (βλέπε Εικόνα 5.16). Η κάθε διατομή προστίθεται αυτόματα στον Cross Section Editor.

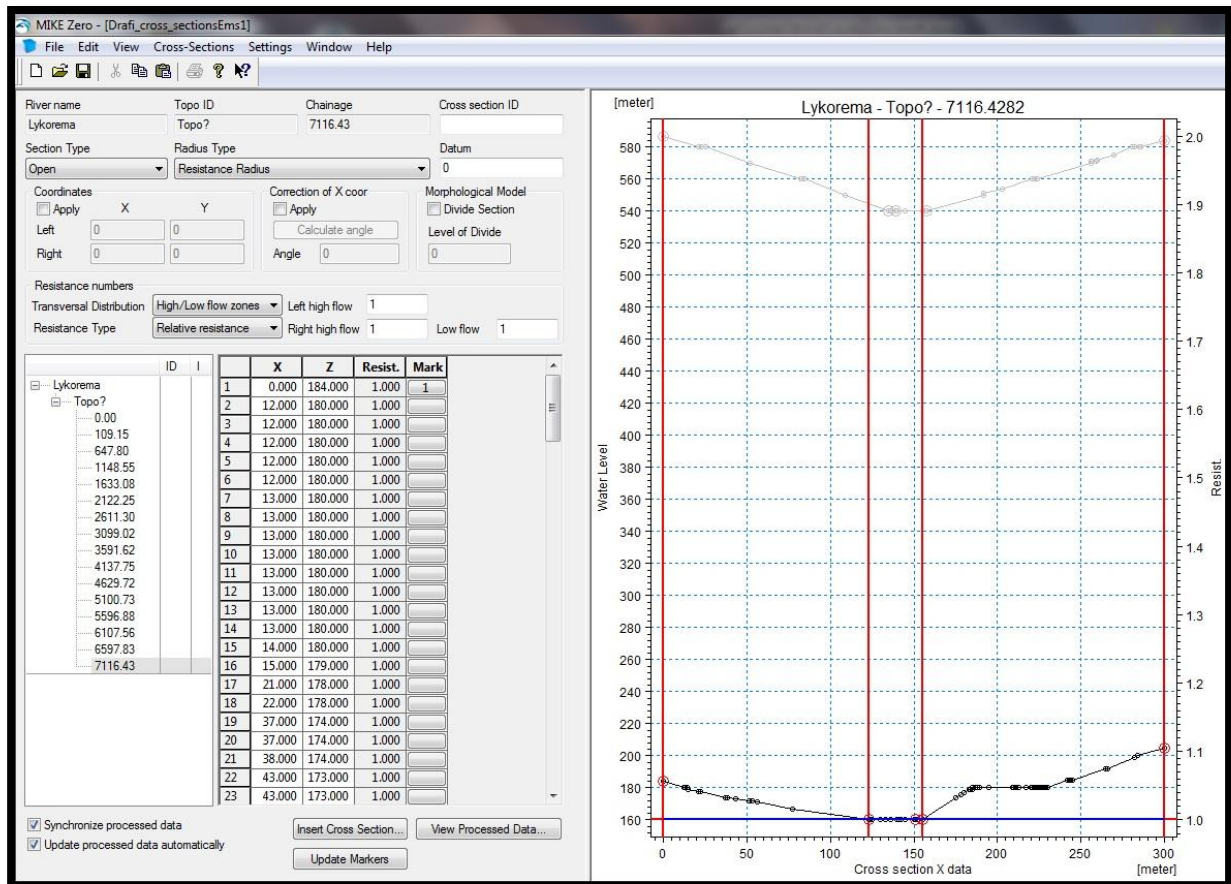
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



Εικόνα 5. 16 Παράδειγμα εισαγωγής διατομής στην έξοδο της λεκάνης απορροής στη γραφική μορφή του River Network Editor

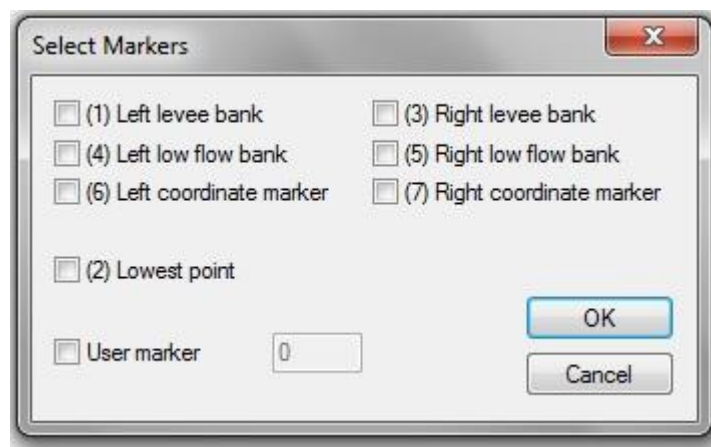
Στη παρακάτω Εικόνα 5.17 παρατίθεται η μορφή του Cross Section Editor αφού έχουν εισαχθεί όλες οι διατομές ενώ φαίνεται το σχήμα της διατομής στην έξοδο της λεκάνης απορροής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



Εικόνα 5.17 Cross Section Editor – Διατομή στην έξοδο της λεκάνης απορροής

Στη συνέχεια σε κάθε διατομή ορίστηκαν τα όρια της κοίτης (όχθες) καθώς και των πλημμυρικών πεδίων εκατέρωθεν μέσω των Markers (βλέπε Εικόνα 5. 18). Μ'αυτό το τρόπο διαχωρίστηκε η ροή στη κοίτη απ'τη ροή στα πλημμυρικά πεδία.



Εικόνα 5. 18 Καθορισμός των ορίων της κοίτης του ποταμού και των πλημμυρικών πεδίων εκατέρωθεν σε μια διατομή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

Ως προς την ενότητα Resistance numbers του Cross section Editor (βλέπε Εικόνα 5.19) επιλέχθηκε :

- Εγκάρσια κατανομή (Transversal Distribution) → high/low flow zones
Όπου :
Low flow zone: ροή στη κοίτη – οριοθετείται μεταξύ των markers 4 και 5 (εμπεριέχει τον marker 2)
High flow zone: ροή στα πλημμυρικά πεδία εκατέρωθεν της κοίτης – οριοθετείται μεταξύ των markers 1 – 4 και 5 – 3 αντίστοιχα.
- Τύπος αντίστασης (Resistance Type) → Σχετική αντίσταση (Relative Resistance)
Η σχετική αντίσταση λειτουργεί ως πολλαπλασιαστής της προεπιλεγμένης τιμής του συντελεστή αντίστασης Manning n για να προκύψει το $n_{\text{τελικό}}$ όπου :
$$n_{\text{τελικό}} = n_{\text{default value}} \times \text{Relative Resistance}$$

 $n_{\text{default value}} = \text{προεπιλεγμένη τιμή του συντ. αντίστασης Manning } n = 0,033$
Relative Resistance = 1 (προεπιλεγμένη τιμή)
- Left high flow → 1 (προεπιλεγμένη τιμή σχετικής αντίστασης στο πλημμυρικό πεδίο αριστερά της κοίτης)
- Right high flow → 1 (προεπιλεγμένη τιμή σχετικής αντίστασης στο πλημμυρικό πεδίο δεξιά)
- Low flow → 1 (προεπιλεγμένη τιμή σχετικής αντίστασης στη κοίτη του ποταμού)



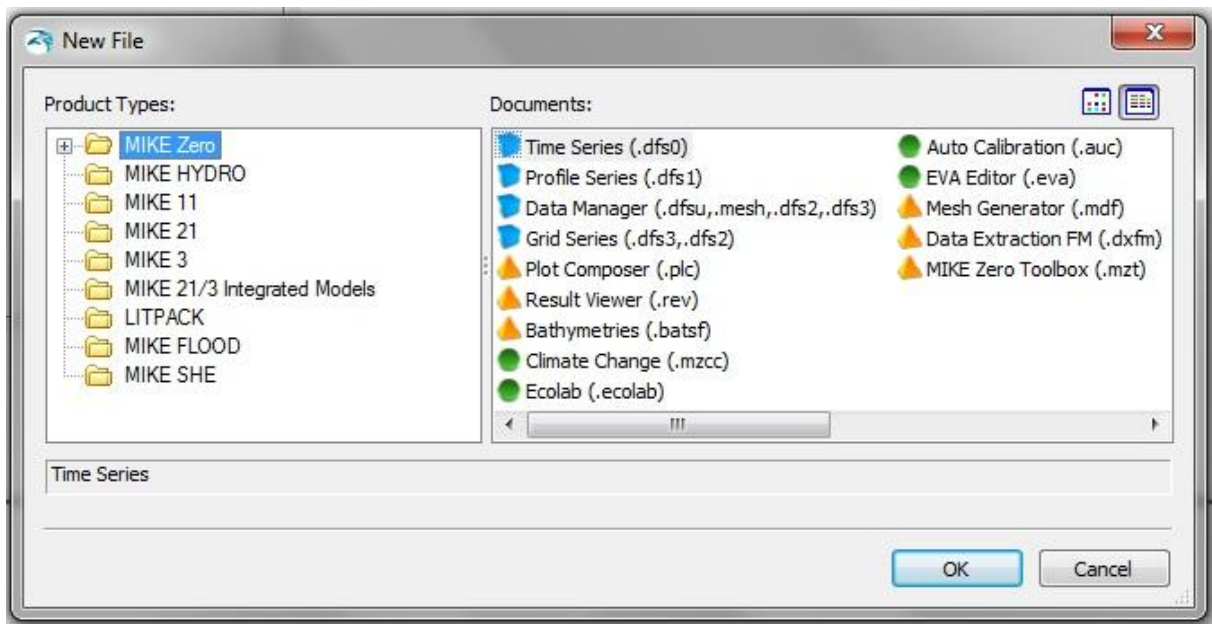
Εικόνα 5.19 Ενότητα Resistance numbers στον Cross Section Editor

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι Boundary Editors. Οι οριακές συνθήκες στο Mike 11 καθορίζονται απο συνδυασμένη χρήση δεδομένων χρονοσειρών οι οποίες έχουν δημιουργηθεί στον Time Series Editor και απο λεπτομέρειες όπως περιγραφή και τύπος των συνόρων που έχουν προσδιοριστεί στον Boundary Editor. Επομένως ο Time Series Editor και ο Boundary Editor αποτελούν τους «Boundary Editors». Και οι δύο editors είναι απαραίτητο να ενεργοποιηθούν ώστε να δημιουργηθεί μια συνοριακή συνθήκη στο Mike 11.

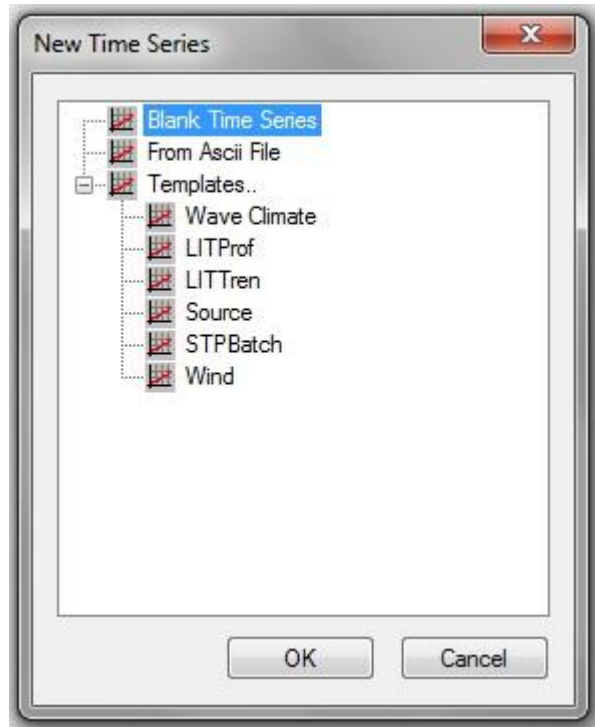
Αρχικά δημιουργήθηκε στον Time Series Editor μια χρονοσειρά παροχών (αρχείο dfs0). (βλέπε Εικόνες 5.21, 5.22 και 5.23). Οι παροχές αυτές αποτελούν προσομοιωμένες τιμές στη λεκάνη απορροής του Ντραφίου ενώ οι λεπτομέρειες του βροχομετρικού επεισοδίου φαίνονται στην Εικόνα 5. 20.

Η διαδικασία δημιουργίας του Time Series Editor είναι η εξής : File/New/file... και επιλογή στη συνέχεια Product Type → Mike Zero και Document → Time Series (. dfs0). (βλέπε Εικόνα 5.20)

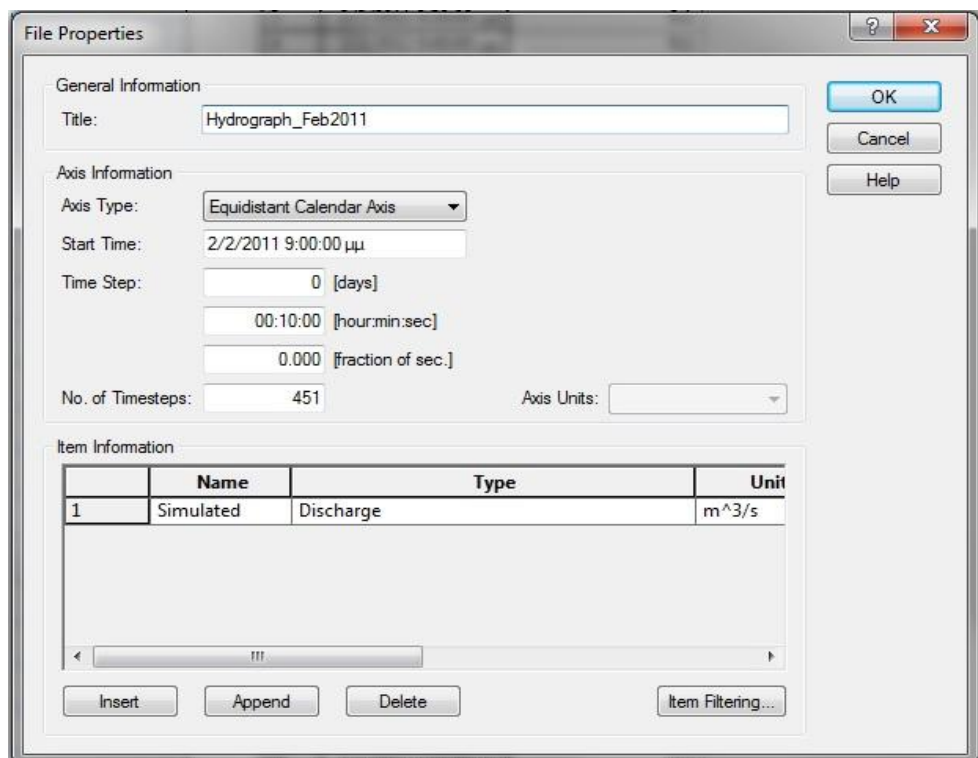


Εικόνα 5.20 Δημιουργία του Time Series Editor

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ
ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

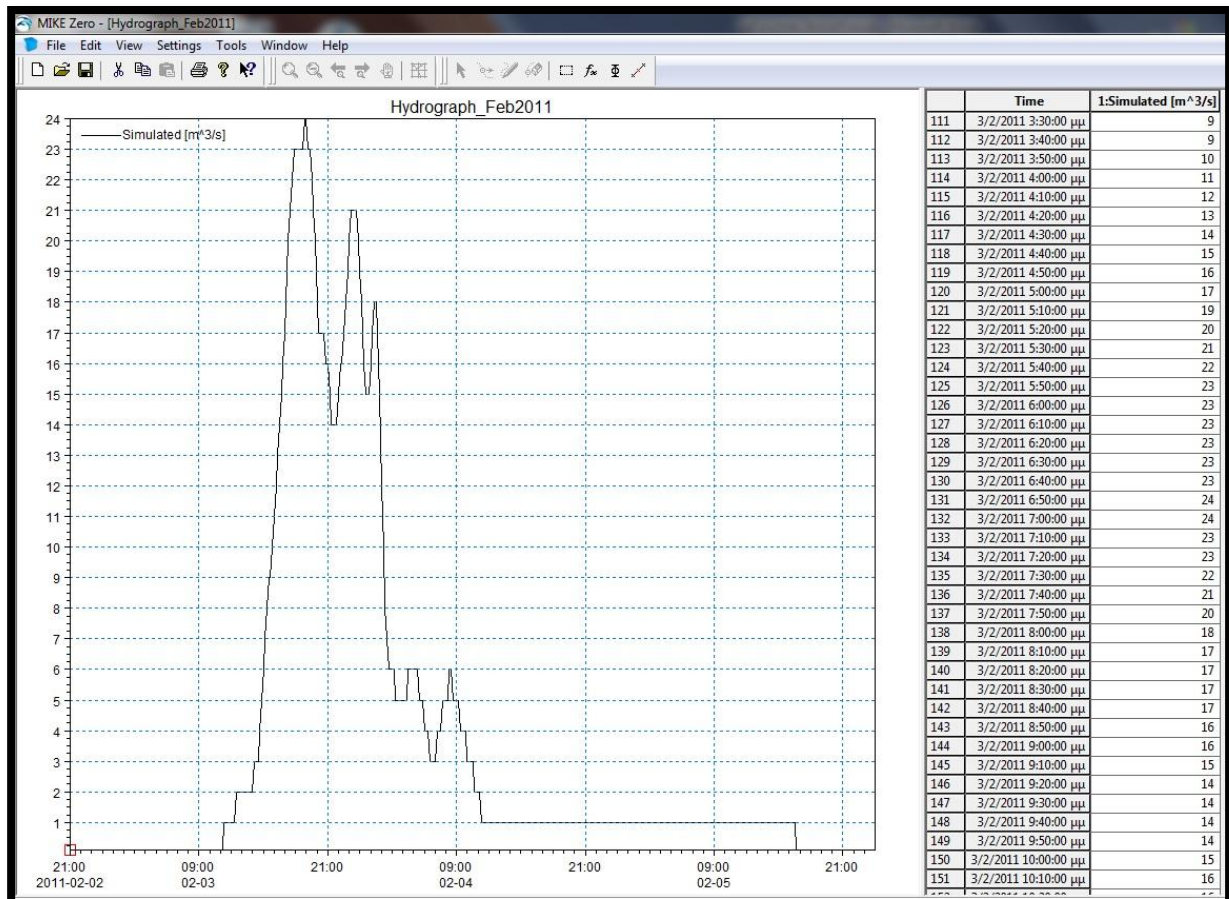


Εικόνα 5.21 Δημιουργία χρονοσειράς παροχών (αρχείο dfs0) (1)



Εικόνα 5.22 Δημιουργία χρονοσειράς παροχών (αρχείο dfs0) (2)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

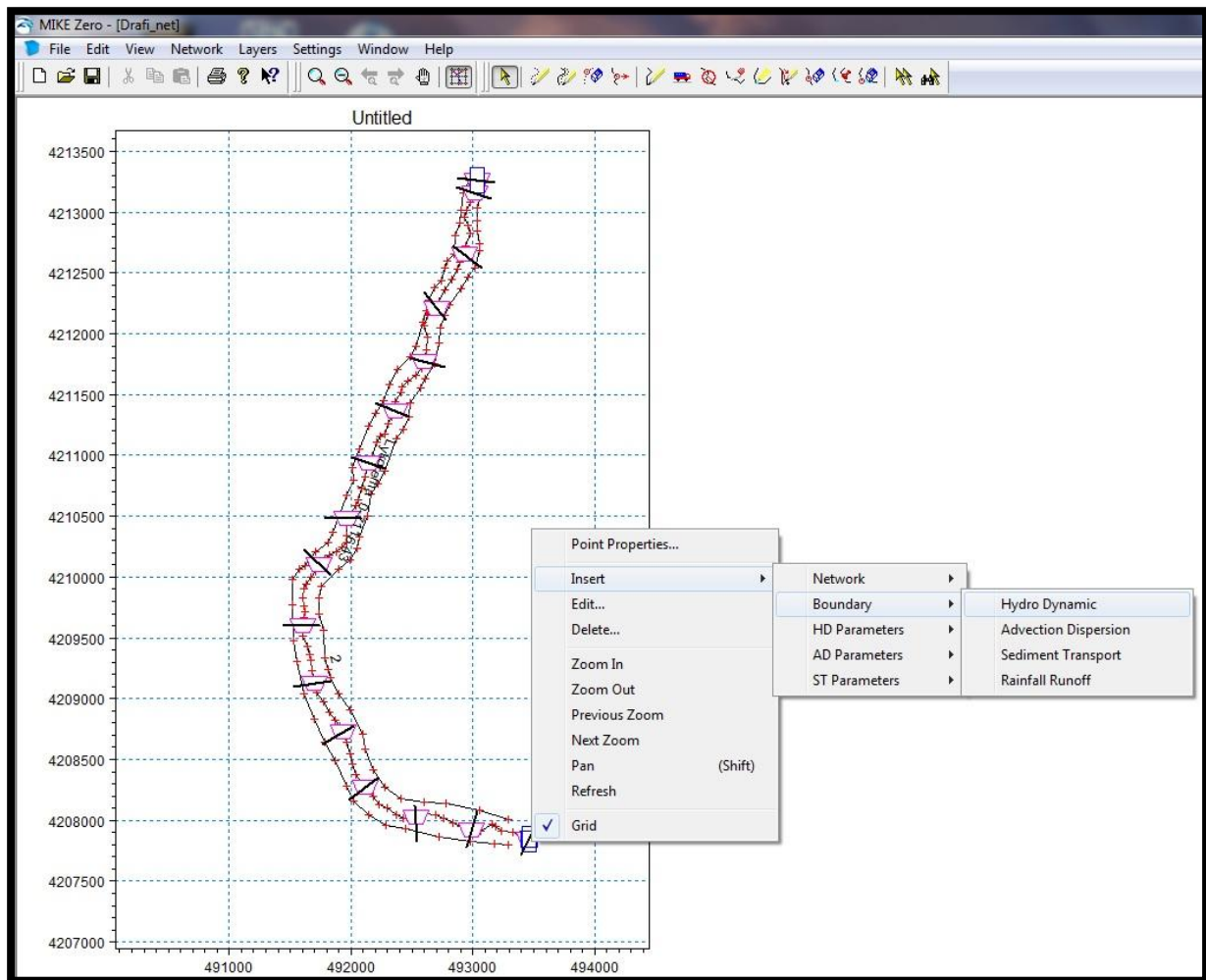


Εικόνα 5.23 Δημιουργία χρονοσειράς παροχών (αρχείο dfs0) (3)

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ο Boundary Editor. Η διαδικασία δημιουργίας του Boundary Editor είναι η εξής : File/New/file... και επιλογή στη συνέχεια Product Type → Mike 11 και Document → Boundary Condition (. bnd11) (βλέπε Εικόνα 5.3).

