



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΦΛΩΡΟΣ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ ΕΠΕΙΤΑ
ΑΠΟ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΗ ΘΡΑΥΣΗ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ
ΜΑΡΑΘΩΝΑ.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ
ΑΤΤΙΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΜΠΕΛΛΟΣ ΒΑΣΙΛΗΣ

Η Διπλωματική Εργασία Εξετάστηκε Επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΠΕΛΛΟΣ Επίκουρος Καθηγητής ΔΠΘ Επιβλέπων	ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΥΜΠΕΘΕΡΟΣ Καθηγητής ΠΑΔΑ	ΜΑΡΙΟΣ-ΠΡΟΚΟΠΙΟΣ ΒΑΛΑΒΑΝΙΔΗΣ Καθηγητής ΠΑΔΑ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Φλώρος Γεώργιος του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 44366650226, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ημερομηνία

01/08/23

Ο Δηλών



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, του τμήματος πολιτικών μηχανικών, με κατεύθυνση υδραυλικών έργων. Το αντικείμενο μελέτης αυτής, αφορά σε περίπτωση υποθετικής θραύσης του φράγματος του Μαραθώνα.

Συγκεκριμένα, προσομοιώνεται το πλημμυρικό κύμα που θα προκύψει έπειτα από υποθετική θραύση του φράγματος, με τρία διαφορετικά σενάρια, μέσω της χωρικής ανάλυσης δεδομένων της περιοχής και την απεικόνιση των αποτελεσμάτων. Η προαναφερθείσα διαδικασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό την αναπαράσταση του πλημμυρικού φαινομένου.

Η περιοχή μελέτης που εξετάστηκε βρίσκεται στην Ανατολική Αττική και πιο συγκεκριμένα στον δήμο του Μαραθώνα. Το φράγμα έγκειται επί του ποταμού Χαράδρου, στο σημείο που διασταυρώνεται με τον ποταμό Βαρνάβα και απέχει οκτώ km από το χωριό του Μαραθώνα.

Πραγματοποιήθηκε συλλογή χωρικών δεδομένων μέσω του ψηφιακού μοντέλου εδάφους DEM (Digital Elevation Model), καθώς και επεξεργασία αυτών, μέσω του χαρτογραφικού προγράμματος συντεταγμένων Q-GIS (Quantum Geographic Information System). Στην συνέχεια εκτελέστηκε υδρολογική προσομοίωση, μέσω του προγράμματος μοντελοποίησης της υδραυλικής ροής του νερού, HEC – RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System).



*Εικόνα Νο.1: Φράγμα Μαραθώνα.
(Αρχείο ΕΥΔΑΠ)*

SUMMARY

This thesis is written for the undergraduate study program of the department of civil engineering of the University of West Attica (direction of hydraulic works). The subject of this study concerns the case of hypothetical breach of the Marathon Dam.

Specifically, the flood phenomenon that will occur when the dam breaks, is simulated with three different scenarios, through the spatial data analysis of the area and the modelling of these data. The aforementioned procedure was carried out in order to represent the flood phenomenon.

The study area examined is located in Eastern Attica and more specifically in the municipality of Marathon. The dam is located on the Haradros River, at the point where it crosses with the Varnavas River and is eight kilometres from the village of Marathon.

Spatial data was collected through the digital terrain model DEM (Digital Elevation Model), as well as their processing, through the Q-GIS (Quantum Geographic Information System) coordinate mapping program. Afterwards, a hydrological simulation was performed, through the hydraulic flow modelling program, HEC – RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
SUMMARY	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΣΤΟΧΙΕΣ.....	8
1.2. ΦΡΑΓΜΑ ΜΑΡΑΘΩΝΑ – ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	10
2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	15
2.1. ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	15
2.2. ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ.....	16
3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	17
3.1. QGIS.....	17
3.2. HEC – RAS	17
3.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	18
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	21
4.1. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΧΑΡΤΗ	21
4.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ HEC-RAS	22
4.3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ.....	24
4.4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ.....	26
5. ΣΕΝΑΡΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ.....	28
5.1. ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟΥΜΕΡΟ 1: (Μεσαίας Έκτασης Ρήγμα)	31
5.1.1. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ	32
5.2. ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟΥΜΕΡΟ 2: (Μεγάλης Έκτασης Ρήγμα).....	40
5.2.1. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ	41
5.3. ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟΥΜΕΡΟ 3: (Μικρής Έκτασης Ρήγμα)	49
5.3.1. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ	50
6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	58
7. ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	62
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	63

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας No. 1 επιλογή παραμέτρων βάσει κατασκευής.....	26
Πίνακας No. 2 Συντελεστές τραχύτητας.....	27
Πίνακας No. 3 Συγκριτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων	57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα No.1: Φράγμα Μαραθώνα	1
Εικόνα No.2: Εν εξελίξει κατασκευή φράγματος.	8
Εικόνα No.3: Εν εξελίξει κατασκευή φράγματος.	9
Εικόνα No.4: Εν εξελίξει κατασκευή φράγματος.	10
Εικόνα No.5: Ναός Φράγματος Μαραθώνα..	11
Εικόνα No.6: Ναός στη βάση του φράγματος Μαραθώνα.....	12
Εικόνα No.7: Φράγμα Μαραθώνα	13
Εικόνα No.8: Ταμιευτήρας Μαραθώνα.	14
Εικόνα No.9: Περιοχή Μαραθώνα.	16
Εικόνα No.10: Πρώτοι Ολυμπιακοί Αγώνες, 6 Απριλίου του 1896	18
Εικόνα No.11: Συντεταγμένες σε κεντρικό σημείο εισόδου στον οικισμό του Μαραθώνα....	28

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα No.1: Διάκριση φραγμάτων ανάλογα με το υλικό και τον τρόπο κατασκευής τους.....	6
Σχήμα No.2: Ποσοστό τοις εκατό των αιτιών αστοχιών φραγμάτων κατά την περίοδο 1900-1975.....	7
Σχήμα No.3: Περιοχή μελέτης	19
Σχήμα No.4: Εισαγωγή περιοχής μελέτης στο HEC-RAS.	20
Σχήμα No.5 Οριοθέτηση εφαρμογής πλημμυρικού φαινομένου... ..	21
Σχήμα No.6 Τομή φράγματος.....	23
Σχήμα No.7 Ορισμός υπολογιστικών δεδομένων.....	24
Σχήμα No.8 Περιγραφή των παραμέτρων θραύσης.....	25
Σχήμα No.9 Εισαγωγή Παραμέτρων Θραύσης.	32
Σχήμα No.10 Υδρογράφημα φράγματος.....	33
Σχήμα No.11 Διόδευση πλημμυρικού φαινομένου ως προς το βάθος ροής.	34

Σχήμα Νο.12 Διόδευση πλημμυρικού φαινομένου μεταφερόμενο στο QGIS..	35
Σχήμα Νο.13 Υψόμετρο απόλυτου βάθους νερού. (x: 496025.36, y: 4223184.21)	36
Σχήμα Νο.14 Ταχύτητα πλημμυρικού φαινομένου.	37
Σχήμα Νο.15 Μέγιστη ταχύτητα πλημμυρικού φαινομένου(x: 496025.36, y: 4223184.21)..	38
Σχήμα Νο.16 Εισαγωγή παραμέτρων θραύσης..	41
Σχήμα Νο.17 Υδρογράφημα φράγματος.....	42
Σχήμα Νο.18 Διόδευση πλημμυρικού φαινομένου ως προς το βάθος ροής.	43
Σχήμα Νο.19 Διόδευση πλημμυρικού φαινομένου, μεταφερόμενο στο QGIS..	44
Σχήμα Νο.20 Υψόμετρο απόλυτου βάθους νερού (x: 496025.36, y: 4223184.21)	45
Σχήμα Νο.21 Ταχύτητα πλημμυρικού φαινομένου..	46
Σχήμα Νο.22 Μέγιστη ταχύτητα πλημμυρικού φαινομένου (x: 496025.36, y: 4223184.21)..	47
Σχήμα Νο.23 Εισαγωγή παραμέτρων θραύσης...	50
Σχήμα Νο.24 Υδρογράφημα φράγματος.....	51
Σχήμα Νο.25 Διόδευση πλημμυρικού φαινομένου ως προς το βάθος ροής	52
Σχήμα Νο.26 Διόδευση πλημμυρικού φαινομένου μεταφερόμενο στο QGIS ...	53
Σχήμα Νο.27 Υψόμετρο απόλυτου βάθους νερού (x: 496025.36, y: 4223184.21)...	54
Σχήμα Νο.28 Ταχύτητα πλημμυρικού φαινομένου....	55
Σχήμα Νο.29 Μέγιστη ταχύτητα πλημμυρικού φαινομένου (x: 496025.36, y: 4223184.21)..	56
Σχήμα Νο.30 Συγκεντρωτικά υδρογραφήματα σεναρίων..	58
Σχήμα Νο.31 Συγκεντρωτικά διαγράμματα ταχυτήτων σεναρίων..	58
Σχήμα Νο.32 Συγκεντρωτικά διαγράμματα βάθους νερού σεναρίων..	59

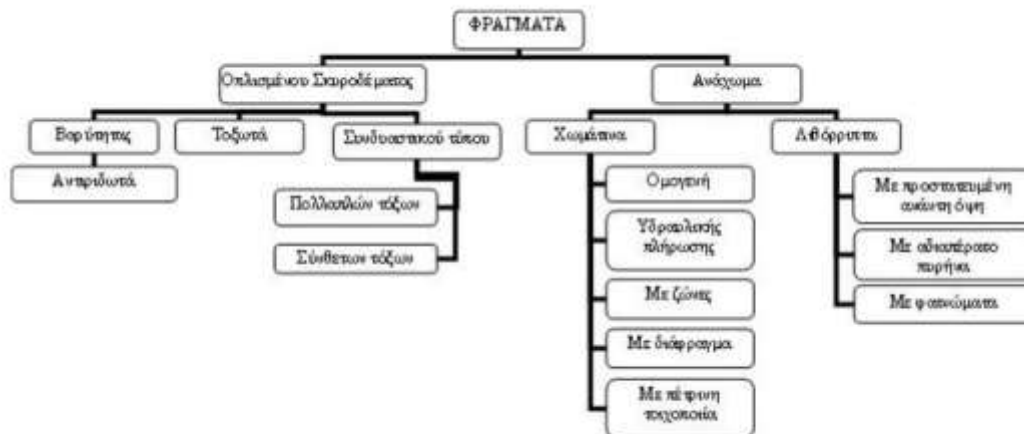
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΣΤΟΧΙΕΣ

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την εξέλιξη της ανθρωπότητας, αποτελεί η κατασκευή φραγμάτων, καθώς στο παρελθόν υπήρχε σε έντονο βαθμό το πρόβλημα της διαχείρισης των υδατικών πόρων. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις αστοχιών που δύνανται να προκαλέσουν τη θραύση τους. Για το λόγο αυτό καθίσταται αναγκαία η προσομοίωση της θραύσης, καθώς και η πρόβλεψη του πλημμυρικού φαινομένου που μπορεί να προκύψει ως αποτέλεσμα.

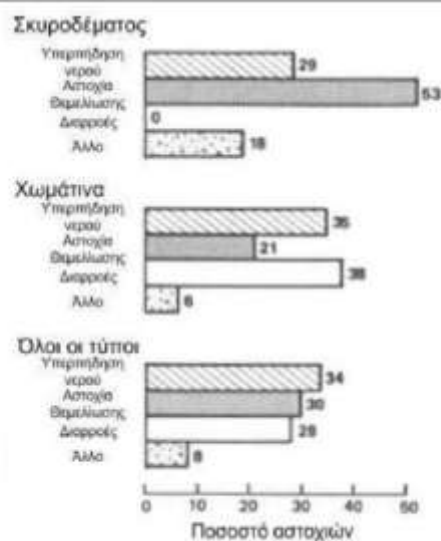
Τα φράγματα διαχωρίζονται σύμφωνα με το υλικό το οποίο έχουν κατασκευαστεί, σε δυο κατηγορίες. Τα φράγματα από γεώδη υλικά και τα φράγματα από σκυρόδεμα (φράγματα βαρύτητας και τοξωτά). Αντίστοιχα υποδιαιρούνται σε υποκατηγορίες, βάσει του τρόπου κατασκευής, του σχήματος καθώς και του τρόπου μεταφοράς φορτίων.

Θεμελιώνονται κάθετα στη ροή των ρευμάτων, με σκοπό τη συλλογή και τον έλεγχο των υδάτων. Η κατασκευή τους ξεκίνησε περίπου 6000 χρόνια πριν, με σκοπό να καλυφθεί η ανάγκη ύδρευσης και άρδευσης. Παράλληλα, παρείχαν αντιπλημμυρική προστασία. Αργότερα, συντέλεσαν στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, στην εξέλιξη των ιχθυοκαλλιεργειών και του τουρισμού.



Σχήμα Νο.1: Διάκριση φραγμάτων ανάλογα με το υλικό και τον τρόπο κατασκευής τους. (Πυθαρούλη, 2007)

Οι αστοχίες των φραγμάτων χαρακτηρίζονται ως γεγονότα «χαμηλής πιθανότητας, υψηλών απωλειών» (Committee on Safety of existing dams, 1983). Οι κύριοι παράγοντες οι οποίοι συμβάλλουν στις αστοχίες των φραγμάτων αποτελούνται από τον τύπο, δηλαδή αν είναι χωμάτινα ή από σκυρόδεμα, και την ηλικία κατασκευής. Όσον αφορά τα χωμάτινα φράγματα η συνήθης αιτία αστοχίας εντοπίζεται στις διαρροές, ενώ τα φράγματα σκυροδέματος παρουσιάζουν μεγαλύτερη πιθανότητα αστοχίας στη θεμελίωση τους. Και στις δύο περιπτώσεις που αναφέρθηκαν, μπορεί να υπάρξει αστοχία σχετική με την υπερχειλίση του νερού από τη στέψη, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα Νο.2: Ποσοστό τοις εκατό των αιτιών αστοχιών φραγμάτων κατά την περίοδο 1900-1975. (Πυθαρούλη, 2007).

Ως προς τη διάρκεια ζωής των φραγμάτων, υπολογίζεται από 50 έως 100 χρόνια. Κατά την περίοδο αυτή, υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστούν αστοχίες, λόγω γήρανσης.