Αρχικά εισήχθησαν γραφικά στον River Network Editor οριακές συνθήκες στο πιο ανάντη σημείο και στην έξοδο της λεκάνης απορροής Ντραφίου ως εξής: Insert/Boundary/Hydrodynamic (βλέπε Εικόνα 5.24). Οι οριακές συνθήκες προστέθηκαν αυτόματα στον Boundary Editor.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



Εικόνα 5. 24 Εισαγωγή οριακής συνθήκης στον River Network Editor στην έξοδο της λεκάνης απορροής Ντραφίου

Έπειτα προσδιορίστηκε η «φύση» του κάθε συνόρου (Boundary description) καθώς και το «είδος» των δεδομένων που απαιτούνται για κάθε σύνορο (Boundary Type) (βλέπε Εικόνα 5. 26). Συγκεκριμένα :

➤ Στο πιο ανάντη σύνορο :

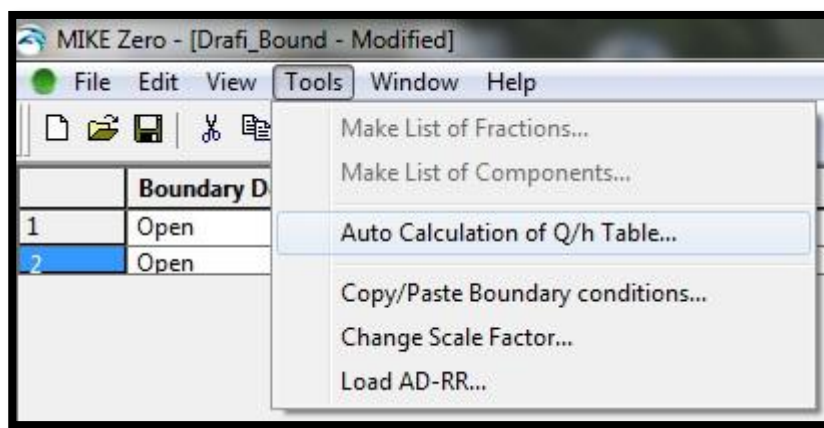
1. Boundary description → Open (γενικά μπορεί να ορισθεί στο «ελεύθερο» ανάντη και κατόντη άκρο)
2. Boundary type → Inflow (επιλέγεται όταν απαιτείται για το υδροδυναμικό μοντέλο ένα χρονικά μεταβαλλόμενο ή σταθερό με το χρόνο υδρογράφημα απορροής).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

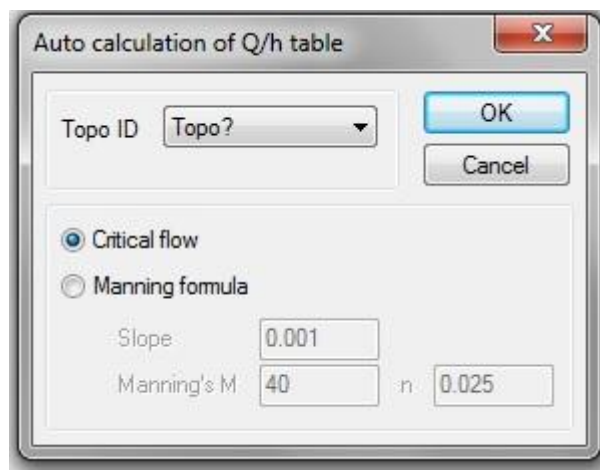
➤ Στο σύνορο στην έξοδο :

1. Boundary description → Open
2. Boundary type → Q-h (δίνει το εύρος των αποδεκτών τιμών min έως max σύμφωνα με τη γεωμετρία της διατομής)

Η διαδικασία προσδιορισμού της σχέσης Q-h είναι η εξής : Tools/Auto Calculation of Q-h Table. (βλέπε Εικόνες 5. 24 και 5. 25).

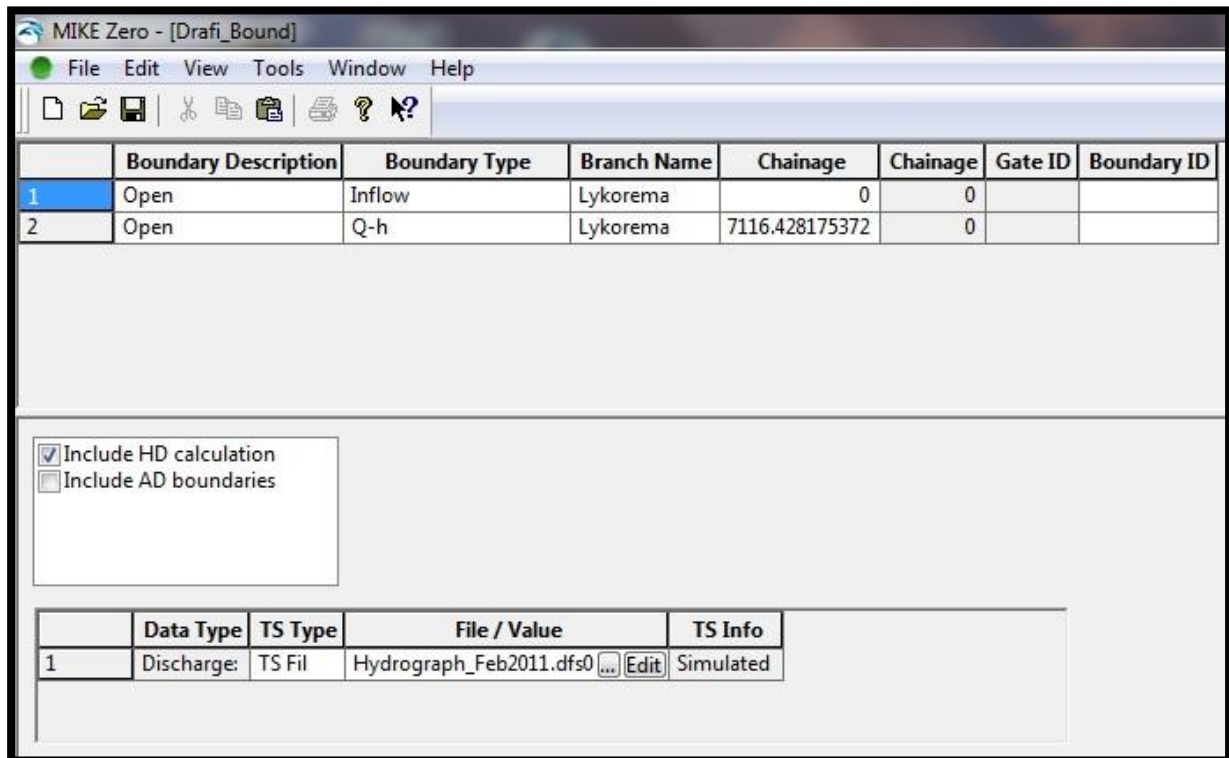


Εικόνα 5. 24 Διαδικασία προσδιορισμού της σχέσης Q-h (1)



Εικόνα 5. 25 Διαδικασία προσδιορισμού της σχέσης Q-h (2)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



Εικόνα 5. 26 Boundary Editor

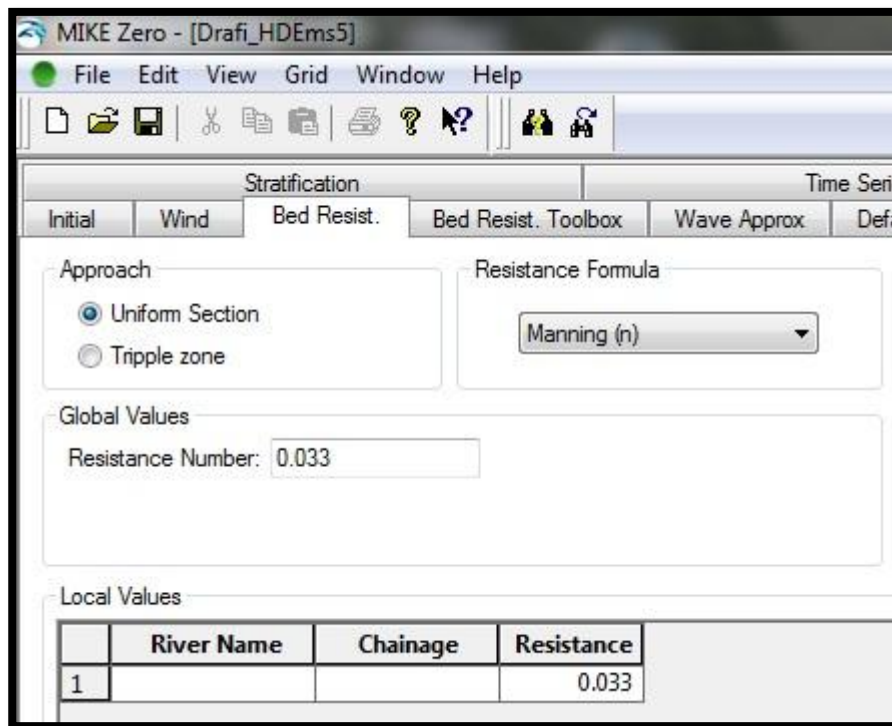
Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ο HD parameter editor ο οποίος αποτελεί έναν απο τους parameter file editors (Hydrodynamic, Advection-Dispersion, Water Quality, Rainfall Runoff) του Mike 11. Οι parameter editors περιλαμβάνουν πληροφορίες για μεταβλητές σχετικές με το μοντέλο που έχει επιλεγθεί στη καρτέλα Models του Simulation Editor (βλέπε Εικόνα 5.6).

Ο HD parameter editor περιλαμβάνει πληροφορίες για την αντίσταση του εδάφους (bed resistance) ως μια σημαντική μεταβλητή για τους υδραυλικούς υπολογισμούς. Στη προκειμένη περίπτωση απο τη στιγμή που επιλέχθηκε να «στηθεί» ένα υδροδυναμικό μοντέλο είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός HD Parameter file. Ο HD Parameter file δίνει τη δυνατότητα να προσδιοριστούν τιμές για μεταβλητές οι οποίες χρησιμοποιούνται κατα τη διάρκεια υδροδυναμικών υπολογισμών.

Η διαδικασία δημιουργίας του HD Parameters Editor είναι η εξής : File/New/file... και επιλογή στη συνέχεια Product Type → Mike 11 και Document → HD Parameters file (.hd11) (βλέπε Εικόνα 5.3).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

Όσον αφορά το συντελεστή αντίστασης του εδάφους κατά το αρχικό «στήσιμο» του μοντέλου αφέθηκε η προεπιλεγμένη τιμή $n = 0,033$ που έχει το πρόγραμμα και έχει εφαρμογή σε όλες τις διατομές κατά μήκος του ποταμού (βλέπε Εικόνα 5. 27).



Εικόνα 5.27 Προσδιορισμός συντελεστή τραχύτητας εδάφους Manning n στη καρτέλα bed resistance του HD Parameters Editor

Στη συνέχεια επεξεργάστηκε η καρτέλα Maps καθώς ζητούμενο της υδραυλικής προσομοίωσης του ποταμού στη λεκάνη απορροής Ντραφίου πέρα από την εξαγωγή καμπύλης στάθμης νερού - χρόνου στην έξοδο της λεκάνης είναι και η εξαγωγή χάρτη κατανομής βάθους νερού στη κοίτη του ποταμού και στα πλημμυρικά πεδία εκατέρωθεν (χάρτες πλημμυρικού κινδύνου). Στη καρτέλα Maps απαιτήθηκε (ενεργοποίηση επιλογής : Generate Maps) από το Mike 11 να παραχθεί χάρτης δύο διαστάσεων βασισμένος σε μονοδιάστατη προσομοίωση. Οι χάρτες κατασκευάζονται μέσω γραμμικής παρεμβολής στο διάστημα μεταξύ των σημείων του πλέγματος (grid space).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

Όσον αφορά το προσδιορισμό των μεταβλητών στη καρτέλα Maps έχουμε (βλέπε Εικόνα 5. 28) :

- Αρχή των αξόνων :

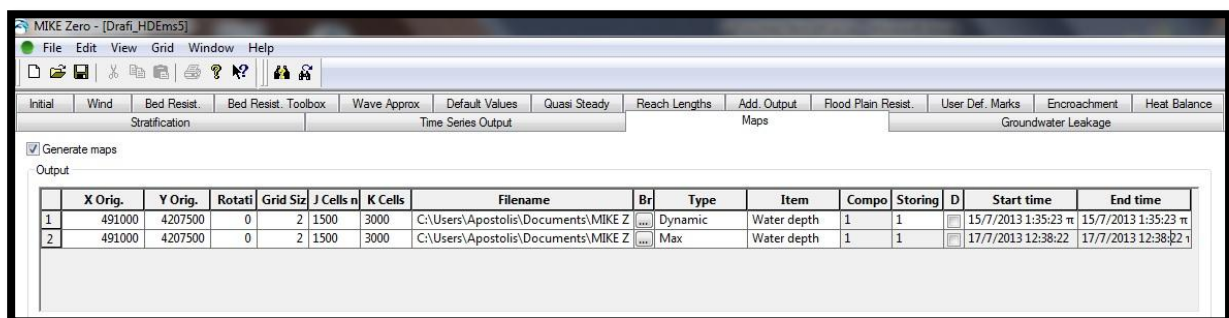
X origin: 491 000

Y origin: 4 207 500

- Grid size : 2 m (σχετικά μικρό ώστε να «πιάσει» καλύτερα τις αλλαγές στο βάθος με επίπτωση βέβαια μεγαλύτερο υπολογιστικό χρόνο)

- J cells : 1500 (για να καλύψει στη x διάσταση το μήκος της περιοχής που περικλείει το ποτάμι, δηλαδή $1500 \times 2\text{m} = 3000\text{m} = 3\text{km}$)

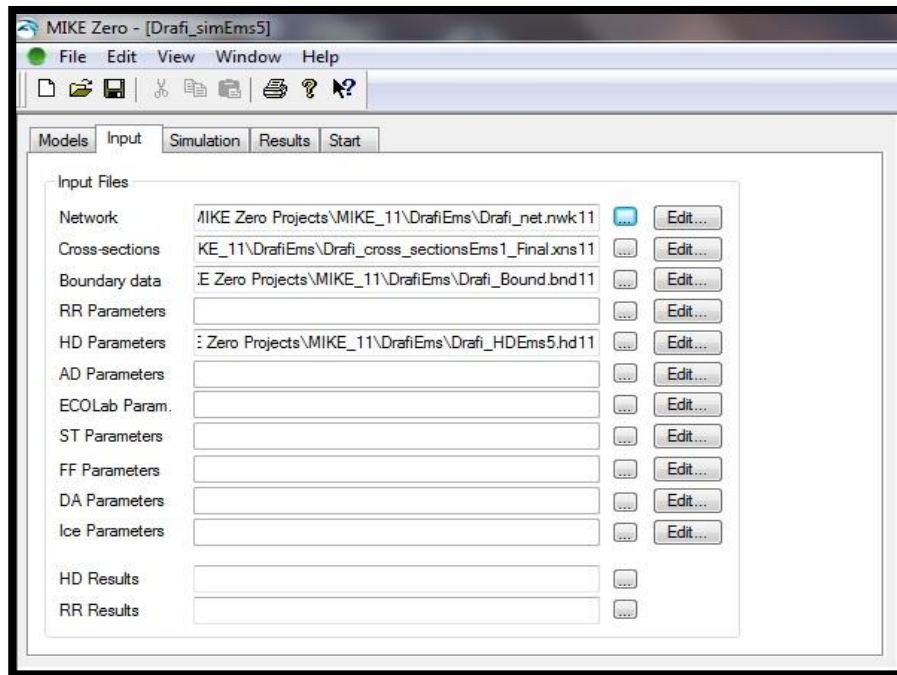
K cells: 3000 (ομοίως για να καλύψει στη y διάσταση το μήκος της περιοχής που περικλείει το ποτάμι, δηλαδή $3000 \times 2\text{m} = 6000\text{m} = 6\text{km}$)



Εικόνα 5. 28 Καρτέλα Maps στον HD Parameters Editor

Στη συνέχεια «εκλήθησαν» όλοι οι editors που δημιουργήθηκαν (Network Editor, Cross Section Editor, Boundary Editor και HD Parameters Editor) στη καρτέλα Input του Simulation Editor (βλέπε Εικόνα 5.29).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



Εικόνα 5.29 Input Property Page στον Simulation Editor

Στη συνέχεια συμπληρώθηκε η καρτέλα Simulation (βλέπε Εικόνα 5.30) του Simulation Editor. Σ' αυτή τη καρτέλα προσδιορίζονται πληροφορίες που αφορούν τη περίοδο προσομοίωσης (simulation period), το χρονικό βήμα (time step) και το τύπο αρχικών συνθηκών (type of initial condition). Συγκεκριμένα :