Οι αστοχίες αυτές περιλαμβάνουν την συσσώρευση φερτών υλικών με αποτέλεσμα την σταδιακή φράξη της υδροληψίας, ακόμη και περιπτώσεις καταρρεύσεων του φράγματος. Σε κάθε περίπτωση, αυξάνεται το κόστος επισκευής και συντήρησης αυτού.

Καθώς τα περισσότερα φράγματα παγκοσμίως βρίσκονται σε περίοδο γήρανσης, αυξάνεται η πιθανότητα αστοχίας, και θα μπορούσαν να προκληθούν τεράστιες καταστροφές σε κατοικημένες περιοχές και απώλειες ζωών. Η ασφάλεια λοιπόν των φραγμάτων αποτελεί θέμα ζωτικής σημασίας.

Κατά την θραύση του φράγματος δημιουργείται αιφνιδίως ένα πλημμυρικό κύμα. Η ροή του νερού μπορεί να υπολογιστεί ως προς την ταχύτητα, την παροχή και το βάθος, μέσω μίας αριθμητικής επίλυσης διαφορικών εξισώσεων της ασταθούς ροής σε ανοιχτούς αγωγούς.

1.2. ΦΡΑΓΜΑ ΜΑΡΑΘΩΝΑ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Τον 19^ο αιώνα η Αττική διέθετε μόλις πενήντα πέντε δημοτικές βρύσες από τις πηγές της Πάρνηθας, οι οποίες δεν ήταν επαρκείς ώστε να καλύψουν τις ανάγκες του τότε πληθυσμού. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να ανθίσει το επάγγελμα του νερούλά. Οι νερούλάδες καθημερινά, μετέφεραν και εμπορεύονταν νερό στην Αθήνα από τις πηγές των γύρω περιοχών, όπως της Κηφισιάς και του Αμαρουσίου.

Τη δεκαετία του 1920, λόγω της μικρασιατικής καταστροφής, η Αθήνα δέχτηκε μια μεγάλη εισροή προσφύγων, η οποία υπολογίζεται περίπου στους 1.300.000. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μεγιστοποιηθεί η ζήτηση σε νερό. Ως εκ τούτου πάρθηκε η απόφαση από τον τότε πρωθυπουργό Δημήτριο Γούναρη να ξεκινήσει η κατασκευή του φράγματος του Μαραθώνα.

Το 1926 ξεκίνησε η κατασκευή του τοξωτού φράγματος από σπλισμένο σκυρόδεμα, στη συμβολή του ποταμού Χαράδρου και του ποταμού Βαρνάβα, από την Αμερικανική εταιρεία Ulen, ύστερα από συμφωνία που σύναψε με το Ελληνικό δημόσιο και την Τράπεζα Αθηνών.

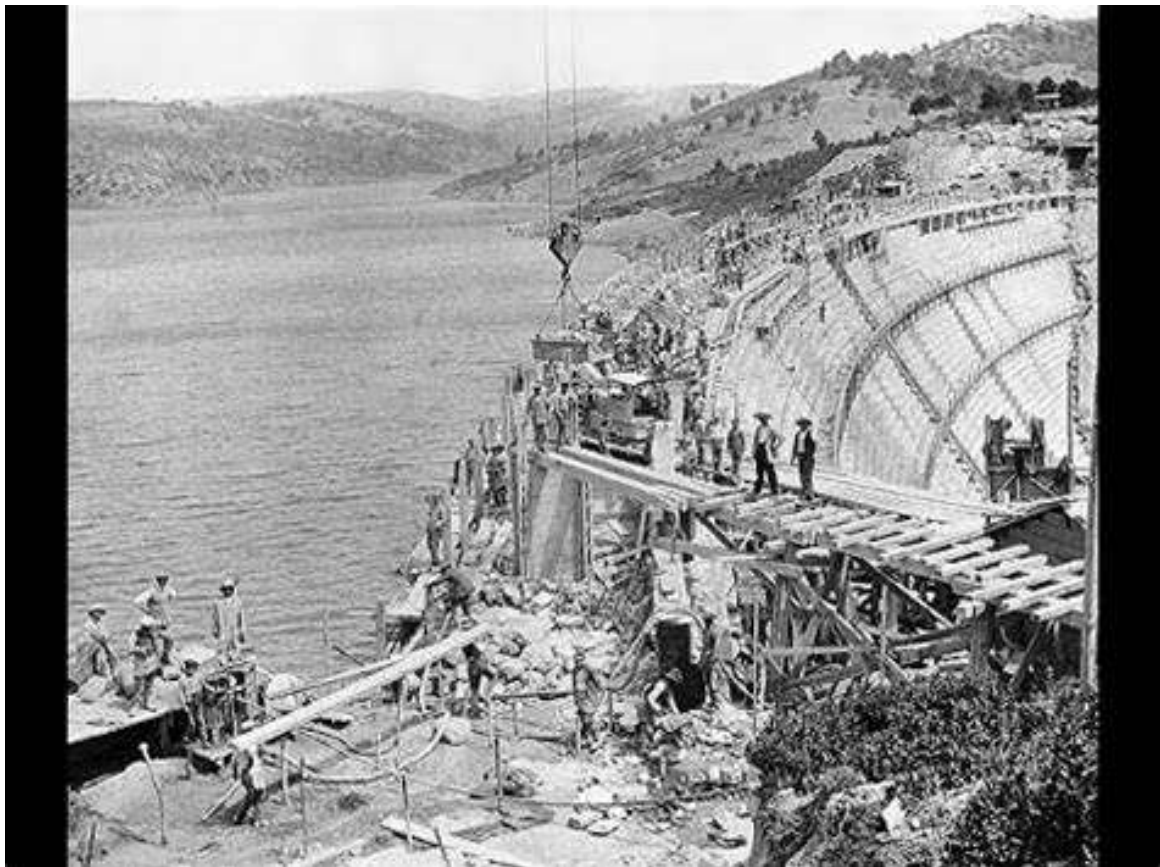


Εικόνα Νο.2: Εν εξελίξει κατασκευή φράγματος.
(Δίκτυο Πολιτισμού ΕΥΔΑΠ, 1927).

Η ίδια εταιρεία ανέλαβε τις μονάδες καθαρισμού υδάτων του Γαλασίου, καθώς και την κατασκευή σήραγγας μεταφοράς νερού στην Αθήνα. Το μήκος της έφτανε τα 13,4 km και τερμάτιζε στη σημερινή περιοχή του Αγίου Στεφάνου και της Άνοιξης. Επιπλέον κατασκευάστηκε ένας πύργος υδροληψίας, αποτελούμενος εξίσου από πεντελικό μάρμαρο, ο οποίος έλεγχε την διερχόμενη ποσότητα του νερού στη σήραγγα με την χρήση βανών. Οι εργασίες ήταν υπό την εποπτεία της Ανώνυμης Ελληνικής Εταιρείας Υδάτων (ΕΕΥ), η οποία συστάθηκε για το σκοπό αυτό.

Ο πυρήνας του φράγματος αποτελείται από μείγμα τσιμέντου, μαρμάρου και πέτρας, ενώ είναι επενδεδυμένο εξ'ολοκλήρου από πεντελικό μάρμαρο, όπως αυτό του Παρθενώνα, γεγονός που το καθιστά μοναδικό σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η κατασκευή του φράγματος διήρκεσε περίπου τρία χρόνια (1926-1929) και απασχολήθηκαν χιλιάδες άτομα, τα οποία κατά τη διάρκεια των εργασιών, διέμεναν σε μαρμαρίνους κοιτώνες περιμετρικά του εργοταξίου, κατασκευασμένοι εξίσου από πεντελικό μάρμαρο, καθώς η απόσταση από και προς τις οικίες τους ήταν μεγάλη. Συνεπώς, καθιστούσε τη μεταφορά τους δύσκολη και χρονοβόρα. Καθημερινώς, τους παρείχαν τροφή και φρόντιζαν για την υγεία και την ασφάλειά τους.



Εικόνα Νο.3: Εν εξελίξει κατασκευή φράγματος.

(Ιστορικό Αρχείο ΕΥΔΑΠ, 1928).



Εικόνα Νο.4: Εν εξελίξει κατασκευή φράγματος.

(Ιστορικό Αρχείο ΕΥΔΑΠ, 1928).

Ωστόσο, κατά τη διάρκεια θεμελίωσης του φράγματος, υπήρξαν ορισμένες δυσμενείς καταστάσεις. Ύστερα από μια περίοδο έντονων βροχοπτώσεων, αυξήθηκε σημαντικά η στάθμη του ποταμού Χαράδρου με αποτέλεσμα να εκτραπεί το πρόφραγμα που είχε κατασκευαστεί και τελικώς να καταρρεύσει.

Λίγο πριν την ολοκλήρωση του έργου, αποφασίστηκε να στηθεί ένας ναός στη βάση του, επίσης αποτελούμενος από πεντελικό μάρμαρο. Πρόκειται για αντίγραφο εκείνου του μνημείου που χτίστηκε στους Δελφούς, ύστερα από τη νίκη της Μάχης του Μαραθώνα και μέχρι σήμερα συμβολίζει τη νίκη του ανθρώπινου πολιτισμού έναντι της λειψυδρίας.



Εικόνα Νο.5: Ναός Φράγματος Μαραθώνα.

(Μηχανή του Χρόνου)

Το έργο εγκαινιάστηκε στις 25 Οκτωβρίου 1929 από τον τότε πρωθυπουργό Ελευθέριο Βενιζέλο και τον πρόεδρο της δημοκρατίας Ναύαρχο Κουντουριώτη. Η τεχνητή λίμνη του Μαραθώνα αποτελούσε τη σημαντικότερη πηγή νερού για την Πρωτεύουσα, από το 1931 έως και το 1959. Το 1959 ακολούθησε η σύνδεση του δικτύου ύδρευσης με την λίμνη Υλίκη και στην συνέχεια το 1981 μέχρι και σήμερα η κύρια πηγή ύδρευσης της Αθήνας προέρχεται από την τεχνητή λίμνη του Μόρνου.

Το φράγμα του Μαραθώνα συντελεί στην ρύθμιση της παροχής του νερού, και αποτελεί τουριστικό θέρετρο. Αν δεν υπήρχε η δυνατότητα εκμετάλλευσης του Μόρνου και της λίμνης Υλίκης, το νερό από την λίμνη του Μαραθώνα θα επαρκούσε μόνο για λίγες μέρες.



Εικόνα Νο.6: Ναός στη βάση του φράγματος Μαραθώνα.

(Δίκτυο Πολιτισμού ΕΥΔΑΠ)

2. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

2.1. ΦΡΑΓΜΑ

Το φράγμα αποτελείται από μείγμα τσιμέντου, μαρμάρου και πέτρας, ενώ είναι επενδεδυμένο εξ'ολοκλήρου από πεντελικό μάρμαρο, όπως αυτό του Παρθενώνα.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του φράγματος σύμφωνα με την μελέτη της «ΕΥΔΑΠ» είναι:

Γεωγραφική Θέση: (38.168536 N, 23.899549 E) σε Ε.Γ.Σ.Α '87.

Τύπος Φράγματος: Βαρύτητας από σκυρόδεμα

Μέγιστο ύψος Φράγματος: 54 m.

Μέγιστο ύψος Φράγματος (από στάθμη θεμελίωσης): 62,5 m.

Μέγιστο πλάτος στη βάση: 48 m.

Πλάτος στέψης: 4,5 m.

Μήκος στέψης: 285 m.

Υψόμετρο στέψης: + 227 μ.υ.θ.

Υψόμετρο πόδα (κατώτερο σημείο): + 173 μ.υ.θ.

Στάθμη υπερχειλιστή: + 223 μ.υ.θ.

Παροχή υπερχειλιστή: 520 m³/s νερού

Όγκος υλικού Φράγματος: 180.000 m³. (σκυροδέματος και λιθοδομής).

Όπου μ.υ.θ. (μέτρα από τη στάθμη της θάλασσας).



Εικόνα Νο.7: Φράγμα Μαραθώνα.

(Αρχείο ΕΥΔΑΠ)

2.2. ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑΣ

Τα βασικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα του φράγματος σύμφωνα με την μελέτη της «ΕΥΔΑΠ» είναι:

Επιφάνεια στη στάθμη υπερχειλίσης: 2,45 km²

Λεκάνη απορροής: 118 km²

Μέση εισροή: 21.000.000 m³/yr

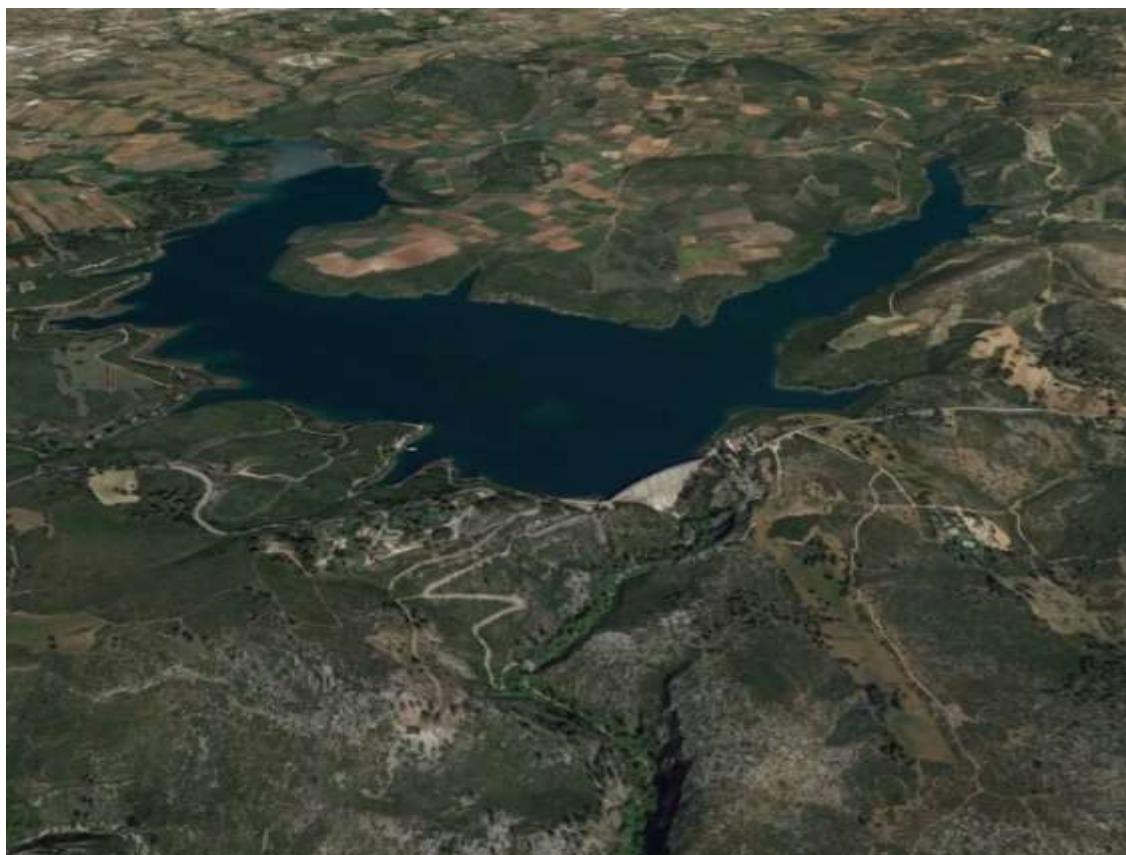
Μέση βροχόπτωση: 680 mm/yr (τυπ. απόκλιση 208 mm/yr)