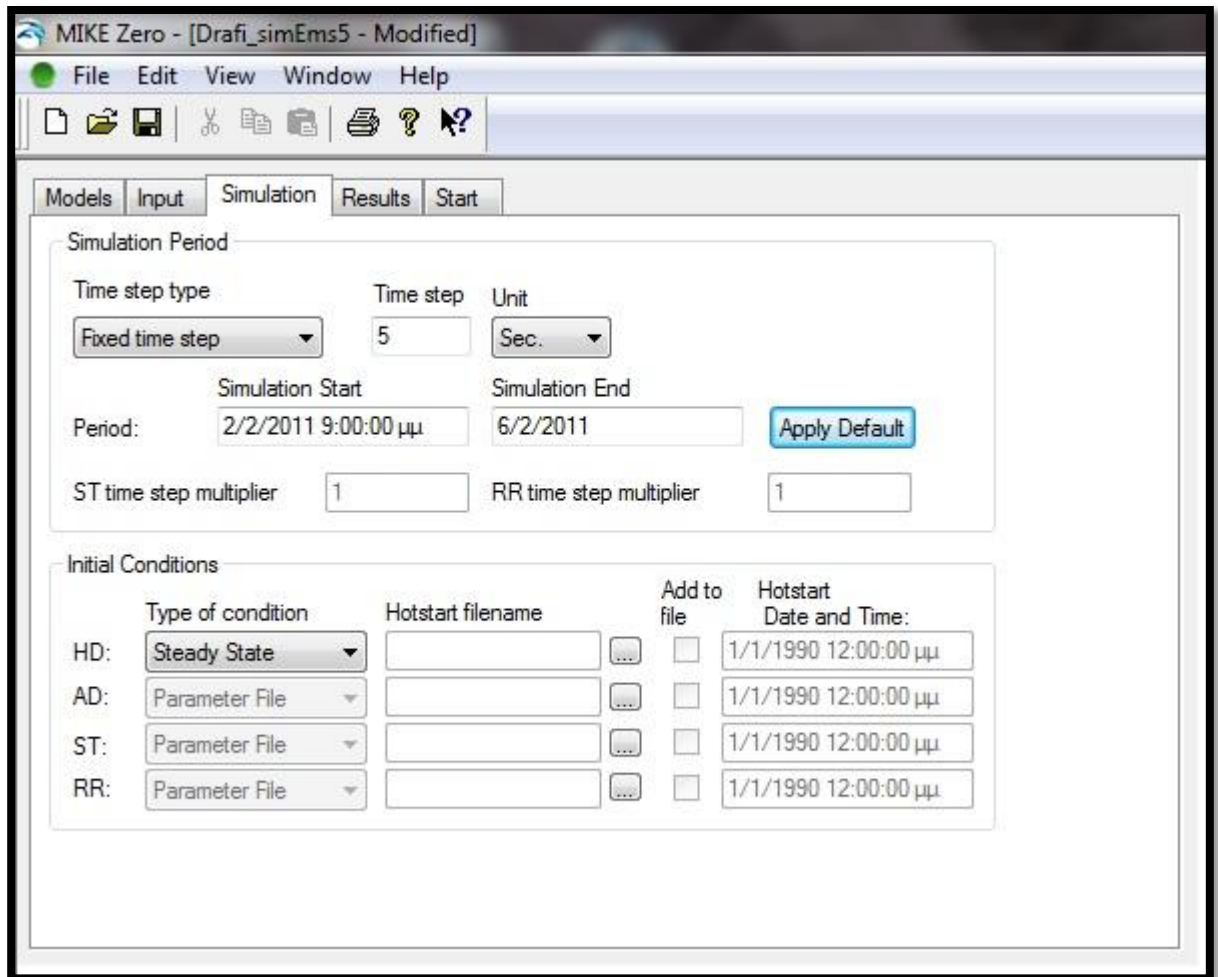
➤ Simulation Period

1. Time step type → Fixed time step
2. Time step → 5 sec (το χρονικό βήμα είναι καλό να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο, δηλαδή μερικά δευτερόλεπτα καθώς με αυτό το τρόπο επεξεργάζονται όλα τα χρονικά βήματα ανα 10λεπτο στο υδρογράφημα εισόδου και τα αποτελέσματα εν τέλει είναι πιο ακριβή)

➤ Initial conditions

1. Type of condition → Steady state (το Mike 11 υπολογίζει αυτόματα ένα προφίλ σταθερής κατάστασης για ολόκληρο το μοντέλο)

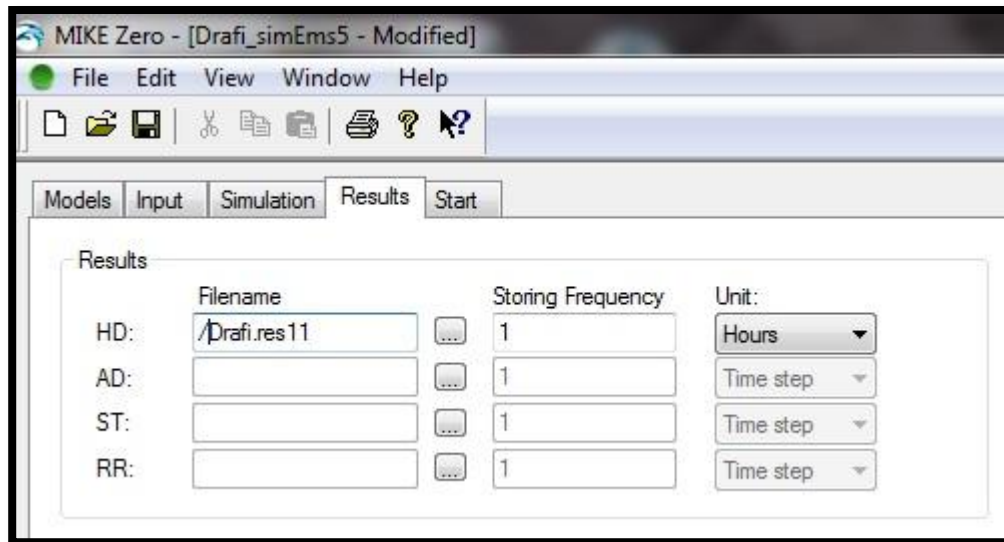
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



Εικόνα 5.30 Simulation Property Page στον Simulation Editor

Έπειτα συμπληρώθηκε η καρτέλα Results(βλέπε Εικόνα 5.31). Σ' αυτή τη καρτέλα προσδιορίζεται το όνομα των αρχείων των αποτελεσμάτων απο τη προσομοίωση καθώς και η συχνότητα με την οποία αποθηκεύονται τα αρχεία των αποτελεσμάτων (storing frequency). Δηλαδή, μειώνοντας τον αριθμό των χρονικών βημάτων μπορεί να αυξηθεί το μέγεθος των αρχείων αποτελεσμάτων.

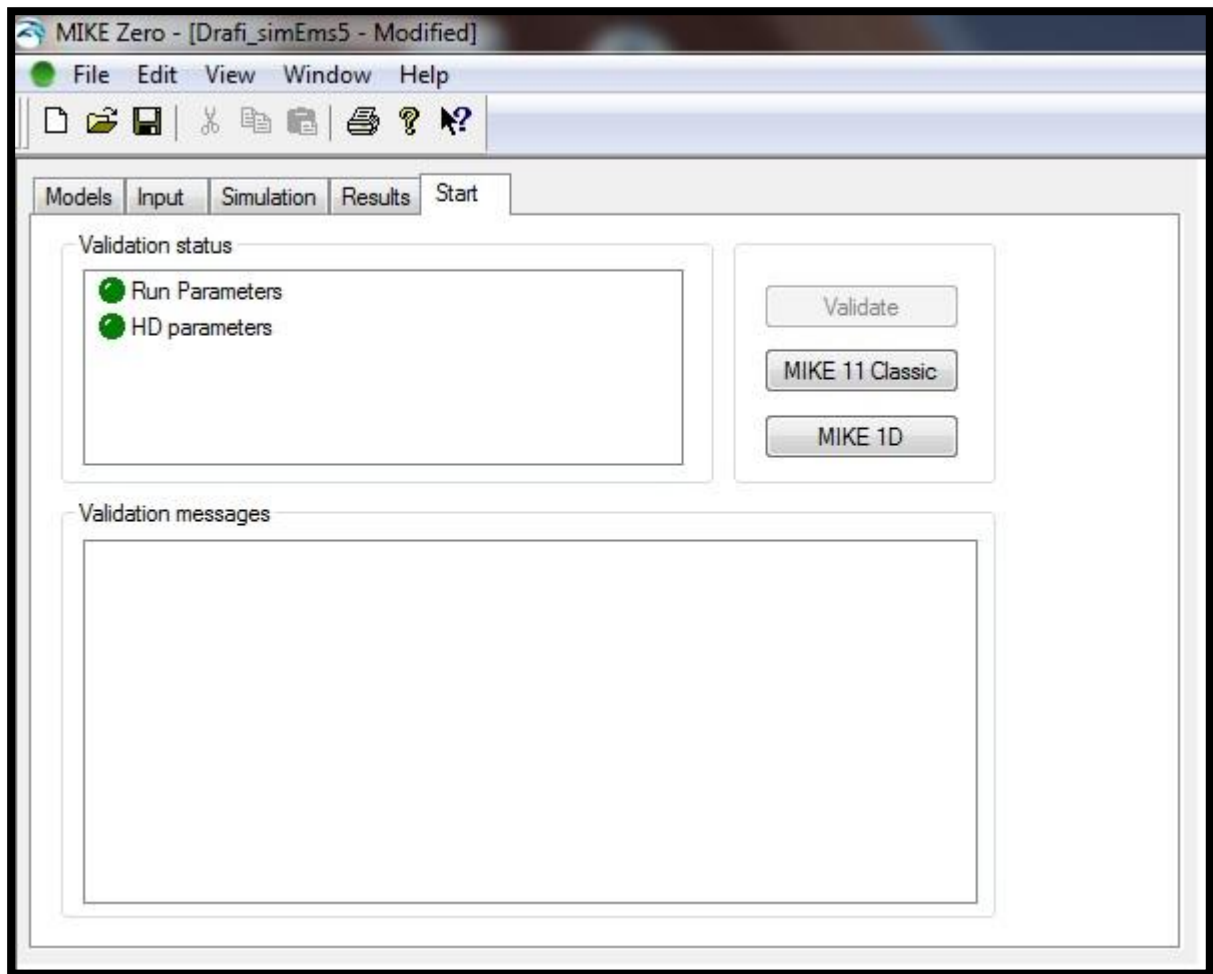
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



Εικόνα 5.31 Results Property Page του Simulation Editor

Τέλος, στη καρτέλα Start (βλέπε Εικόνα 5. 32) πληροφορείται ο χρήστης του Mike 11 όσον αφορά τη κατάσταση της προσομοίωσης. Εάν υπάρχει κάποιο πρόβλημα ένα κόκκινο σύμβολο εμφανίζεται στο validation group και δεν είναι εφικτό να ξεκινήσει η προσομοίωση. Στη περίπτωση που όλα τα δεδομένα που έχουν εισαχθεί είναι ικανοποιητικά ένα πράσινο σύμβολο εμφανίζεται οπότε είναι εφικτό να ξεκινήσει η προσομοίωση πατώντας την εκκίνηση της μηχανής προσομοίωσης Mike 11 Classic.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ
ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



Εικόνα 5. 32 Start Property Page στον Simulation Editor

5.2 ΕΞΑΓΩΓΗ ΠΡΩΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Αφού «στήθηκε» το μοντέλο στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιώσει την υδραυλική απόκριση της λεκάνης απορροής Ντραφίου σε δεδομένα πλημμυρογραφήματα. Τα πλημμυρογραφήματα αυτά προέκυψαν απο τα παρακάτω βροχομετρικά επεισόδια. Για τα συγκεκριμένα βροχομετρικά επεισόδια υπάρχουν διαθέσιμες παρατηρημένες τιμές της στάθμης στην έξοδο της λεκάνης οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για τη βαθμονόμηση του μοντέλου.

Βροχομετρικά επεισόδια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν :

- 9/12/2009 (21:00) – 12/12/2009 (12:00)
- 2/2/2011 (21:00) – 6/2/2011 (00:00)
- 5/2/2012 (21:00) – 8/2/2012 (23:50)
- 28/12/2012 (21:00) – 1/1/2013 (23:50)
- 21/2/2013 (21:00) – 24/2/2013 (00:00)

Η εμφάνιση των αποτελεσμάτων έγινε μέσω του «εργαλείου» Mike View του Mike 11 (βλέπε Εικόνα 5.33).



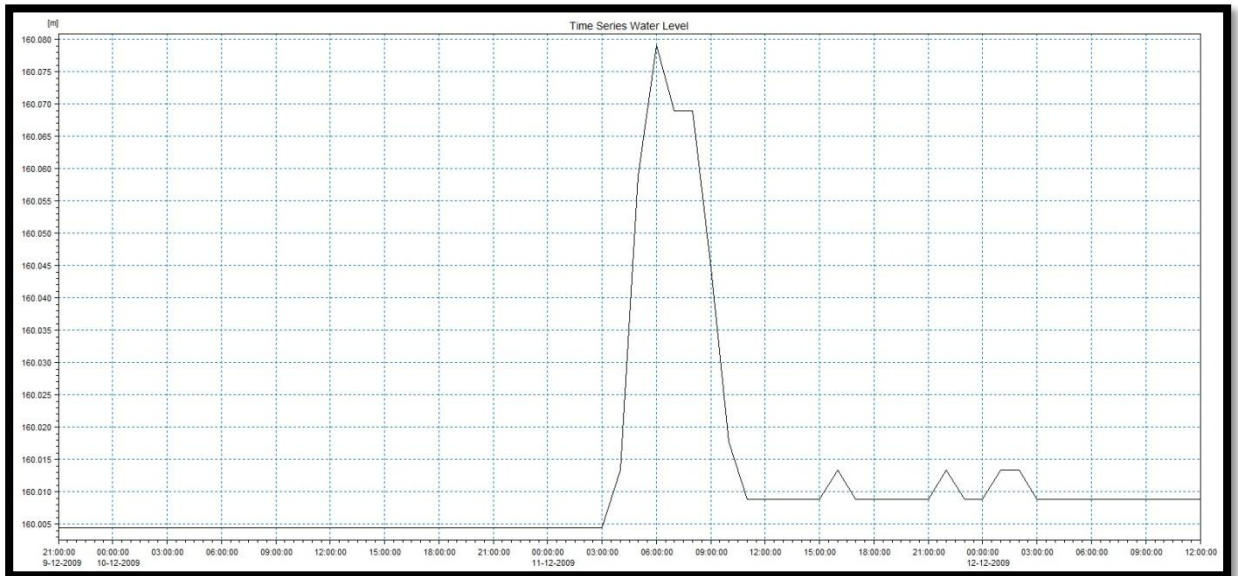
Εικόνα 5.33 Mike View – Εργαλείο εμφάνισης αποτελεσμάτων του Mike 11

Τα ζητούμενα αποτελέσματα σε κάθε περίπτωση είναι :

- Καμπύλη στάθμης-χρόνου στην διατομή στην έξοδο της λεκάνης απορροής
- Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

5.2.1 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 9/12/2009 – 12/12/2009

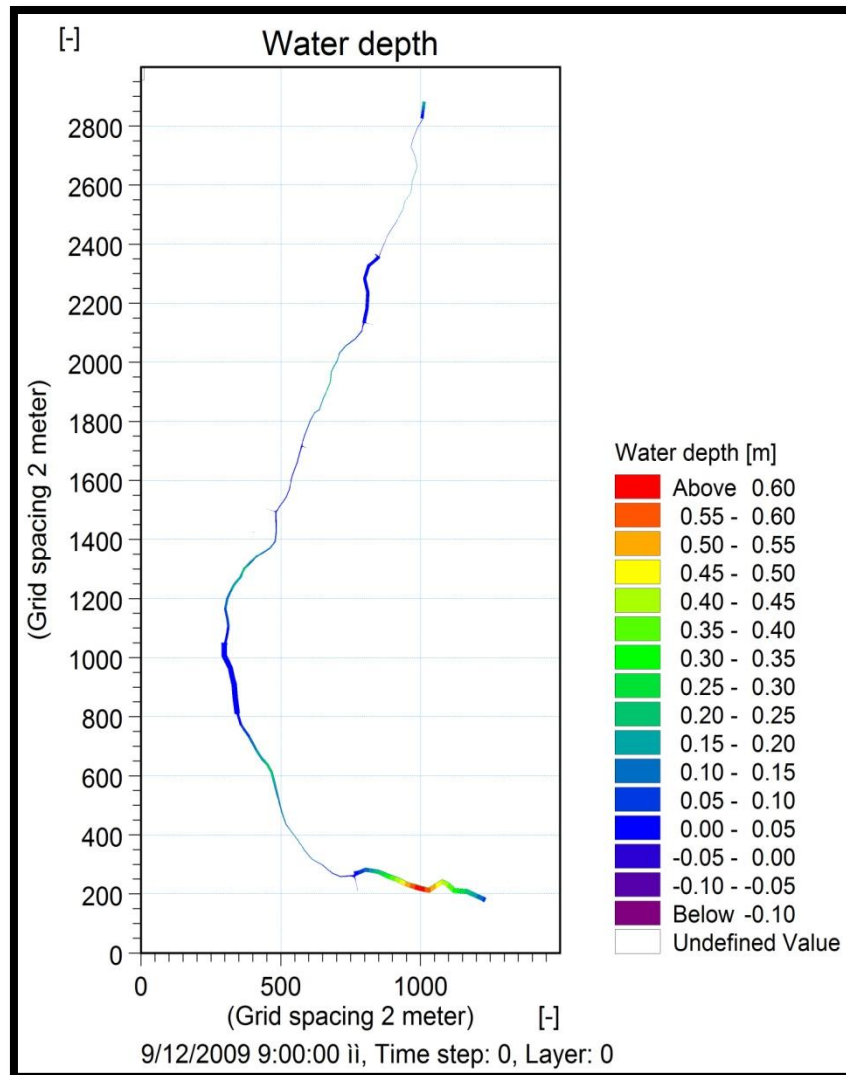


Εικόνα 5.34 Καμπύλη στάθμης-χρόνου στην διατομή στην έξοδο της λεκάνης απορροής

Στο παραπάνω γράφημα το οποίο εξήχθη απο το Mike View λήφθηκε υπόψη το Απόλυτο Υψόμετρο Εδάφους της διατομής ίσο με 160 m. Παρατηρείται ότι η μέγιστη στάθμη σημειώθηκε στις 11/12/2009 (06:00) και ήταν ίση με 0,08 m.