Μέση εκροή: 19.000.000 m³/yr

Μέγιστη χωρητικότητα: 41.000.000 m³ νερού

Μέγιστος ωφέλιμος όγκος: 34.000.000 m³ νερού

Ελάχιστη στάθμη λειτουργίας πύργου υδροληψίας: +186 μ.υ.θ.



Εικόνα Νο.8: Ταμιευτήρας Μαραθώνα.

(Google Earth)

3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

Η μελέτη για το ανάγλυφο της περιοχής, το οποίο εξετάσαμε, υλοποιήθηκε από το λογισμικό QGIS (Quantum Geographical Information System), έκδοση 3.16.0-1, σε συνδυασμό με το λογισμικό HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's – River Analysis System), έκδοση 6,1.

3.1. QGIS

Το QGIS είναι ένα εξειδικευμένο πρόγραμμα φτιαγμένο σε ανοικτό και ελεύθερο κώδικα, για την διαχείριση και την επεξεργασία γεωγραφικών συστημάτων και πληροφοριών, με σκοπό τη σύνθεση χαρτών. Αποτελεί επίσημο πρόγραμμα του «Open Source Geospatial Foundation (OSGeo)» και υποστηρίζει πολλές μορφές και λειτουργίες διανυσμάτων, ράστερ και βάσεων δεδομένων. Μέχρι το 2005, το QGIS ήταν κατά κόρον, ένα βοηθητικό εργαλείο οπτικοποίησης χωρικών δεδομένων. Ωστόσο, μέσα σε λίγα χρόνια, εξελίχθηκε από μια διαδεδομένη κοινότητα επιστημόνων και απέκτησε επιπλέον δυνατότητες σε προβολή, διαχείριση, επεξεργασία, ελέγχων, ανάλυση και εκτύπωση.

Κατά τη χρήση του, δίνεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης λειτουργιών (plugin) με ένα σύστημα που βασίζεται σε Python, το λεγόμενο «pyQGIS» που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία επιπροσθέτων εργαλείων. Επίσης, για τον μετασχηματισμό δεδομένων, την οπτικοποίηση και τους τοπολογικούς ελέγχους, υπάρχει πληθώρα επιλογών.

Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης άλλων δημοφιλών εργαλείων όπως το Google Earth, ενώ υπάρχει σημαντική εξέλιξη στη λειτουργία του προγράμματος, ως επεξεργαστής γεωχωρικών δεδομένων στον πυρήνα του και μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως διακομιστής χρησιμοποιώντας το πρόσθετο διακομιστή QGIS.

3.2. HEC – RAS

Το HEC – RAS είναι ένα από τα μοντέλα του U.S.Army Corps of Engineers. Δημιουργήθηκε από το Hydrologic Engineering Center (HEC), με σκοπό την προσομοίωση υδατορευμάτων, φυσικών ή τεχνητών. Αυτό το λογισμικό επιτρέπει στο χρήστη να εκτελεί μονοδιάστατους υπολογισμούς σταθερής ροής, μονοδιάστατους και δισδιάστατους υπολογισμούς ασταθούς ροής, υπολογισμούς μεταφοράς ιζημάτων και μοντελοποίηση θερμοκρασίας και ποιότητας νερού.

Με τη χρήση του HEC RAS δηλαδή, δίνεται η επιλογή προσομοίωσης, μέσω της εισαγωγής δεδομένων, της ροής σε φυσικές κοίτες ποταμών ή τεχνητά κανάλια για τον προσδιορισμό της στάθμης του νερού. Ο κύριος στόχος αφορά την ανάπτυξη μελετών πλημμύρας και τον προσδιορισμό των πλημμυρικών περιοχών. Λαμβάνοντας υπόψη αρκετούς παράγοντες,

όπως ο τύπος της κοίτης του ποταμού (σχετικά με τη γεωμετρία του), η κλίση ή η φύση του (είδος υλικού, παρουσία βλάστησης) και αν υπάρχουν έργα ύδρευσης στην κοίτη του ποταμού (γέφυρες, κανάλια).

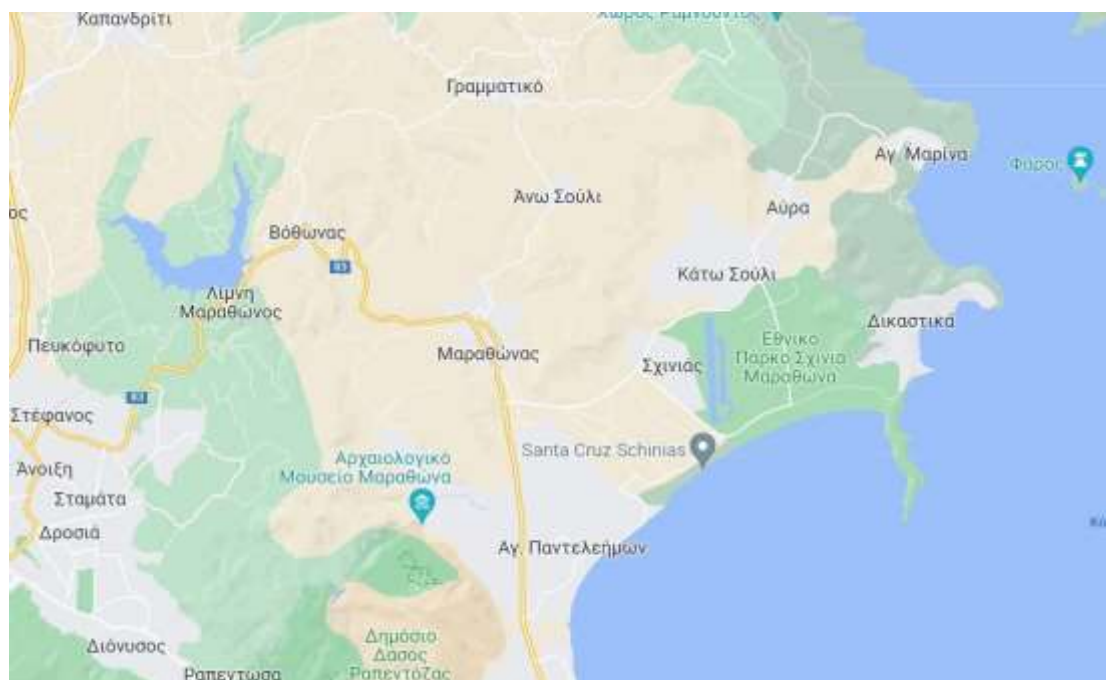
Το πρόγραμμα, επιτρέπει την γραφική παρατήρηση των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή τους σε μορφή πίνακα, διευκολύνοντας έτσι, την ερμηνεία τους. Βρίσκεται σε συνεχή διαδικασία ενημέρωσης και βελτιώσεων.