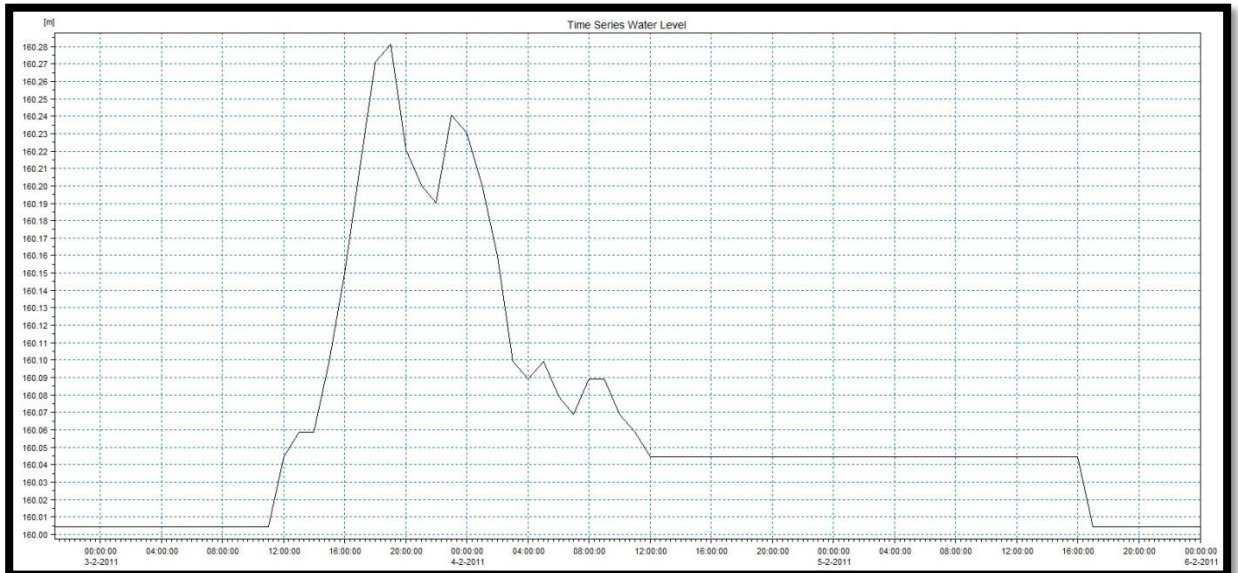
Παρακάτω παρατίθεται ο χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου (Εικόνα 5.35).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ
ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



Εικόνα 5.35 Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη
λεκάνη απορροής Ντραφίου

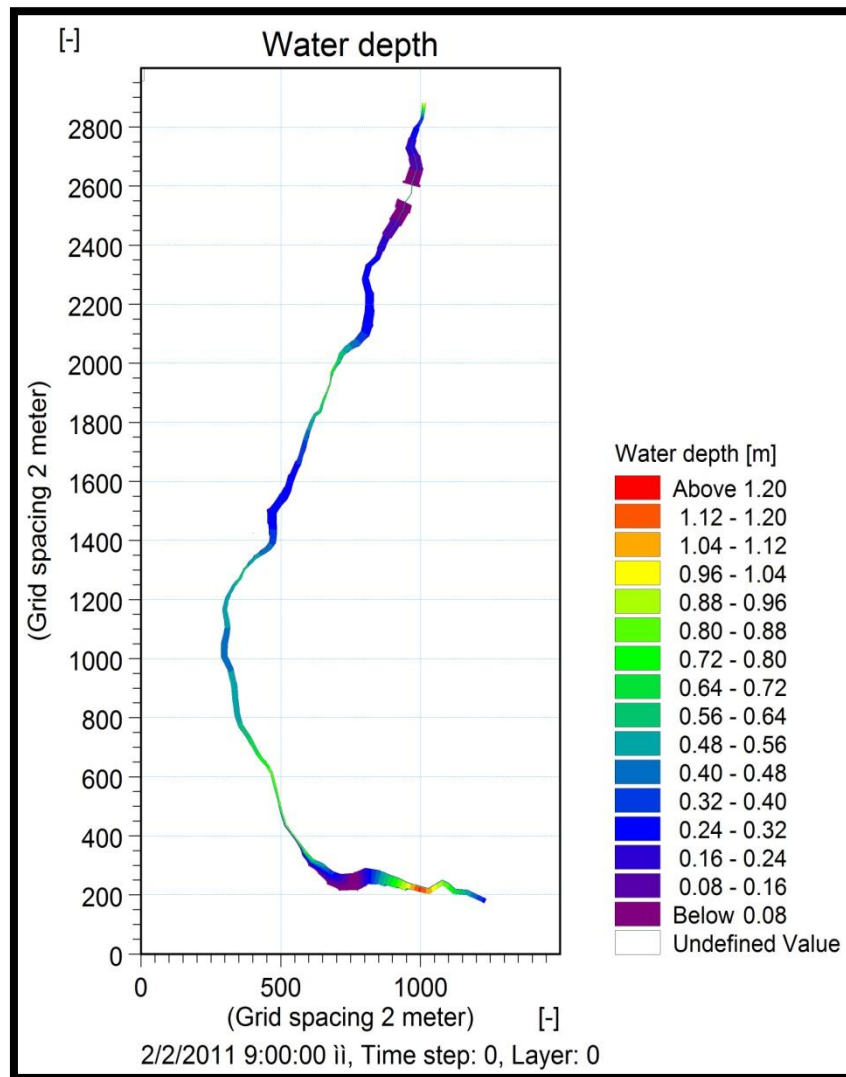
5.2.2 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 2/2/2011 – 6/2/2011



Εικόνα 5.36 Καμπύλη στάθμης-χρόνου στην διατομή στην έξοδο της λεκάνης απορροής

Στο παραπάνω γράφημα το οποίο εξήχθη από το Mike View λήφθηκε υπόψη το Απόλυτο Υψόμετρο Εδάφους της διατομής ίσο με 160 m. Παρατηρείται ότι η μέγιστη στάθμη σημειώθηκε στις 3/2/2011 (19:00) και ήταν ίση με 0,28 m.

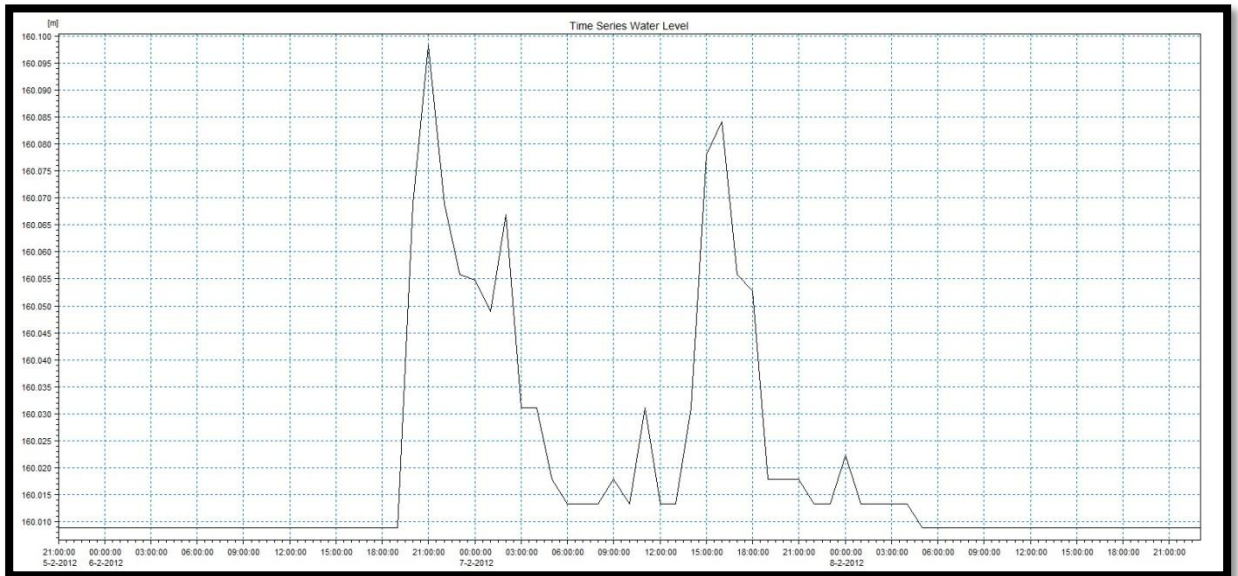
Παρακάτω παρατίθεται ο χάρτης κατανομής μέγιστου βάρους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου (Εικόνα 5.37).



Εικόνα 5. 37 Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

5.2.3 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 5/2/2012 – 8/2/2012

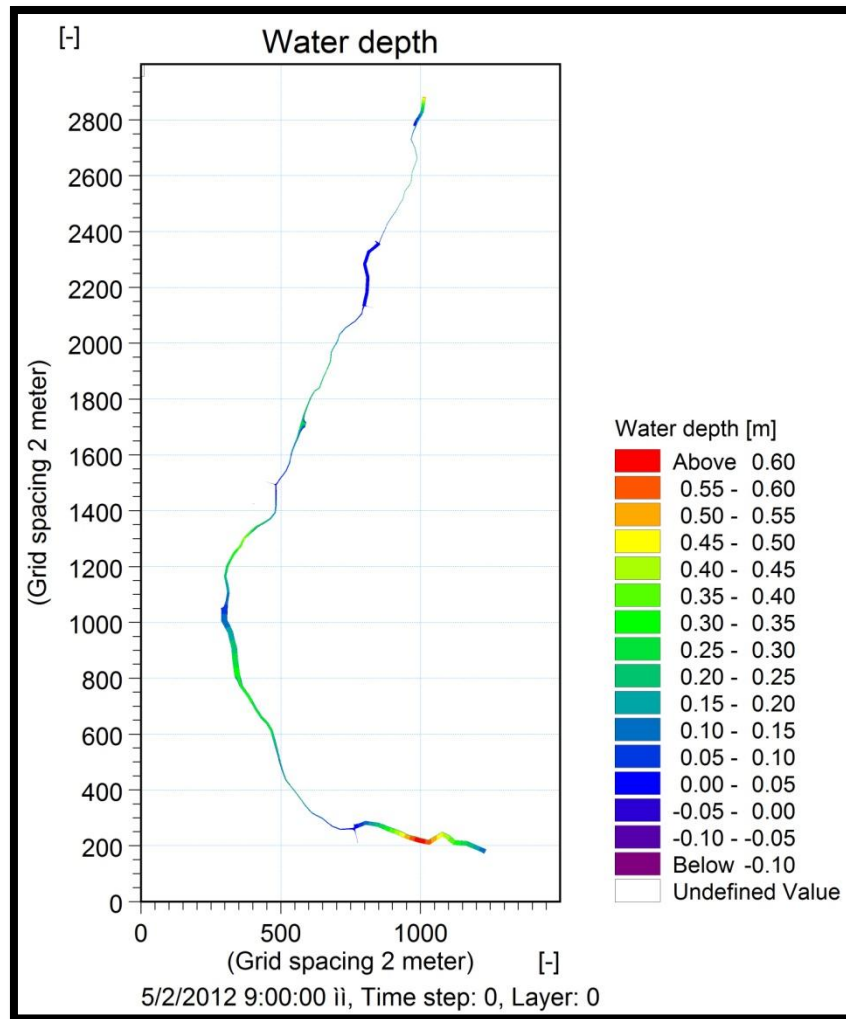


Εικόνα 5.38 Καμπύλη στάθμης-χρόνου στην διατομή στην έξοδο της λεκάνης απορροής

Στο παραπάνω γράφημα το οποίο εξήχθη απο το Mike View λήφθηκε υπόψη το Απόλυτο Υψόμετρο Εδάφους της διατομής ίσο με 160 m. Παρατηρείται ότι η μέγιστη στάθμη σημειώθηκε στις 6/2/2012 (21:00) και ήταν ίση με 0,098 m.

Παρακάτω παρατίθεται ο χάρτης κατανομής μέγιστου βάρους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου (Εικόνα 5. 39).

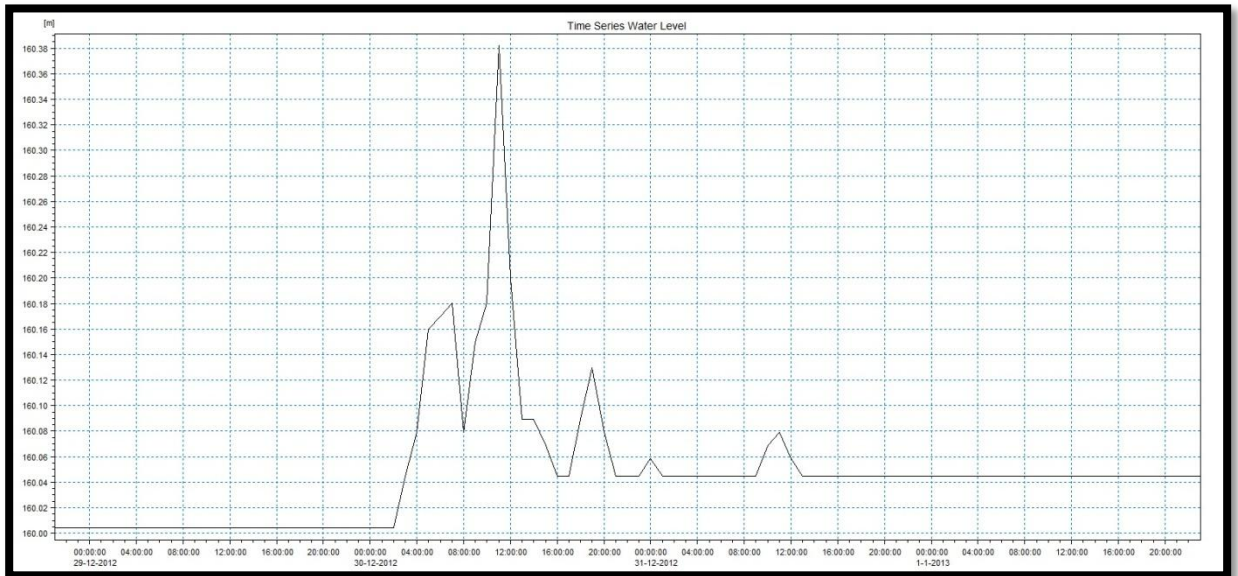
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ
ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



Εικόνα 5.39 Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

5.2.4 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 28/12/2012 – 1/1/2013

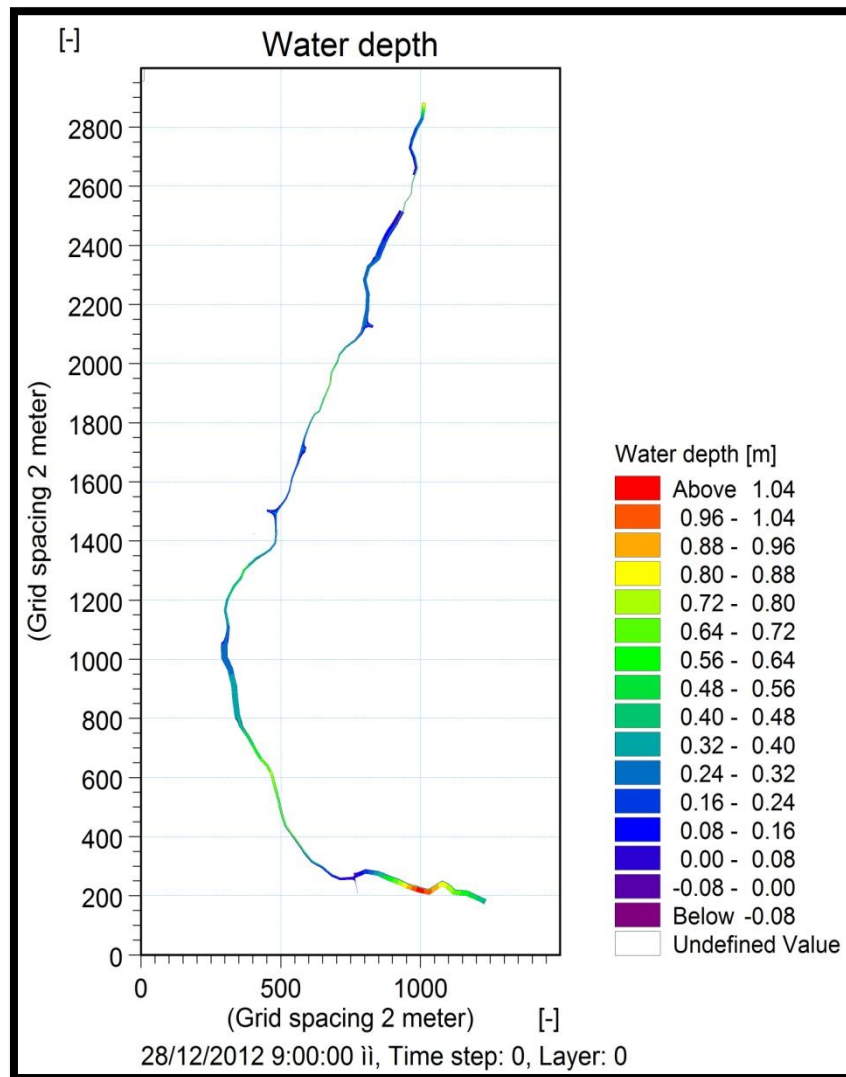


Εικόνα 5.40 Καμπύλη στάθμης-χρόνου στην διατομή στην έξοδο της λεκάνης απορροής

Στο παραπάνω γράφημα το οποίο εξήχθη απο το Mike View λήφθηκε υπόψη το Απόλυτο Υψόμετρο Εδάφους της διατομής ίσο με 160 m. Παρατηρείται ότι η μέγιστη στάθμη σημειώθηκε στις 30/12/2012 (19:00) και ήταν ίση με 0, 38 m.

Παρακάτω παρατίθεται ο χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου (Εικόνα 5.41).

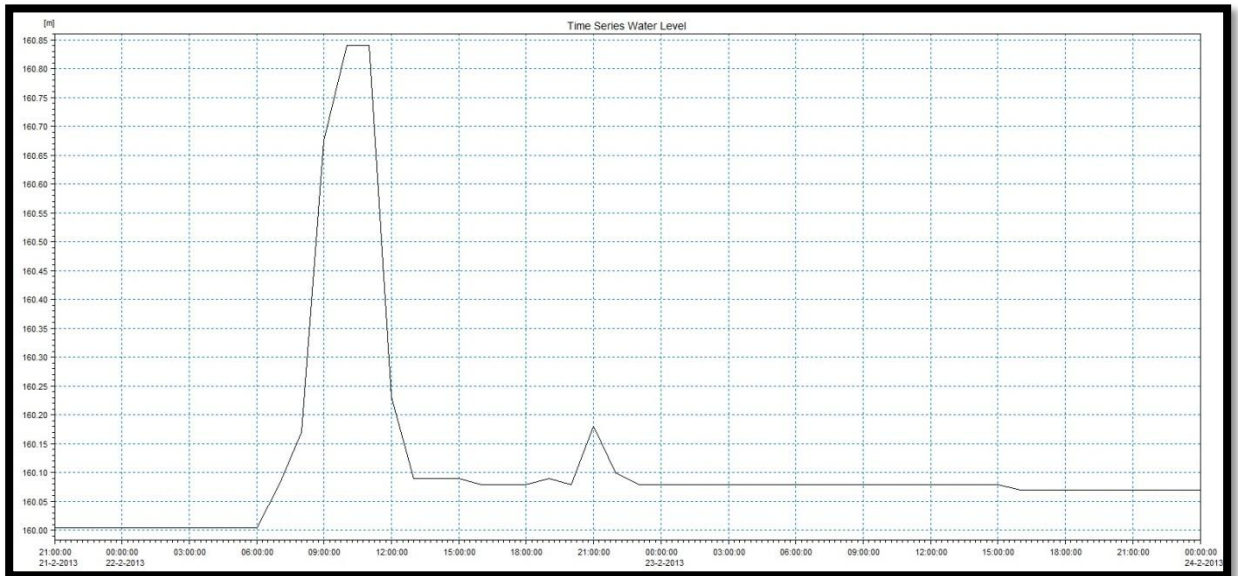
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ
ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



Εικόνα 5.41 Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη
λεκάνη απορροής Ντραφίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

5.2.5 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 21/2/2013 – 24/2/2013

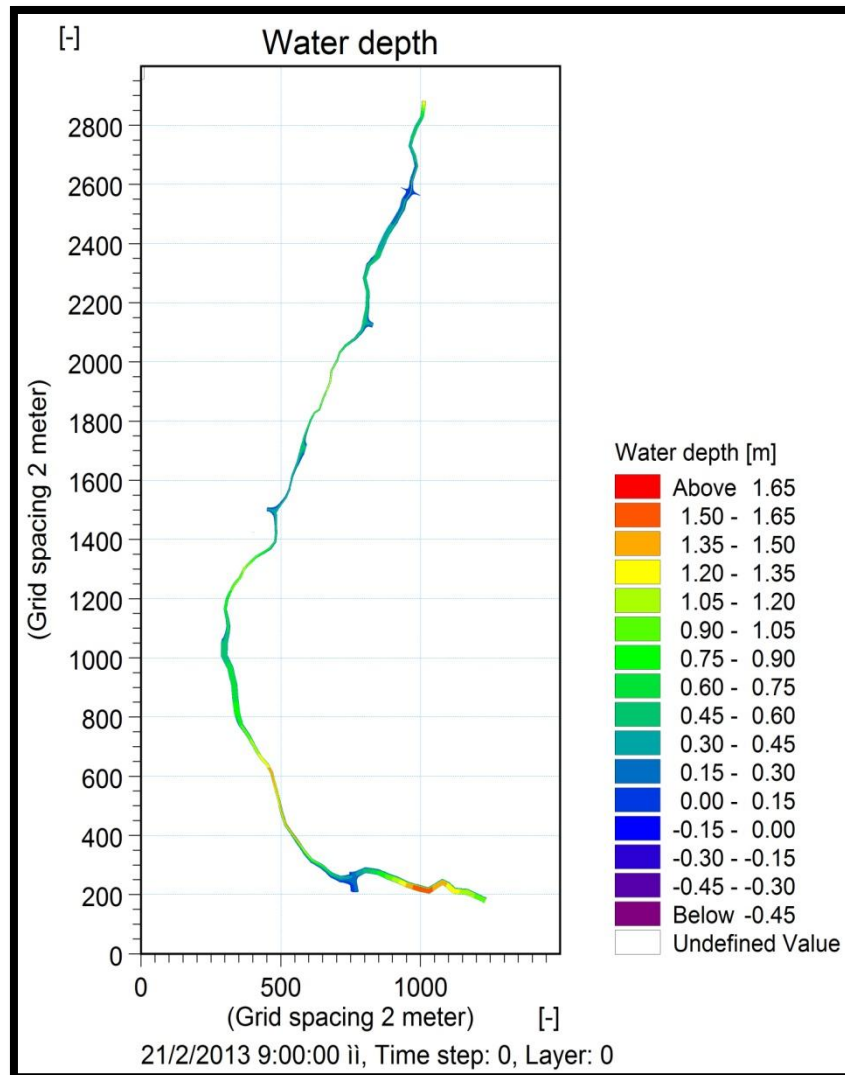


Εικόνα 5.42 Καμπύλη στάθμης-χρόνου στην διατομή στην έξοδο της λεκάνης απορροής

Στο παραπάνω γράφημα το οποίο εξήχθη από το Mike View λήφθηκε υπόψη το Απόλυτο Υψόμετρο Εδάφους της διατομής ίσο με 160 m. Παρατηρείται ότι η μέγιστη στάθμη σημειώθηκε στις 22/2/2013 (10:00-11:00) και ήταν ίση με 0, 85 m.

Παρακάτω παρατίθεται ο χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου (Εικόνα 5.43).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ
ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI



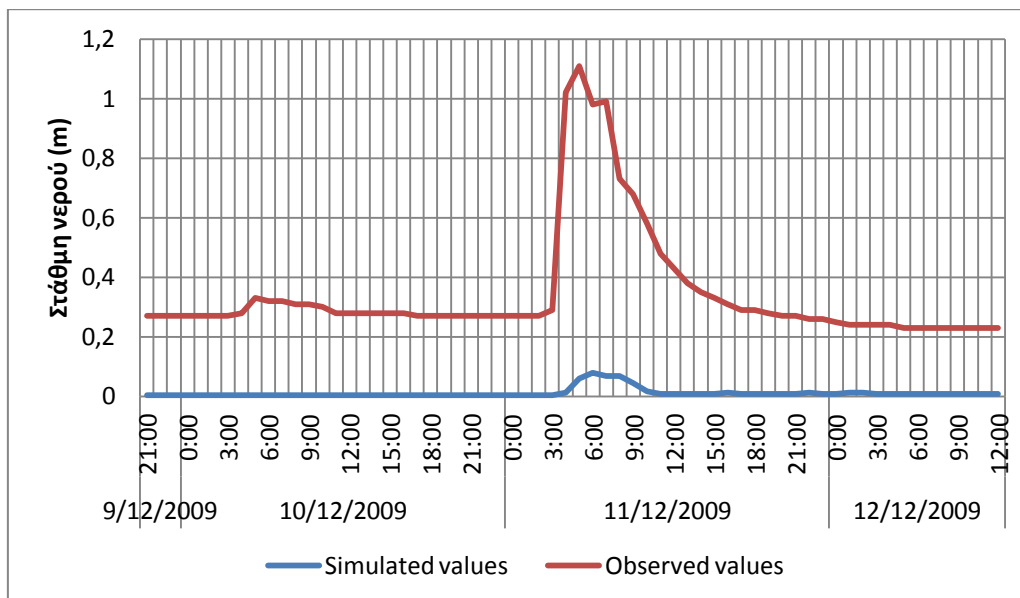
Εικόνα 5.43 Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη
λεκάνη απορροής Ντραφίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΠΡΩΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ

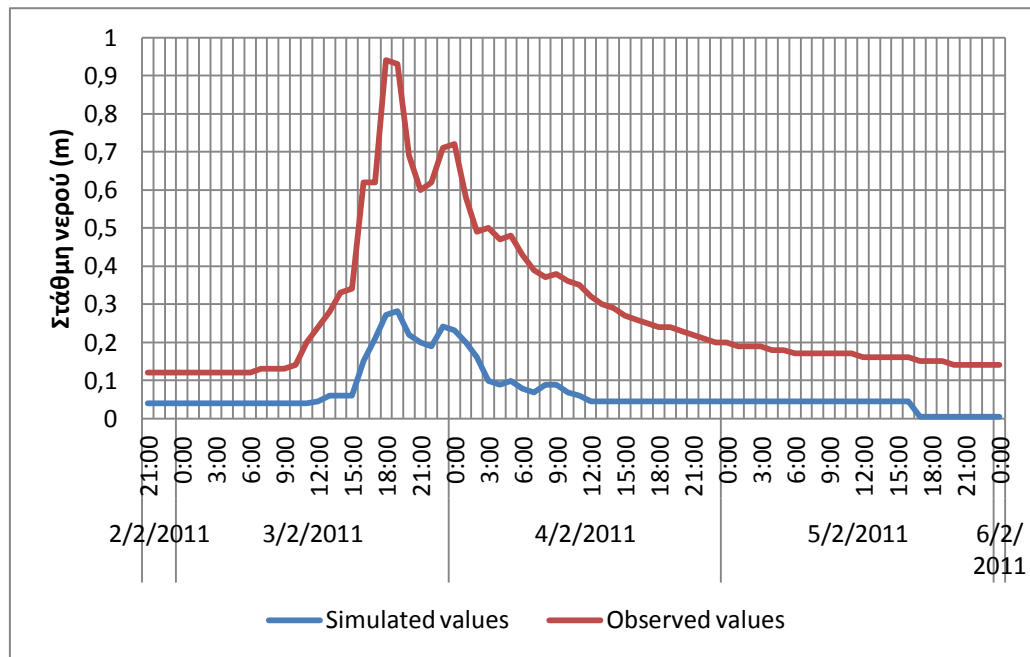
Στη συγκεκριμένη ενότητα παρατίθενται κατά σειρά διαγράμματα για κάθε βροχομετρικό επεισόδιο αντίστοιχα όπου γίνεται σύγκριση της καμπύλης των προσομοιωμένων τιμών της στάθμης του νερού στην έξοδο της λεκάνης με τη καμπύλη των αντίστοιχων παρατηρημένων τιμών.

5.3.1 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 9/12/2009 – 12/12/2009



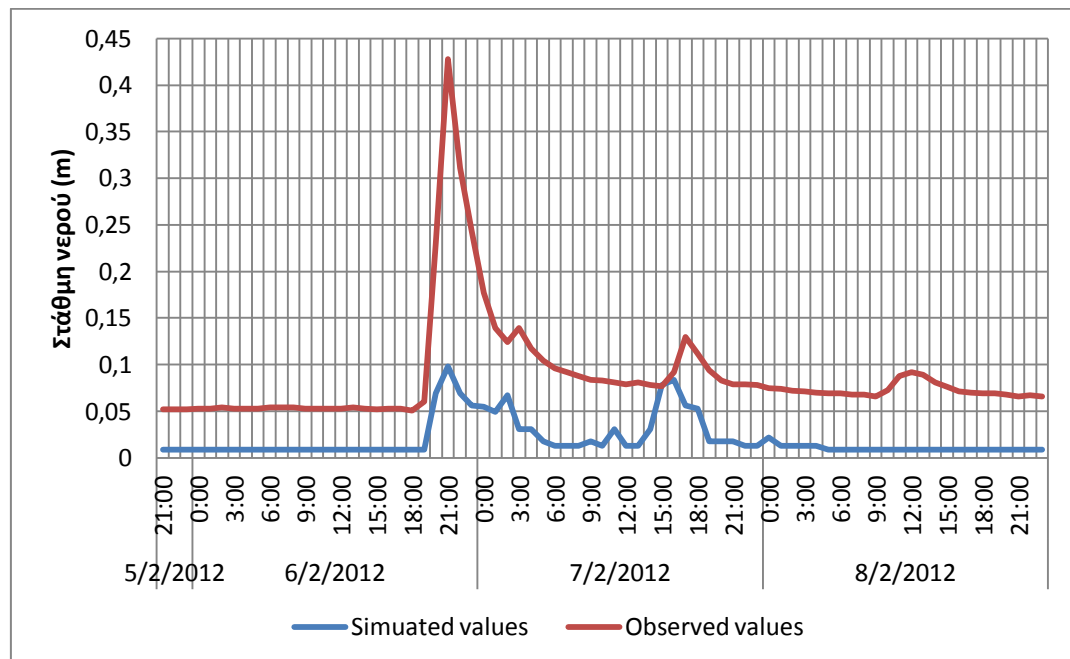
Διάγραμμα 5.1 Σύγκριση καμπυλών προσομοιωμένων και παρατηρημένων τιμών της στάθμης του νερού στην έξοδο της λεκάνης

5.3.2 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 2/2/2011 – 6/2/2011



Διάγραμμα 5.2 Σύγκριση καμπυλών προσομοιωμένων και παρατηρημένων τιμών της στάθμης του νερού στην έξοδο της λεκάνης

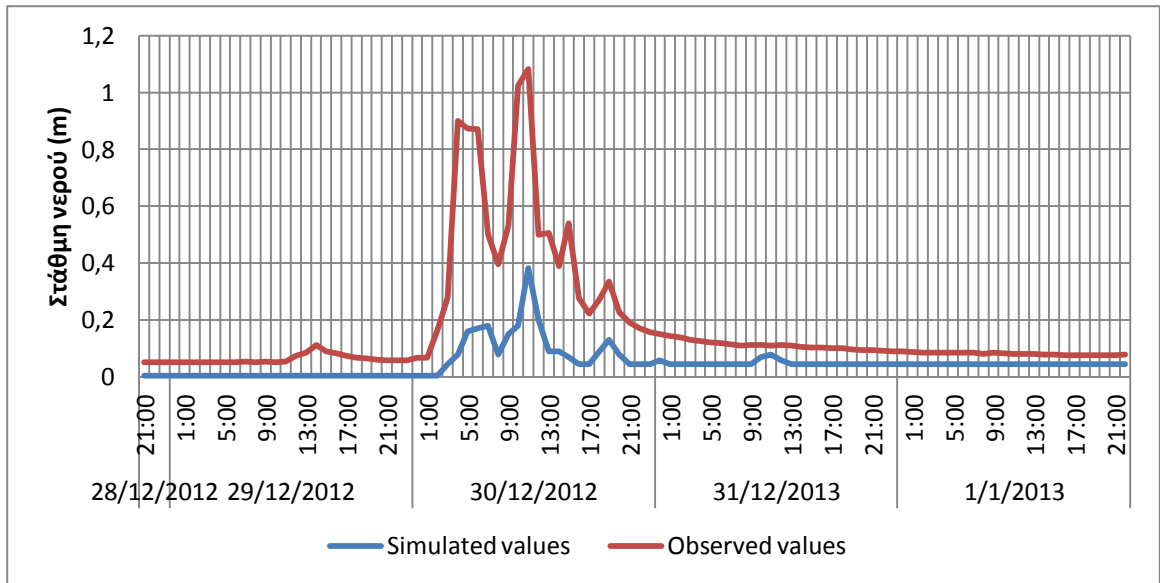
5.3.3 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 5/2/2012 – 8/2/2012



Διάγραμμα 5.3 Σύγκριση καμπυλών προσομοιωμένων και παρατηρημένων τιμών της στάθμης του νερού στην έξοδο της λεκάνης

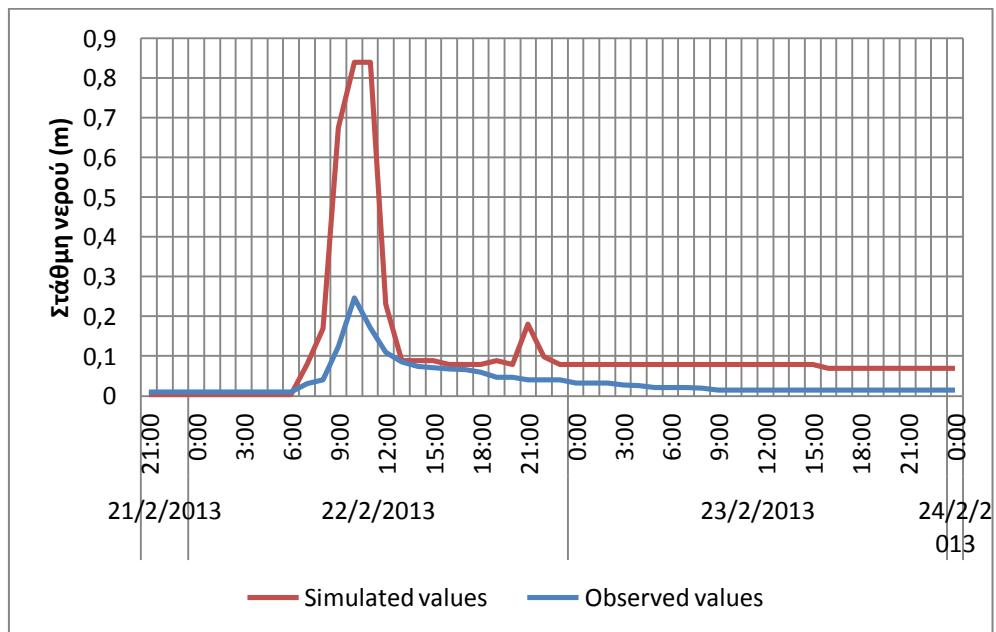
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

5.3.4 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 28/12/2012 – 1/1/2013



Διάγραμμα 5.4 Σύγκριση καμπυλών προσομοιωμένων και παρατηρημένων τιμών της στάθμης του νερού στην έξοδο της λεκάνης

5.3.5 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 21/2/2013 – 24/2/2013



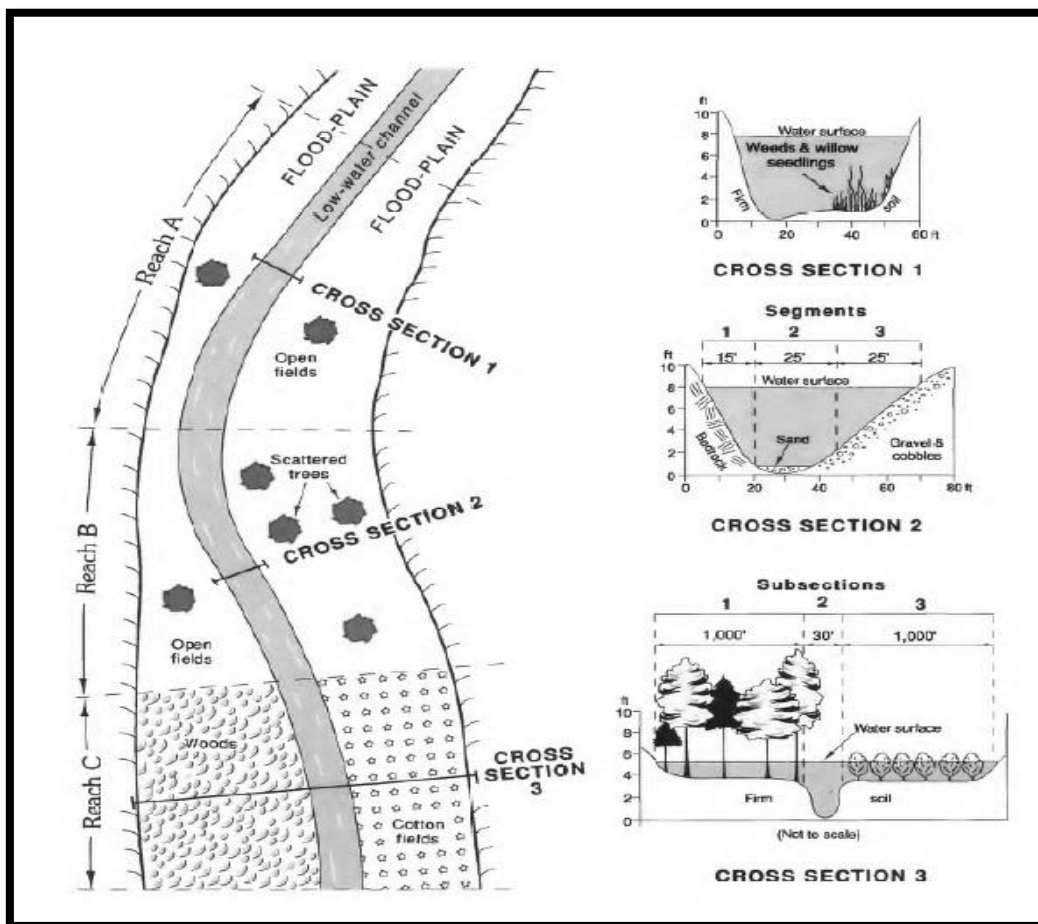
Διάγραμμα 5.5 Σύγκριση καμπυλών προσομοιωμένων και παρατηρημένων τιμών της στάθμης του νερού στην έξοδο της λεκάνης

5.4 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ο όρος βαθμονόμηση (calibration) προέρχεται από τις στατιστικές επιστήμες, και υποδηλώνει μια συστηματική διαδικασία προσαρμογής των τιμών των παραμέτρων ενός υδρολογικού/υδραυλικού μοντέλου, έτσι ώστε οι προσομοιωμένες αποκρίσεις του να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν περισσότερο τις αντίστοιχες παρατηρημένες τιμές (Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, 2009).

Στη προκειμένη περίπτωση για τη βαθμονόμηση του υδραυλικού μοντέλου για σχεδόν μόνιμη ροή (quasi steady flow) η μοναδική παράμετρος που εξετάστηκε ήταν ο συντελεστής τραχύτητας Manning n ο οποίος είναι αδιάστατος και η τιμή του εξαρτάται από το υλικό που υπάρχει στα πρανή και τον πυθμένα (καλύψεις γής).

Στη παρακάτω Εικόνα 5. 44 αναπαριστάται σχηματικά μια υποθετική περιοχή ενός καναλιού με τα πλημμυρικά πεδία καθώς και των διατομών όπου φαίνονται οι υποδιαιρέσεις τμημάτων τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το προσδιορισμό των τιμών n .



Εικόνα 5. 44 Υποθετική περιοχή ενός ποταμού με τα πλημμυρικά πεδία και διατομές υποδιαιρέμενες σε τμήματα (G. Arcement, 1989)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

Ο προσδιορισμός των τιμών n μπορεί να γίνει σύμφωνα με τον Πίνακα Chow (βλέπε Εικόνες 5.45, 5.46).