3.3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο Μαραθώνας είναι κωμόπολη της ανατολικής Αττικής. Ανήκει στον ομώνυμο δήμο Μαραθώνα και από την 1η Ιανουαρίου 2011, οι Δήμοι Νέας Μάκρης, Γραμματικού και Βαρνάβα εντάχθηκαν στον ίδιο δήμο, με τον νόμο «ΚΑΛΛΙΚΡΑΤΗΣ».

Ο νέος Δήμος Μαραθώνα, αποτελεί τον πέμπτο δήμο σε έκταση της Αττικής και έναν από τους μεγαλύτερους σε έκταση Δήμους στη χώρα. Έχει έκταση 222.170 στρέμματα και σύμφωνα με την απογραφή του 2011 έχει συνολικό πληθυσμό 33.423 κατοίκους.

Ανήκει στην Περιφέρεια Αττικής και βρίσκεται στα βορειοανατολικά παράλια του Νομού. Από το συνολικό πληθυσμό του Δήμου, οι 16.670 κάτοικοι ανήκουν στη Νέα Μάκρη, οι 12.849 στο Μαραθώνα, οι 1.823 στο Γραμματικό και στο Βαρνάβα οι υπόλοιποι 2.081.



Εικόνα Νο.9: Περιοχή Μαραθώνα.

(Χάρτες Google)

Πρόκειται για έναν ιστορικό τόπο, ο οποίος έγινε γνωστός από την ομώνυμη μάχη των Πλαταιών εναντίων των Περσών, το 490 π.Χ. Χάρη στον τοπικό ήρωα Μάραθο, η περιοχή ονομάστηκε Μαραθώνας.

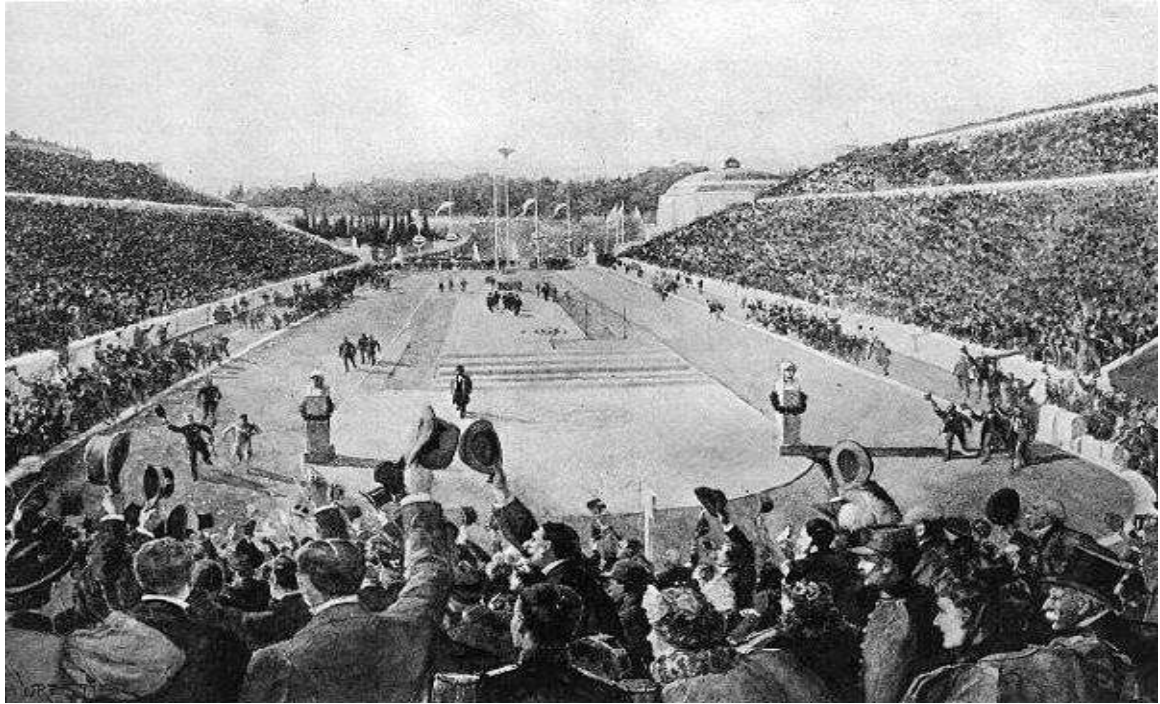
Ένας ακόμη ήρωας της περιοχής ήταν ο Φειδιππίδης, ένας αγγελιοφόρος μεγάλων αποστάσεων, ο οποίος ανέλαβε την ευθύνη να μεταφέρει τα χαρμόσυνα νέα της νίκης της μάχης του Μαραθώνα στην Αθήνα. Πρόκειται για έναν άθλο της εποχής εκείνης, καθώς η συγκεκριμένη διαδρομή αποτελείται από 42 km απόσταση, ανισόπεδο έδαφος και σε όλη την διάρκεια έτρεχε οπλισμένος με την πανοπλία του. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα αφού πει την λέξη «Νενικήκαμεν» να καταλήξει. Έτσι μετατράπηκε σε ήρωα και αποτέλεσε έμπνευση του αγωνίσματος του Μαραθωνίου δρόμου.

Πλέον, ο Μαραθώνιος δρόμος αποτελεί ένα από τα πιο δημοφιλή αγωνίσματα με συμμετοχές από όλο τον κόσμο. Διεξάγονται αγώνες σε διάφορες χώρες με τις πιο γνωστές, εκτός του κλασικού Μαραθωνίου της Αθήνας, να αποτελούν ο Μαραθώνιος της Βοστώνης και του Λονδίνου.

Όσον αφορά τον κλασικό Μαραθώνιο δρόμο, πρόκειται για αγώνισμα μεγάλης αποστάσεως (42.195 χλμ.), που περιλαμβάνεται στους Ολυμπιακούς Αγώνες από την πρώτη επίσημη διοργάνωση το 1896 στην Αθήνα.

Η ιδέα για την καθιέρωσή του ως άθλημα, προήλθε από τον Γάλλο φιλόλογο Μισέλ Μπρεάλ (1832-1915), ο οποίος έπεισε τον ιδρυτή και πρόεδρο της Διεθνούς Ολυμπιακής Επιτροπής και των σύγχρονων Ολυμπιακών Αγώνων, Πιερ ντε Κουμπερντέν (1863-1937), να το συμπεριλάβει στο πρόγραμμα των Α' Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας, σε ανάμνηση της νίκης των Ελλήνων κατά των Περσών στον Μαραθώνα (490 π.Χ.).