Manning's n for Channels (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
2. Mountain streams, no vegetation in channel, banks usually steep, trees and brush along banks submerged at high stages			
a. bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070

Εικόνα 5.45 Προσδιορισμός τιμής συντελεστή Manning n ανάλογα με το είδος εδάφους στη κοίτη ενός ποταμού (<http://www.fsl.orst.edu/>)

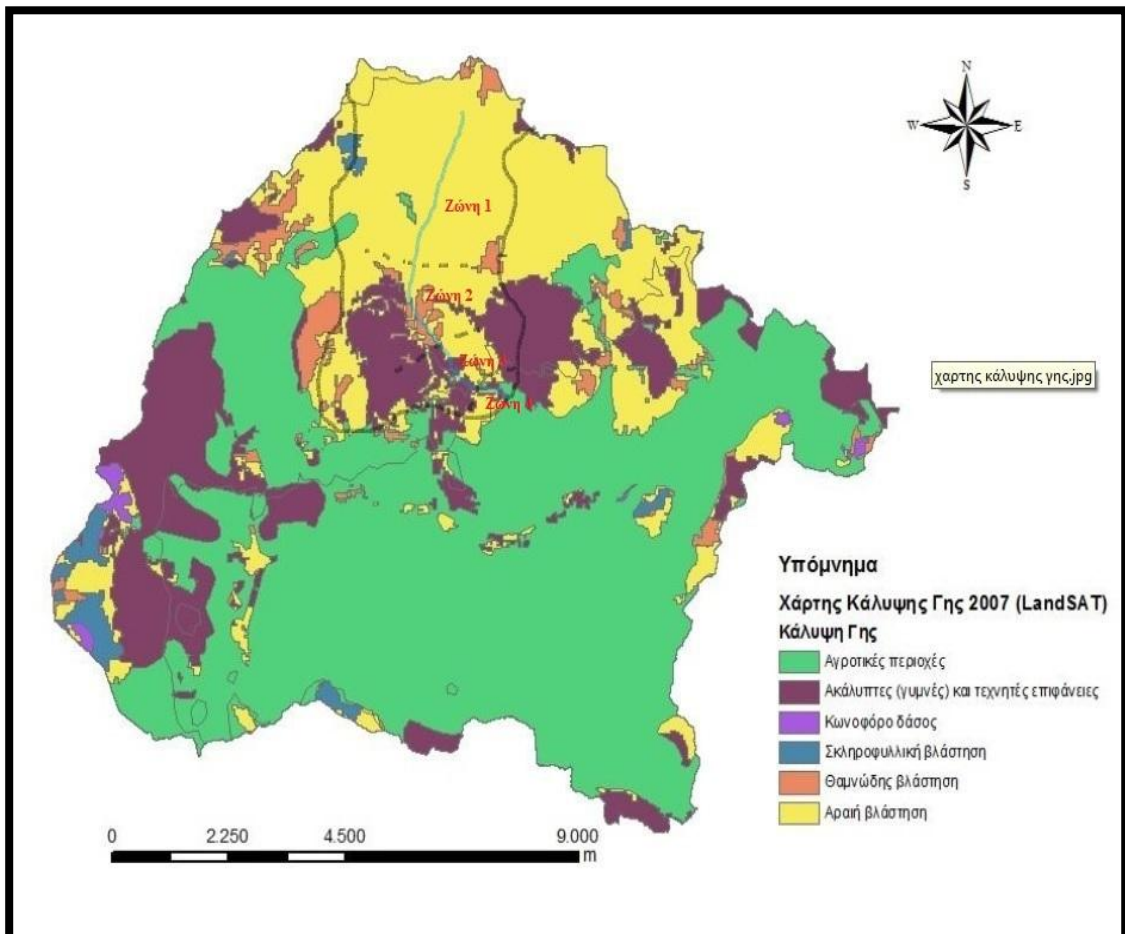
3. Floodplains			
a. Pasture, no brush			
1. short grass	0.025	0.030	0.035
2. high grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. no crop	0.020	0.030	0.040
2. mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110
5. medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
d. Trees			
1. dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
2. cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
3. same as above, but with heavy growth of sprouts	0.050	0.060	0.080
4. heavy stand of timber, a few down trees, little undergrowth, flood stage below branches	0.080	0.100	0.120
5. same as 4. with flood stage reaching branches	0.100	0.120	0.160

Εικόνα 5.46 Προσδιορισμός τιμής συντελεστή Manning n ανάλογα με το είδος εδάφους στα πλημμυρικά πεδία εκατέρωθεν της κοίτης ενός ποταμού (<http://www.fsl.orst.edu/>)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω κατα τη διαδικασία της βαθμονόμησης του υδραυλικού μοντέλου λήφθησαν υπόψη :

- Χάρτης κάλυψης γής στο Ντράφι (βλέπε Εικόνα 5. 47)
- Πίνακας Manning's n Chow (βλέπε Εικόνες 5. 45, 5. 46)



Εικόνα 5.47 Χάρτης κάλυψης γης 2007 στην ευρύτερη περιοχή – Όρια λεκάνης απορροής Ντραφίου και ζωνών κάλυψης γης (<http://www.landsat.org/>)

Για τη διευκόλυνση της διαδικασίας της βαθμονόμησης του υδραυλικού μοντέλου προσομοίωσης της λεκάνης απορροής του Ντραφίου χωρίστηκε η περιοχή σε (4) ζώνες με κριτήριο τη κάλυψη γής. Εν τέλει προέκυψαν οι παρακάτω τιμές n σε κάθε ζώνη :

- Ζώνη 1 (οι πρώτες 8 διατομές ξεκινώντας απο το πιο ανάντη σημείο)
Πλημμυρικό πεδίο με σύνορο την αριστερή όχθη ποταμού (Left high flow)
Αραιή βλάστηση → $n = 0,03$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ
ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

Κοίτη ποταμού (low flow)

Πέτρες και αγριόχορτα $\rightarrow 0, 035$

Πλημμυρικό πεδίο με σύνορο τη δεξιά όχθη ποταμού (Right high flow)

Αραιή βλάστηση $\rightarrow n = 0, 03$

- Ζώνη 2 (οι επόμενες 3 διατομές, δηλαδή 9^η έως και 11^η)

Πλημμυρικό πεδίο με σύνορο την αριστερή όχθη ποταμού (Left high flow)

Θαμνώδης βλάστηση $\rightarrow n = 0, 07$

Κοίτη ποταμού (low flow)

Πέτρες και αγριόχορτα $\rightarrow 0, 035$

Πλημμυρικό πεδίο με σύνορο τη δεξιά όχθη ποταμού (Right high flow)

Θαμνώδης βλάστηση $\rightarrow n = 0, 07$

- Ζώνη 3 (οι επόμενες 2 διατομές, δηλαδή 12^η έως και 13^η)

Πλημμυρικό πεδίο με σύνορο την αριστερή όχθη ποταμού (Left high flow)

Ακάλυπτες(γυμνές) και τεχνητές επιφάνειες $\rightarrow n = 0, 012 - 0, 014$

Κοίτη ποταμού (low flow)

Πέτρες και αγριόχορτα $\rightarrow 0, 035$

Πλημμυρικό πεδίο με σύνορο τη δεξιά όχθη ποταμού (Right high flow)

Αραιή βλάστηση $\rightarrow n = 0, 03$

- Ζώνη 4 (οι επόμενες 3 διατομές, δηλαδή 14^η έως και 16^η)

Πλημμυρικό πεδίο με σύνορο την αριστερή όχθη ποταμού (Left high flow)

Αγροτική περιοχή $\rightarrow n = 0, 04$

Κοίτη ποταμού (low flow)

Πέτρες και αγριόχορτα $\rightarrow 0, 035$

Πλημμυρικό πεδίο με σύνορο τη δεξιά όχθη ποταμού (Right high flow)

Αγροτική περιοχή $\rightarrow n = 0, 04$

5.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΜΕΝΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ

Στη συγκεκριμένη ενότητα παρατίθεται για κάθε βροχομετρικό επεισόδιο :

- Διαγράμμα όπου γίνεται σύγκριση της καμπύλης των προσομοιωμένων τιμών της στάθμης του νερού στην έξοδο της λεκάνης μετά τη βαθμονόμηση του υδραυλικού μοντέλου με τη καμπύλη των αντίστοιχων παρατηρημένων τιμών. Ως μέτρο σφάλματος χρησιμοποιείται ο παρακάτω συντελεστής προσδιορισμού (Nash and Sutcliffe, 1970) :

$$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Όπου :

X_i = παρατηρημένη χρονοσειρά στάθμης νερού

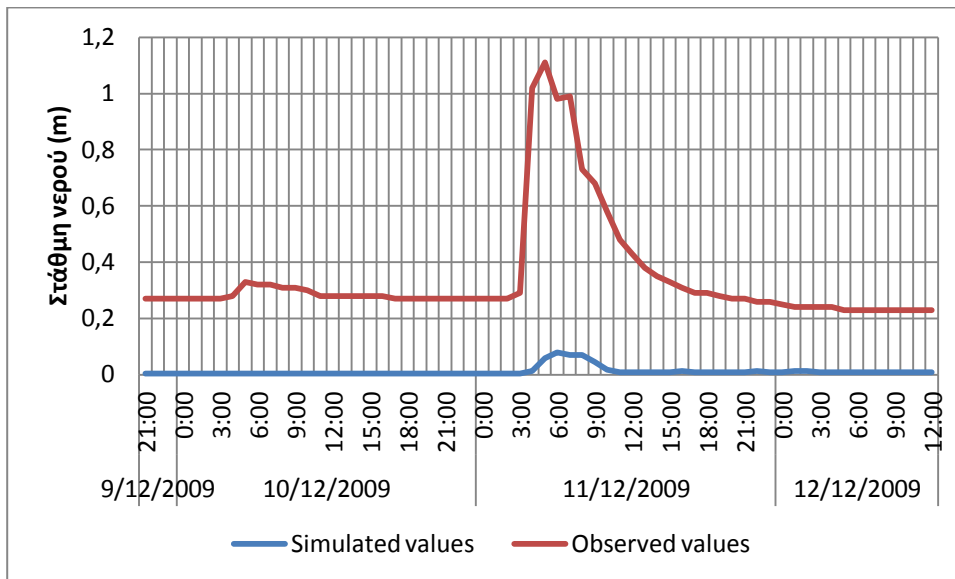
\bar{X} = μέση τιμή της παρατηρημένης χρονοσειράς στάθμης νερού

Y_i = προσομοιωμένη χρονοσειρά στάθμης νερού

N = χρονικός ορίζοντας ελέγχου

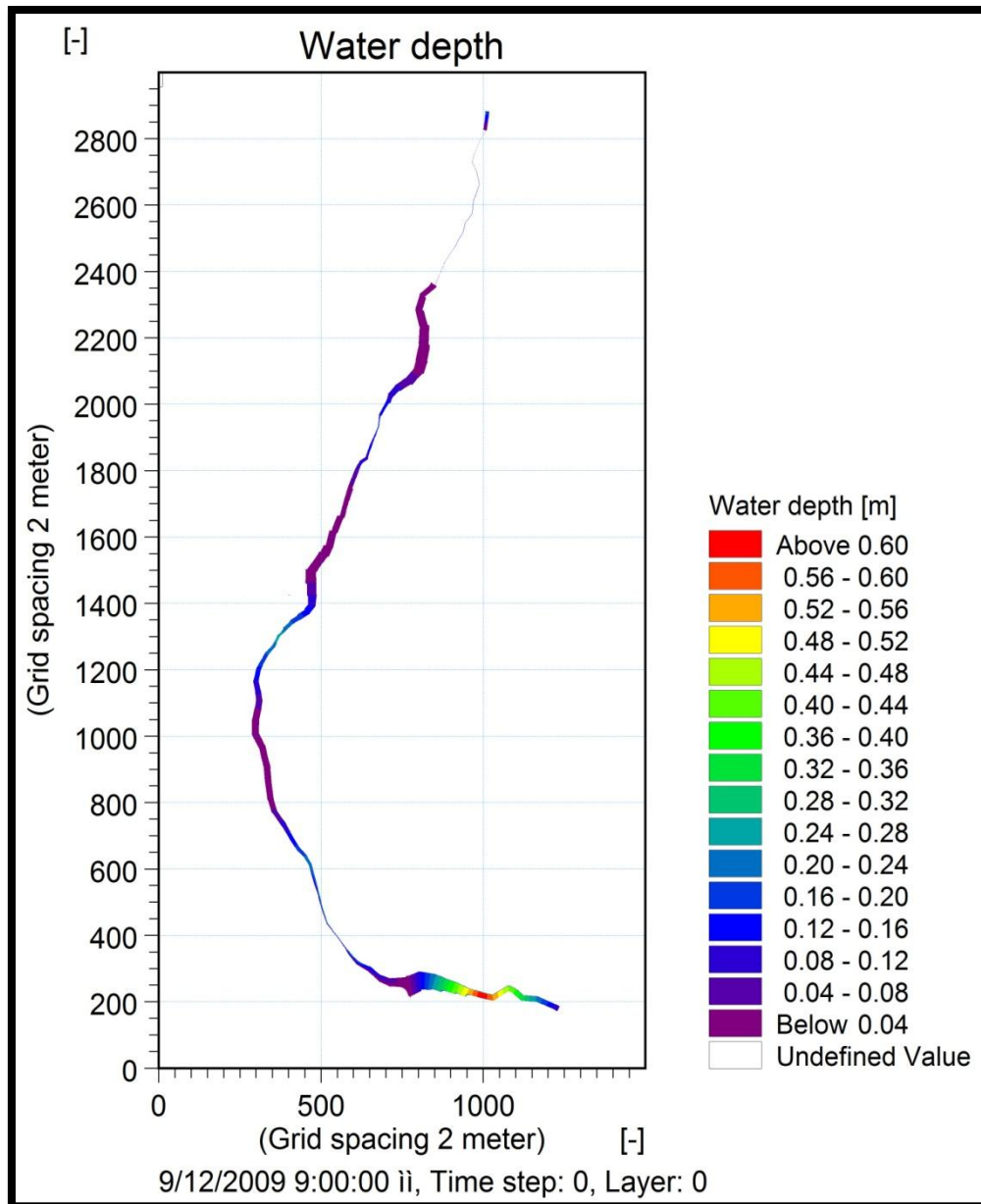
- Χάρτης κατανομής του βάθους νερού (πλημμυρικού κινδύνου) όπως προέκυψε μετά τη βαθμονόμηση του υδραυλικού μοντέλου

5.5.1 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 9/12/2009 – 12/12/2009



Διάγραμμα 5.6 Σύγκριση καμπυλών προσομοιωμένων και παρατηρημένων τιμών της στάθμης του νερού στην έξοδο της λεκάνης μετά τη βαθμονόμηση του μοντέλου

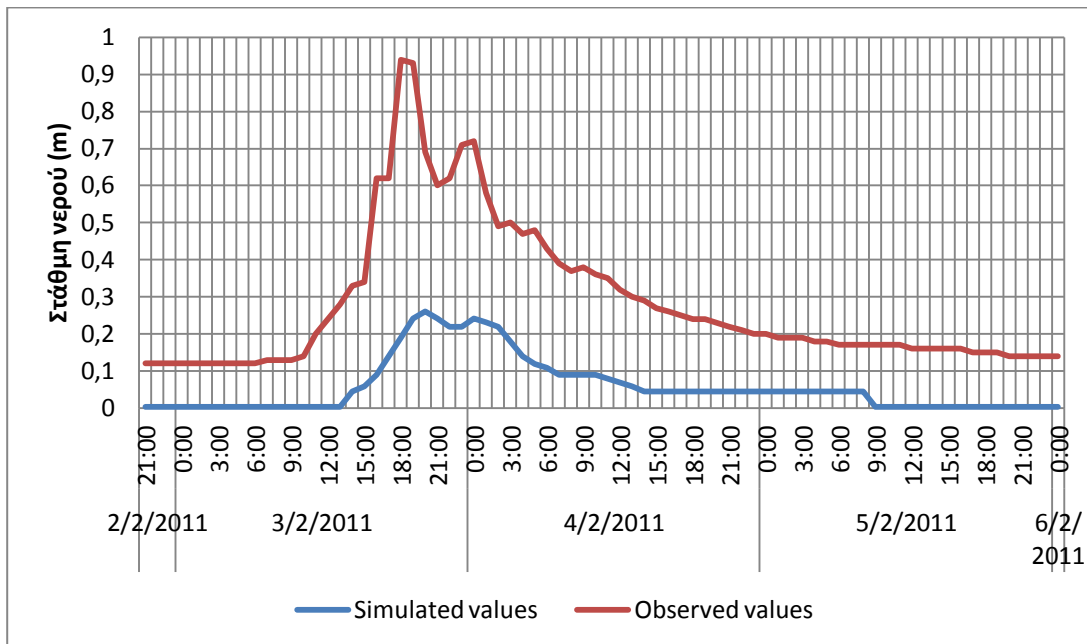
Στη προκειμένη περίπτωση το μέτρο σφάλματος R είναι :
 $R = 0,07$ (μη ικανοποιητική προσαρμογή του μοντέλου)



Εικόνα 5.48 Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου μετά τη βαθμονόμηση του υδραυλικού μοντέλου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE BY DHI

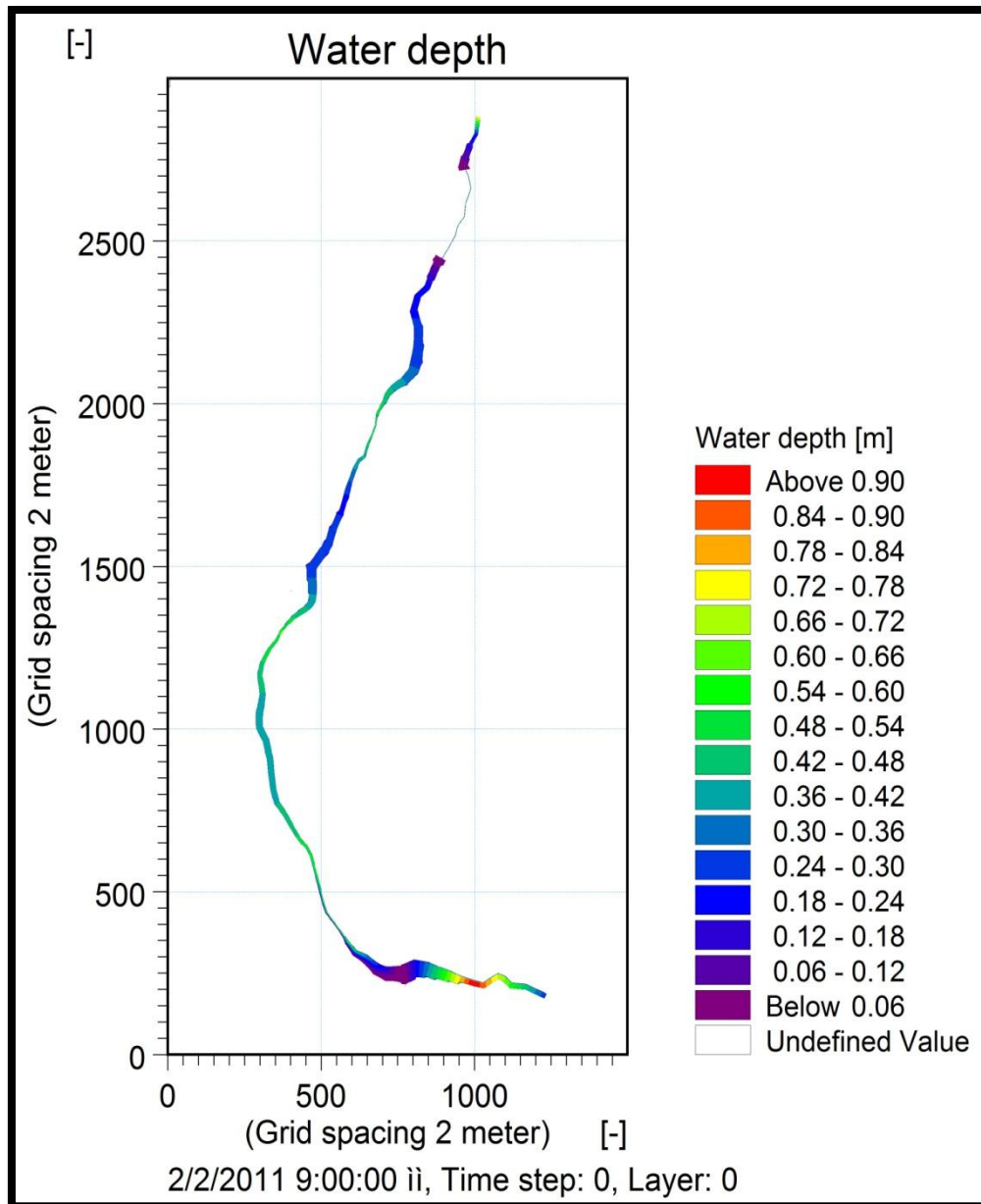
5.5.2 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 2/2/2011 – 6/2/2011



Διάγραμμα 5.7 Σύγκριση καμπυλών προσομοιωμένων και παρατηρημένων τιμών της στάθμης του νερού στην έξοδο της λεκάνης μετά τη βαθμονόμηση του μοντέλου