Η διαδρομή του Μαραθωνίου δεν ήταν εξαρχής σταθερή. Οι μαραθωνοδρόμοι στην Αθήνα έτρεχαν γύρω στα 40 km για μερικά έτη. Το 1924 η Διεθνής Ολυμπιακή Επιτροπή καθιέρωσε την απόσταση των 42.195 μέτρων, δηλαδή τη διαδρομή που διέτρεξαν οι δρομείς από τη βασιλική εξέδρα μέχρι το στάδιο, κατά τους Ολυμπιακούς Αγώνες του Λονδίνου το 1908.



Εικόνα Νο.10: Πρώτοι Ολυμπιακοί Αγώνες, 6 Απριλίου του 1896 .

(sansimera.gr)

Το αγώνισμα του Μαραθωνίου λαμβάνει χώρα σε δημόσιο ασφαλτοστρωμένο δρόμο. Η αφετηρία του βρίσκεται στο χωριό του Μαραθώνα και καταλήγει στο Παναθηναϊκό Στάδιο. Υπάρχουν συμμετοχές από όλες τις ηλικιακές, ευπαθείς και μη ομάδες και έχουν δημιουργηθεί επίσης μικρότεροι Μαραθώνιοι, των 1,2, 5 και 10 χιλιομέτρων.

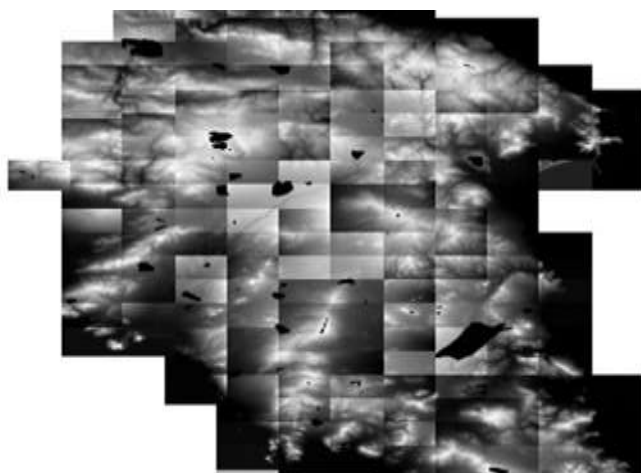
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

4.1. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

Αρχικά, απαραίτητη προϋπόθεση για να πραγματοποιηθεί η μελέτη προσομοίωσης του πλημμυρικού φαινομένου, ήταν να δημιουργηθεί ένας ψηφιακός χάρτης που να περιλαμβάνει το εξεταζόμενο σημείο. Αυτό για να επιτευχθεί προϋπέθετε, από ένα σύνολο περίπου 500 πινακίδων με ψηφίδες (raster), να επιλεγθούν οι συγκεκριμένες που αφορούσαν την περιοχή μελέτης. Οι πινακίδες αυτές, αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα του ελληνικού κτηματολογίου, η ανάλυση των οποίων είναι 5x5 m.

Οι πινακίδες raster, αποτελούν ψηφιακή χαρτογράφηση που λαμβάνει δορυφορικά δεδομένα και τα απεικονίζει με την μορφή φωτογραφιών, προσαρμοσμένες στους δύο άξονες, χωρίς να περιλαμβάνει συντεταγμένες.

Στην συνέχεια μέσω του προγράμματος QGIS, δημιουργήθηκε ένα ενιαίο αρχείο DTM το οποίο περιλάμβανε την εξεταζόμενη περιοχή.



Σχήμα Νο.3: Περιοχή μελέτης.

(QGIS).

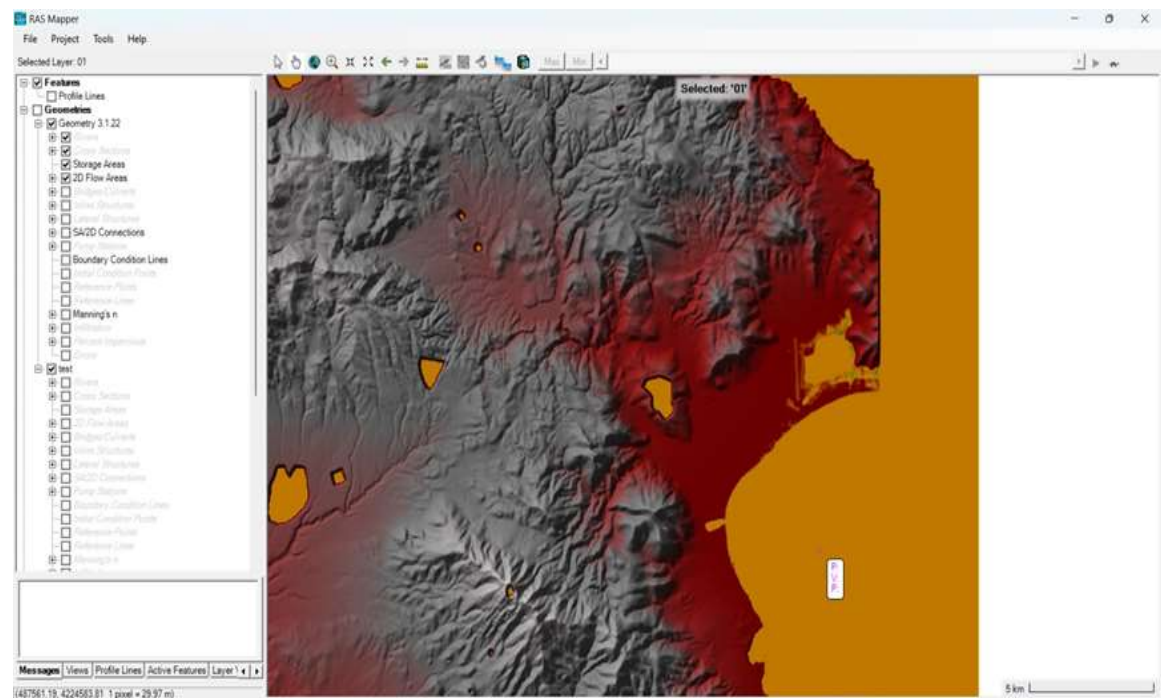
Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (DTM), έχουν να κάνουν με επιφάνειες που παράγονται με σκοπό την περιγραφή του εδάφους και περιλαμβάνουν υψομετρικές πληροφορίες. Αποτελούν ψηφιακή αναπαράσταση μίας γήινης επιφάνειας η οποία περιλαμβάνει υψομετρικά σημεία, τα οποία είναι κατανομημένα στον χώρο με σκοπό να προσομοιάζουν το ανάγλυφο μελέτης.

Αφού δημιουργήθηκε το απαιτούμενο ενιαίο αρχείο DTM μέσω του προγράμματος QGIS, απαραίτητη προϋπόθεση ήταν να πραγματοποιηθεί η σωστή γεωαναφορά στο σύστημα ΕΓΣΑ'87.

Το ΕΓΣΑ'87 αποτελεί το Ελληνικό Γεωγραφικό Σύστημα Συντεταγμένων το οποίο ορίστηκε το 1987. Πρόκειται για προβολή του καμπύλου εδάφους της γης στο χαρτί. Στο συγκεκριμένο δίκτυο αναφέρονται όλες οι απαραίτητες τεχνικές πληροφορίες καθώς και το Εθνικό κτηματολόγιο.