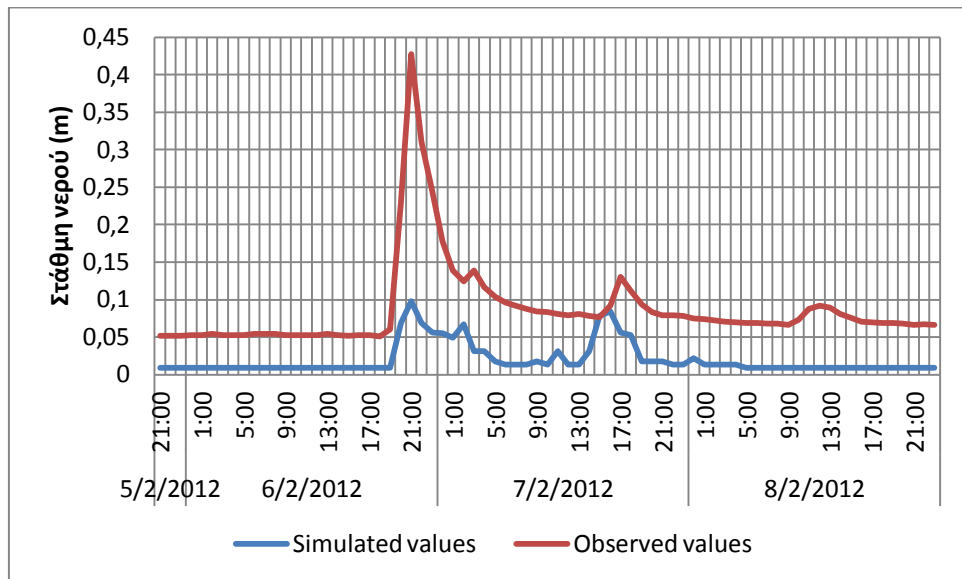
Στη προκειμένη περίπτωση το μέτρο σφάλματος R είναι :

$$R = 0,4$$



Εικόνα 5.49 Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου μετά τη βαθμονόμηση του υδραυλικού μοντέλου

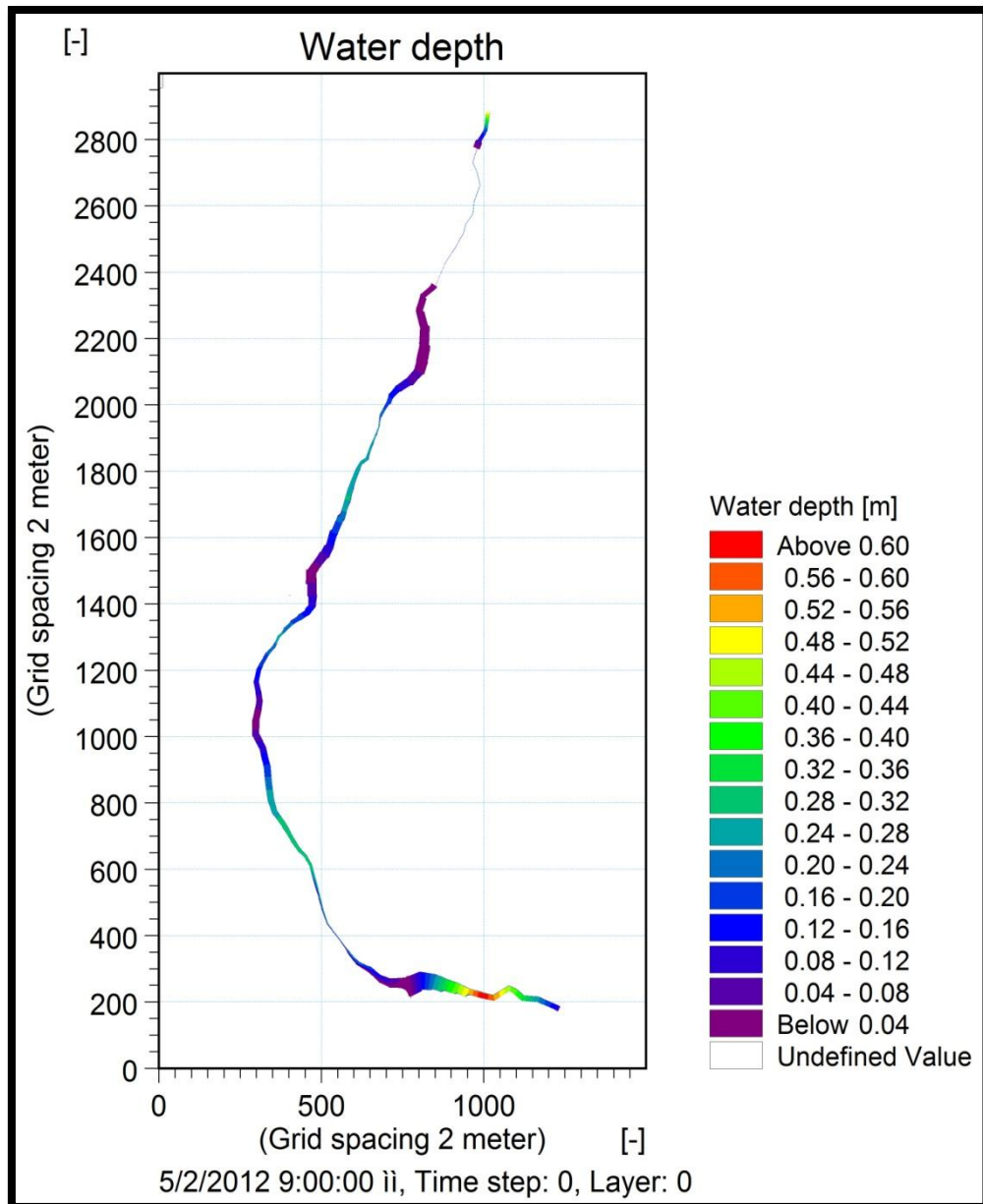
5.5.3 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 5/2/2012 – 8/2/2012



Διάγραμμα 5.8 Σύγκριση καμπυλών προσομοιωμένων και παρατηρημένων τιμών της στάθμης του νερού στην έξοδο της λεκάνης μετά τη βαθμονόμηση του μοντέλου

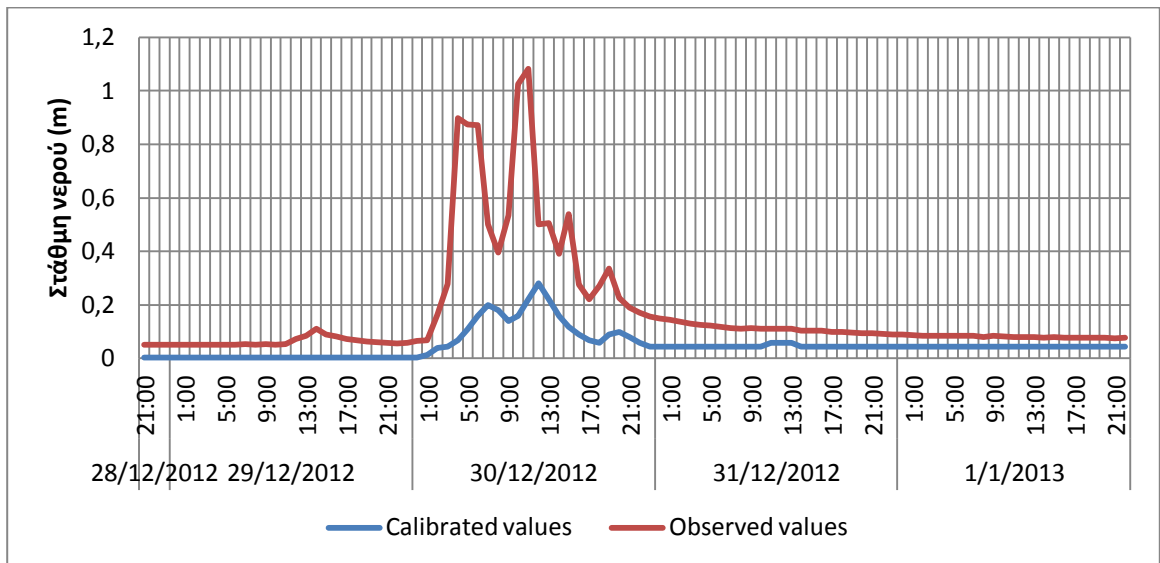
Στη προκειμένη περίπτωση το μέτρο σφάλματος R είναι :

$$R = 0,4$$



Εικόνα 5. 50 Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου μετά τη βαθμονόμηση του υδραυλικού μοντέλου

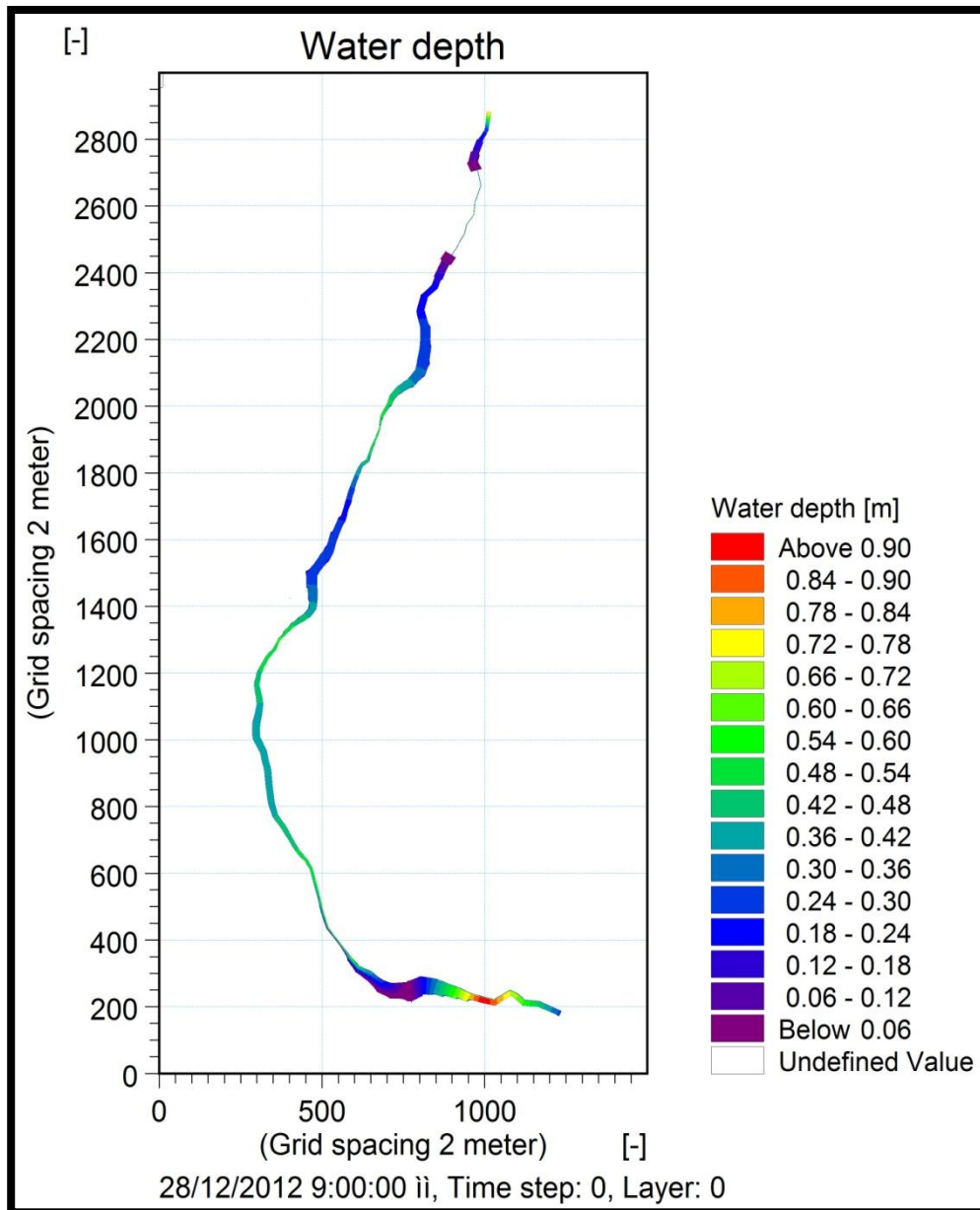
5.5.4 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 28/12/2012 – 1/1/2013



Διάγραμμα 5.9 Σύγκριση καμπυλών προσομοιωμένων και παρατηρημένων τιμών της στάθμης του νερού στην έξοδο της λεκάνης μετά τη βαθμονόμηση του μοντέλου

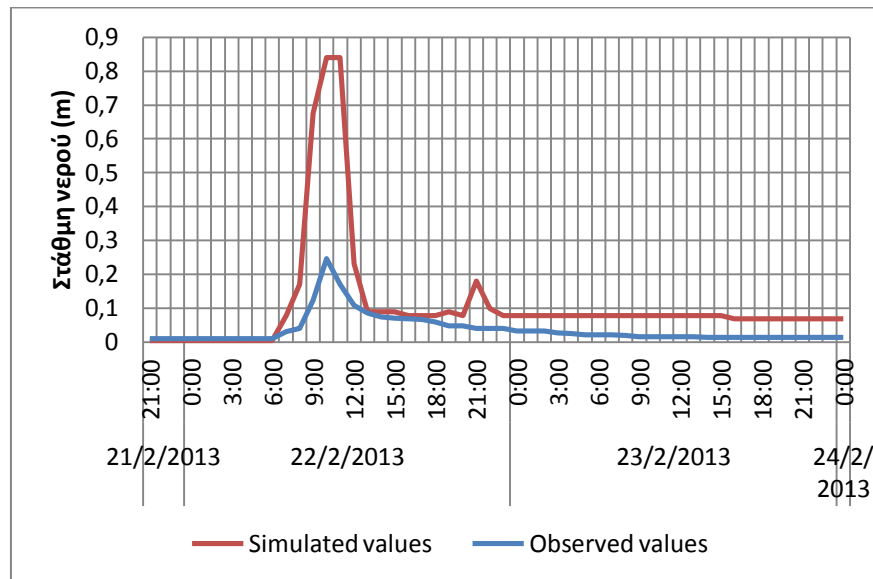
Στη προκειμένη περίπτωση το μέτρο σφάλματος R είναι :

$$R = 0,39$$



Εικόνα 5.51 Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου μετά τη βαθμονόμηση του υδραυλικού μοντέλου

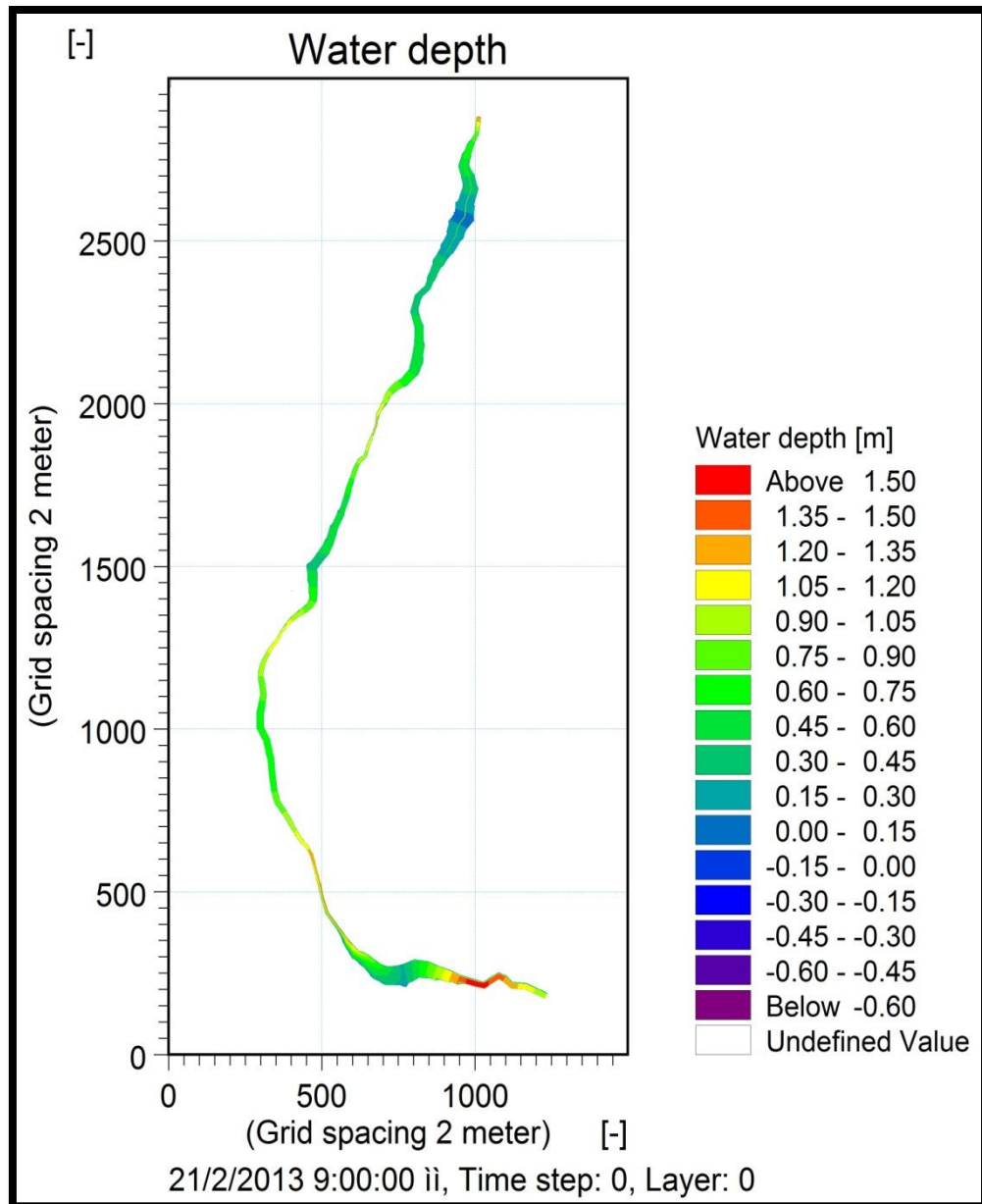
5.5.5 ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟ 21/2/2013 – 24/2/2013



Διάγραμμα 5.10 Σύγκριση καμπυλών προσομοιωμένων και παρατηρημένων τιμών της στάθμης του νερού στην έξοδο της λεκάνης μετά τη βαθμονόμηση του μοντέλου

Στη προκειμένη περίπτωση το μέτρο σφάλματος R είναι :

$R = -6 < 0$ (θεωρείται πολύ κακή προσαρμογή του μοντέλου)



Εικόνα 5.52 Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου μετά τη βαθμονόμηση του υδραυλικού μοντέλου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

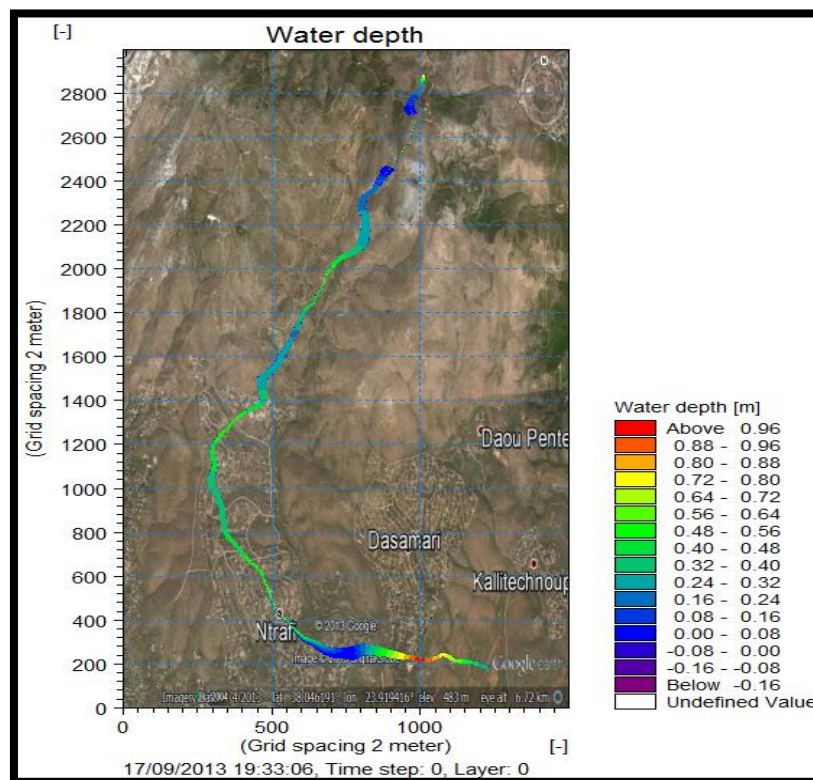
6. ΧΑΡΤΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

6.1 ΕΥΡΩΠΑΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ 2007/60 ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ – ΣΕΝΑΡΙΑ

Οι χάρτες πλημμυρικού κινδύνου καλύπτουν τις γεωγραφικές περιοχές που θα μπορούσαν να πλημμυρίσουν σύμφωνα με τα ακόλουθα σενάρια :

- Πλημμύρες υψηλής πιθανότητας, ανάλογα με τη περίπτωση
- Πλημμύρες μέσης πιθανότητας (με πιθανή περίοδο επαναληπτικότητας ≥ 100 χρόνια)
- Πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας ή σενάρια ακραίων φαινομένων

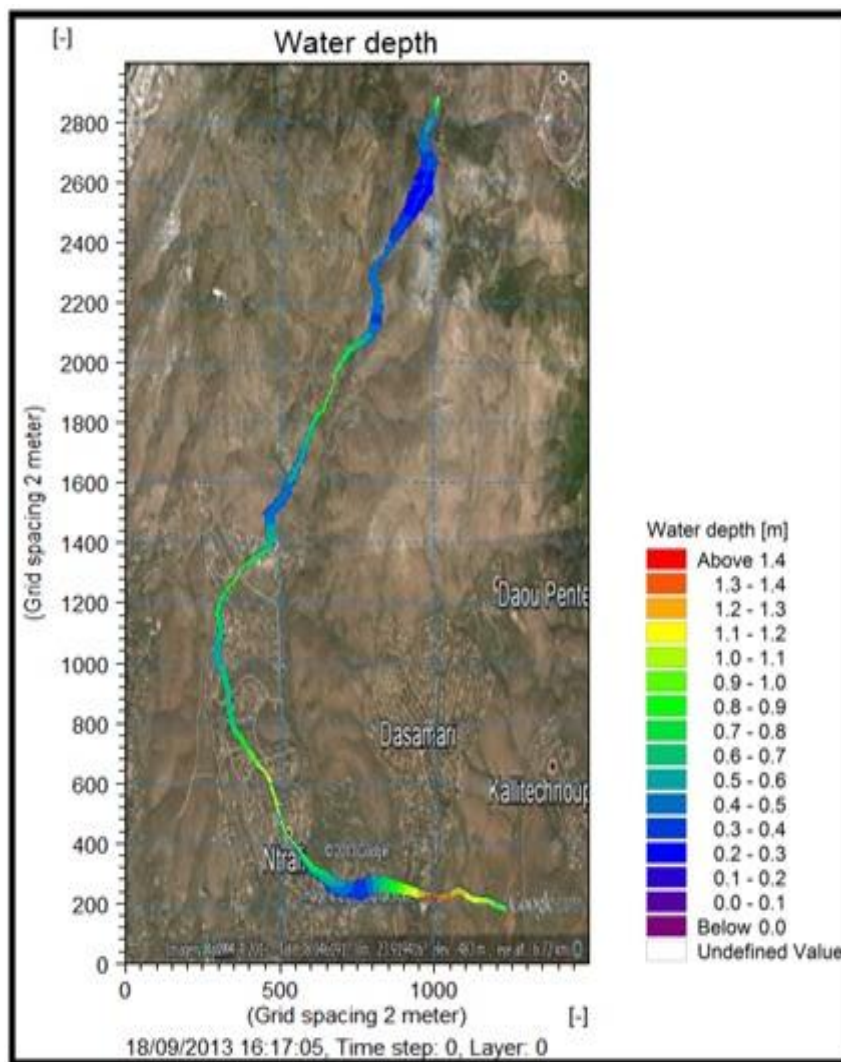
6.2 ΣΕΝΑΡΙΟ #1 (T=10 ΕΤΗ)



Εικόνα 6.1 Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου για πλημμύρα με περίοδο επαναφοράς T=10 έτη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΧΑΡΤΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

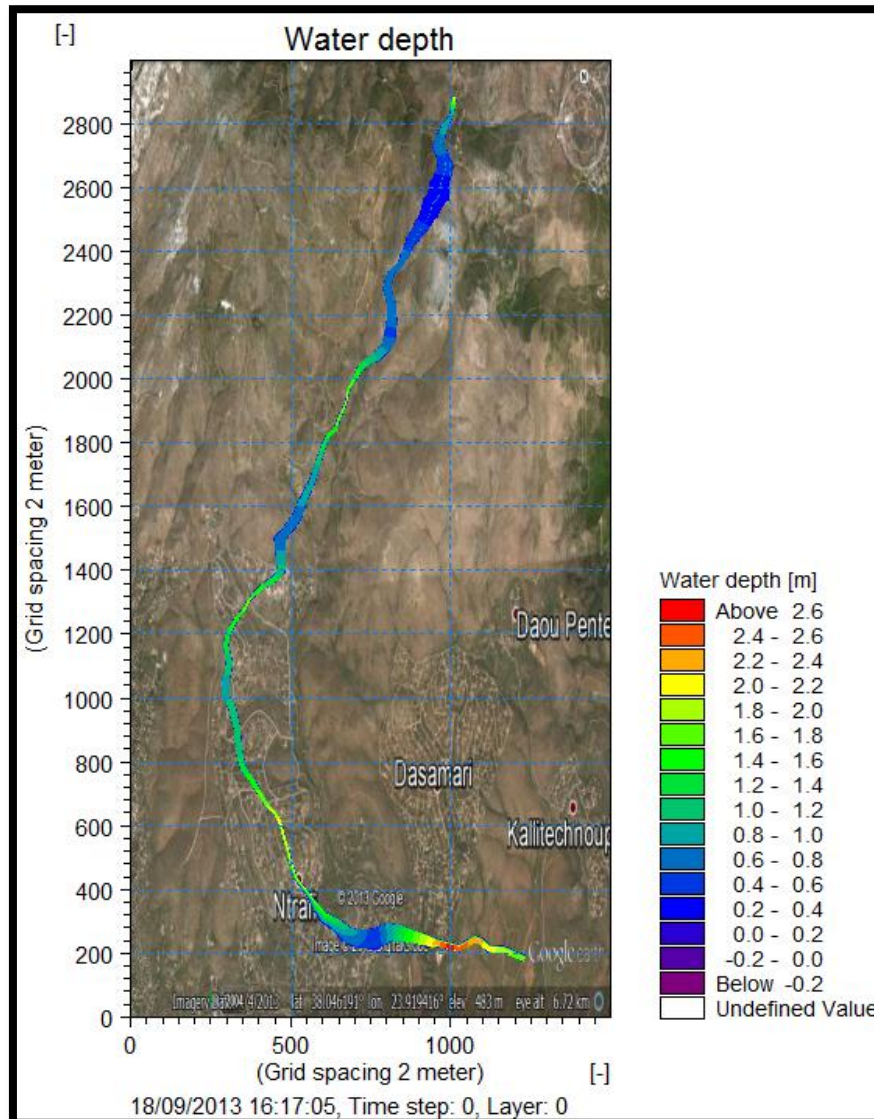
6.3 ΣΕΝΑΡΙΟ #2 (T=100 ΕΤΗ)



Εικόνα 6.2 Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου για πλημμύρα με περίοδο επαναφοράς T=100 έτη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΧΑΡΤΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΝΤΡΑΦΙΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

6.4 ΣΕΝΑΡΙΟ #3 (T=1000 ΕΤΗ)



Εικόνα 6.3 Χάρτης κατανομής μέγιστου βάθους (πλημμυρικού κινδύνου) στη λεκάνη απορροής Ντραφίου για πλημμύρα με περίοδο επαναφοράς T=1000 έτη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

7.1 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

Η υδραυλική προσομοίωση της λεκάνης απορροής του Ντραφίου έγινε στο περιβάλλον του λογισμικού Mike 11 by DHI. Αρχικά στήθηκε το μοντέλο και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε για να μελετηθεί η υδραυλική απόκριση της λεκάνης σε 5 πλημμυρογραφήματα τα οποία προέκυψαν αντίστοιχα από καταγεγραμμένα βροχομετρικά επεισόδια στην έξοδο της λεκάνης (θεωρήθηκε σχεδόν μόνιμη ροή). Η διαφορά της μόνιμης και της μη μόνιμης ροής είναι ότι τα χαρακτηριστικά της μόνιμης ροής (παροχή, βάθος και ταχύτητα νερού) δεν μεταβάλλονται σε σχέση με το χρόνο. Η λύση της σχεδόν μόνιμης ροής απαιτεί ως συνοριακή συνθήκη εισόδου παροχή ενώ στην έξοδο αντίστοιχα στάθμη νερού ή τη σχέση $Q-h$. Ακολούθησε η διαδικασία βαθμονόμησης του μοντέλου με τη χρήση του χάρτη καλύψεων γής της περιοχής καθώς και των προαναφερθέντων πλημμυρογραφημάτων. Η μοναδική παράμετρος που τροποποιήθηκε στο υδροδυναμικό μοντέλο κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης ήταν ο συντελεστής τραχύτητας του εδάφους Manning n .

Ως κριτήριο για το βαθμό ικανοποιητικής υδραυλικής προσομοίωσης της λεκάνης απορροής ήταν η σύγκριση των παρατηρημένων τιμών της στάθμης στην έξοδο της λεκάνης με τις αντίστοιχες προσομοιωμένες από το πρόγραμμα τιμές. Τελικά η προσομοίωση κρίθηκε μερικώς ικανοποιητική στα 3 από τα 5 πλημμυρογραφήματα ενώ στα άλλα δύο μη ικανοποιητική. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη θεώρηση σχεδόν μόνιμης ροής με αποτέλεσμα να μην τροποποιηθούν οι προεπιλεγμένες από το πρόγραμμα τιμές των υδροδυναμικών παραμέτρων εκτός του συντελεστή Manning n όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Επίσης ίσως αποτελεί ένδειξη ύπαρξης σφαλμάτων στα παρατηρημένα δεδομένα.

7.2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Μετά την ολοκλήρωση της υδραυλικής προσομοίωσης εξήχθησαν οι χάρτες κατανομής του βάθους του νερού για όλα τα πλημμυρογραφήματα όπου φαίνονται τα κατακλυζόμενα πεδία εκατέρωθεν του ποταμού από τα ανάντη μέχρι τα κατόντη (χάρτης

πλημμυρικού κινδύνου). Ομοίως και για τα διάφορα σενάρια πλημμυρικών φαινομένων που προτείνει η Οδηγία 2007/60.

Στα ανάντη παρατηρήθηκε ότι όσο πιο έντονο είναι το πλημμυρικό φαινόμενο τόσο μεγαλύτερες είναι οι πλημμυρικές εκτάσεις. Επειδή όμως η περιοχή χαρακτηρίζεται απο αραϊή βλάστηση και χρήσεις γής περιορισμένου οικονομικού ενδιαφέροντος η κατάκλυση των περιοχών αυτών δεν κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική.

Αντίθετα στα κατάντη όπου υπάρχει το κυρίως κομμάτι του αστικού ιστού στη δυτική πλευρά του ποταμού ενώ στα ανατολικά κοντά στην έξοδο της λεκάνης υπάρχει αγροτική δραστηριότητα παρατηρείται η ίδια πλημμυρική έκταση παρά τις διαφορές στην παροχή αιχμής. Περιοριστικός παράγοντας στην εμφάνιση της πραγματικής έκτασης της πλημμύρας σε ορισμένες διατομές ήταν το γεγονός ότι θεωρήθηκε εύρος διατομής 300 m. Επομένως για να είναι αντιπροσωπευτικός ο χάρτης σε αυτά τα σημεία θα έπρεπε να εισάγουμε διατομές με μεγαλύτερο εύρος π.χ 400,500 m. Αυτό δεν έγινε στη παρούσα διπλωματική εργασία επειδή έληξε η άδεια χρήσης του προγράμματος. Το μόνο χαρακτηριστικό που αλλάζει όσο αυξάνεται η ένταση του φαινομένου είναι το βάθος του νερού. Όσο πιο έντονο είναι το πλημμυρικό φαινόμενο τόσο μεγαλύτερο είναι το βάθος του νερού στα κατακλυζόμενα πεδία.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα τελευταία έτη δεν έχει συμβεί στη περιοχή του Ντραφιού κάποιο ακραίο πλημμυρικό φαινόμενο αντίστοιχο με τα πιθανά σενάρια που εξετάστηκαν. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι ενδεικτικά των αρνητικών συνεπειών που θα προκληθούν στα πλημμυρικά πεδία της περιοχής σε περίπτωση που πραγματοποιηθεί κάποιο απ'τα πιθανά σενάρια.

7.3 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ MIKE 11

Η υδραυλική προσομοίωση έγινε με τη χρήση του προγράμματος Mike 11 το οποίο αποτελεί μέρος της πλατφόρμας Mike Zero του πακέτου λογισμικού MIKE by DHI. Το συγκεκριμένο πακέτο λογισμικού διατίθεται στην αγορά ως μη ελεύθερο προϊόν. Στη παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε γιατί υπήρχε η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί δωρεάν για εκπαιδευτικούς λόγους. Πρόκειται για ένα εύχρηστο πρόγραμμα με φιλικό για το χρήστη περιβάλλον εργασίας, προσομοιώνει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό την υδραυλική απόκριση μιας λεκάνης απορροής σε ένα εισερχόμενο πλημμυρικό επεισόδιο ακόμα και στη πιθανή περίπτωση όπου υπάρχουν ελλειπή δεδομένα.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα που προέκυψαν απο την υδραυλική προσομοίωση της λεκάνης απορροής του Ντραφιού αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι διαρκεί ελάχιστα λεπτά

η διαδικασία τρεξίματος του μοντέλου ενώ το εργαλείο εμφάνισης των αποτελεσμάτων Mike View δύναται να εξάγει αξιολογους χάρτες κατανομής του βάθους του νερού στα κατακλυζόμενα πεδία.

Σύμφωνα με τα παραπάνω καθίσταται απόλυτα λογικό το γεγονός ότι το συγκεκριμένο λογισμικό δεν διατίθεται δωρεάν καθώς «απαντάει» γρήγορα και αξιόπιστα σε όλα τα ερωτήματα που θέτει ο χρήστης. Βέβαια όσον αφορά τη σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που θα προέκυπταν από τη χρήση ελεύθερων λογισμικών σύμφωνα με τη βιβλιογραφική έρευνα πρόκευσε ότι δεν θα υπήρχαν μεγάλες διαφορές όσον αφορά την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

7.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία έγινε υδραυλική προσομοίωση της λεκάνης απορροής του Ντραφίου θεωρώντας συνθήκες σχεδόν μόνιμης ροής. Η μοναδική παράμετρος που τροποποιήθηκε στο υδροδυναμικό μοντέλο κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης ήταν ο συντελεστής τραχύτητας του εδάφους Manning n. Επομένως, μια πρόταση για περαιτέρω μελέτη είναι να στηθεί ένα υδροδυναμικό μοντέλο το οποίο θα προσομοιώνει την υδραυλική απόκριση της λεκάνης απορροής του Ντραφίου για τα δεδομένα πλημμυρογραφήματα σε συνθήκες μη μόνιμης ροής και με εξέταση βαθμονόμησης περισσότερων παραμέτρων.

Επιπλέον, μια ακόμα πρόταση περαιτέρω εξέλιξης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η συσχέτιση των χαρτών πλημμυρικού κινδύνου που δημιουργήθηκαν για τα σενάρια που υποδεικνύει η Οδηγία για τις πλημμύρες 2007/60 (για περιόδους επαναφοράς $T=10, 100$ και 1000 έτη αντίστοιχα) με το χάρτη των υπαρχουσών και πιθανών μελλοντικών χρήσεων γής της περιοχής του Ντραφίου. Με αυτό το τρόπο είναι δυνατή η εκτίμηση του αναμενόμενου κόστους ζημιών καθώς και η εξαγωγή χαρτών διακινδύνευσης. Οι χάρτες διακινδύνευσης κρίνονται απαραίτητοι για την κατάστρωση επιχειρησιακού σχεδίου διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου και την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων για την ελαχιστοποίηση και την πρόληψη των δυσμενών συνεπειών πιθανών μελλοντικών πλημμυρικών επεισοδίων.

8. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Επιτροπή Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (2004), «Διαχείριση του κινδύνου πλημμυρών – Πλημμύρες: πρόληψη, προστασία και μετριασμός των επιπτώσεών τους», Ανακοίνωση προς το συμβούλιο, το ευρωπαϊκό κοινοβούλιο, την ευρωπαϊκή οικονομική και κοινωνική επιτροπή και την επιτροπή των περιφερειών, Βρυξέλλες.
- Καρανικόλας Ν. (2006), « Η ανάπτυξη της περιαστικοποίησης στη Θεσσαλονίκη τη τελευταία 20ετία : Μια γεωγραφική προσέγγιση – Χαρτογραφική τεκμηρίωση », Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Κτηματολογίου, Φωτογραμμετρίας και Χαρτογραφίας.
- Μαμάσης Ν. (2011), «Τυπικά συστήματα υδατικών πόρων : Εκτίμηση πλημμυρικών παροχών» , Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος , Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε. Μ. Π).
- Μιχαήλογλου Α. , Νικολακοπούλου Χ. (2013), «Μελέτη αλληλεπίδρασης εξωαστικού χώρου με άμεση περιαστική ζώνη πόλεως Άρτας», Ελληνικό Τμήμα Ευρωπαϊκής Εταιρείας Περιφερειακής Επιστήμης (Ε. Τ. Ε. Ε. Π. Ε), πρακτικά 11^{ου} Τακτικού Επιστημονικού Συνεδρίου 2013 , σελ. 2-7.
- Παναγόπουλος Γ. (2011), «Μοντέλα για την Προσομοίωση πλημμυρών : HEC HMS – HEC RAS» , Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος , Σχολή Πολιτικών Μηχανικών , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε. Μ. Π).
- Τσακίρης Γ. (2008) , «Διαχείριση πλημμυρικής διακινδύνευσης» , Κέντρο Εκτίμησης Φυσικών Κινδύνων & Προληπτικού Σχεδιασμού , Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε. Μ. Π).
- Arcement J. George JR. and Schneider R. Verne (1989), « Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains» , U.S. Geological Survey Water-Supply , Paper 2339
- Brasington D. M. (1999), «A simple model of urban growth with endogenous suburban production zones», Department of Economics, Tulane University, Working paper no 6
- European Council (2007), «EU Directive of the European Parliament and of the European Council on the assessment and management of flood risks» (2007/60/EU).
- Fischler F. (1996), «Europe and its Rural Areas in the year 2000: Integrated Rural Development as a Challenge for Policy Making, European Conference on Rural Development, Cork , 7-8/11/1996

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Mike by DHI (2012), « MIKE 11: A modeling system for Rivers and Channels», Danish Hydraulic Institute (DHI), User Guide
- Mike by DHI (2012), « MIKE 11: A modeling system for Rivers and Channels», Danish Hydraulic Institute (DHI), Short Introduction & Tutorial
- Mike by DHI (2012), «MIKE VIEW: A Results Presentation Tool for MOUSE, MIKE URBAN and MIKE 11», Danish Hydraulic Institute (DHI), User Guide
- Mills Edwin S. and Peter Mieszkowski (1993), «The Causes of Metropolitan Suburbanization, Journal of Economic Perspectives, 7, pp 135-47
- O’Sullivan A. (2000), «Urban Economics», 4th ed. , McGraw Hill
- Pagana V. , Tegos A. , Dimitriadis P. , Koukouvinos A. , Panagopoulos P. and Mamasis N. (2013) , «Alternatives methods in floodplain hydraulic simulation – Experiences and perspectives», Geophysical Research Abstracts , Vol. 15

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

<http://www.ypeka.gr/>

<http://el.wikipedia.org/wiki>

http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/

<http://www.hec.usace.army.mil/>

<http://www.flo-2d.com/>

<http://www.bristol.ac.uk/geography/research/hydrology/models/lisflood>

<http://mikebydhi.com/>

<http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE>

<http://www.rpn.gr/>

<http://www.flire.eu/el/>

<http://meteo.chi.civil.ntua.gr/el/basin.php>

<http://www.sciencedirect.com/>

<http://www.fsl.orst.edu/>

<http://www.landsat.org/>

http://en.wikipedia.org/wiki/Nash%E2%80%93Sutcliffe_model_efficiency_coefficient