4.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ HEC-RAS

Αφού δημιουργήθηκε ο ψηφιακός χάρτης, πραγματοποιήθηκε δημιουργία νέας εργασίας στο HEC-RAS. Απαραίτητη προϋπόθεση ήταν να οριστεί εξ' αρχής το Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI (System International Unites). Στην πορεία, μέσω της επιλογής «RAS Mapper» και την εντολή «Tools» έγινε εισαγωγή του χάρτη και ξεκίνησε γραφικά η οριοθέτηση των περιοχών.



Σχήμα No.4: Εισαγωγή περιοχής μελέτης στο HEC-RAS.

(HEC-RAS).

Αρχικά, οριοθετήθηκε η περίμετρος εφαρμογής του πλημμυρικού φαινομένου και στην συνέχεια ακολούθησε η οριοθέτηση του ταμιευτήρα. Αφού δημιουργήθηκαν τα κύρια στοιχεία, ακολούθησε ο σχεδιασμός του φράγματος. Η εισαγωγή του φράγματος, έγινε μέσω της επιλογής «Geometry Data» και της εντολής «Add New Connection Between 2D Flows Areas/Storage Areas», η οποία σχεδιάστηκε γραφικά στο χάρτη.

Τέλος, σχεδιάστηκε με τον ίδιο τρόπο γραφικά και με την εντολή «Add Arc Outside or Entirely Inside a 2D Flow Area/Storage Area for New Boundary Condition Location», το τελικό όριο στο οποίο θα τερμάτιζε το φαινόμενο, που στην συγκεκριμένη περίπτωση ήταν η θάλασσα.



Σχήμα No.5 Οριοθέτηση εφαρμογής πλημμυρικού φαινομένου.

(HEC-RAS).

4.3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

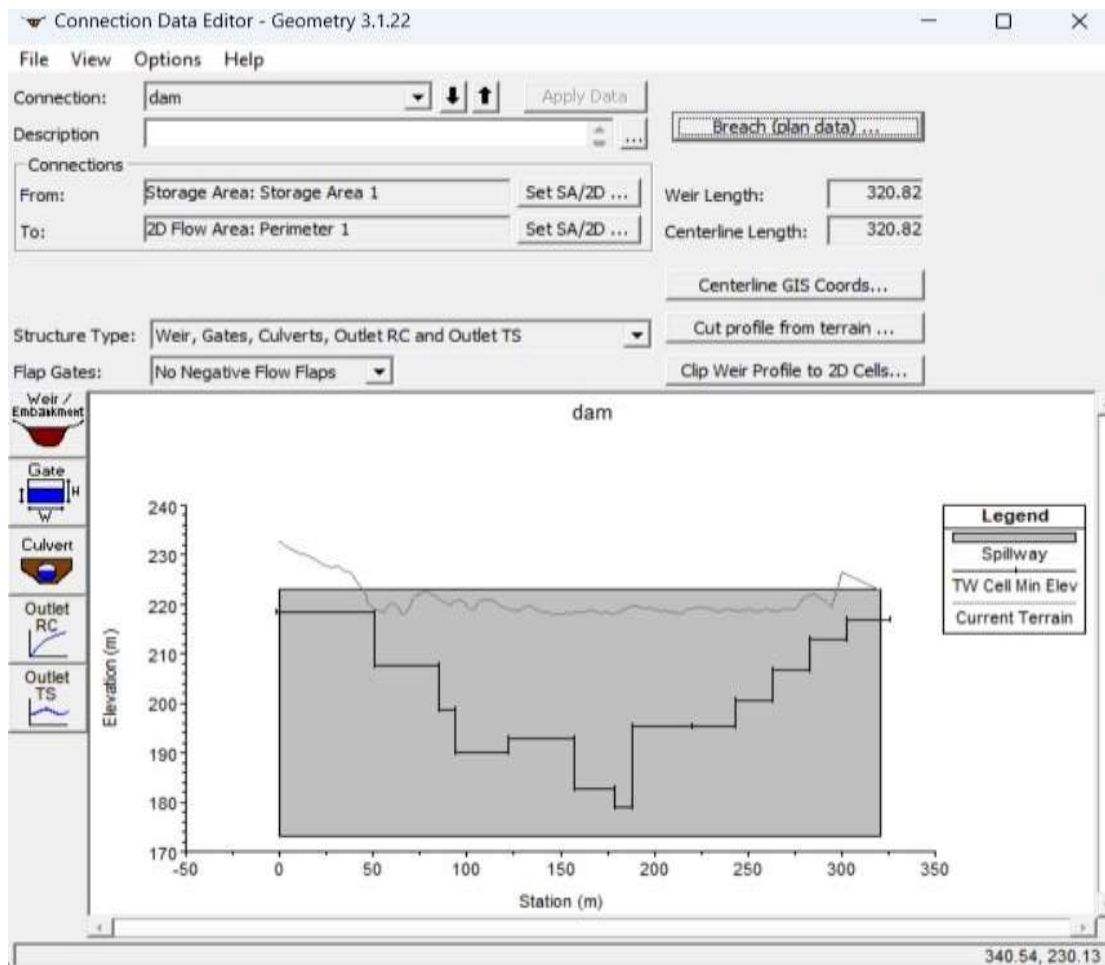
Ακολούθησε η εισαγωγή των απαραίτητων υπολογιστικών στοιχείων – δεδομένων. Από το παράθυρο «Geometry Data» και μέσω της επιλογής «2D Flow Area», ορίστηκαν οι υπολογιστικές αποστάσεις των σημείων (κάναβος), που στην περίπτωση μας είναι 20x20 m. Παρόλο που οι προαναφερθείσες πινακίδες εισάχθηκαν στο πρόγραμμα σε διάσταση 5x5 m, οι οποίες αποτελούν προϊόν του εθνικού κτηματολογίου, για υπολογιστικούς λόγους δημιουργήθηκε ένας πιο αδρομερής κάναβος υπολογισμών σε διάσταση 20x20 m. Αυτό αφορά την επί μέρους περιοχή μελέτης που θα εξετασθεί.

Το επόμενο στάδιο, ήταν να οριστεί συντελεστής τραχύτητας κατά «Manning», σύμφωνα με την παραδοχή ότι σε περιπτώσεις θραύσεων φραγμάτων, είναι αναγκαίο να οριστούν μεγαλύτεροι συντελεστές τραχύτητας. Ο λόγος είναι η ύπαρξη τύρβης, η οποία δεν μπορεί να υπολογιστεί στα ψηφιακά μοντέλα, και προκαλεί απώλεια ενεργειών. Ήταν απαραίτητο να οριστούν, εκτός από τον γενικό συντελεστή τραχύτητας, επί μέρους συντελεστές ανάλογα με το έδαφος, ώστε τα αποτελέσματα να αντικατοπτρίζουν την πραγματικότητα.

Για να επιτευχθεί το προαναφερθέν, έπρεπε αρχικά να γίνει εισαγωγή και σχεδιασμός με την μορφή πολυγώνων, στην συγκεκριμένη περίπτωση, των τριών διαφορετικών συντελεστών τραχύτητας στο «Ras Mapper» και στην συνέχεια, μέσω της επιλογής «Geometry Data» και της εντολής «2D Flow Area» να οριστούν οι διαφορετικές τιμές.

Στην πορεία, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή του ωφέλιμου όγκου νερού της λίμνης, μέσω της επιλογής «Storage Area», στην καρτέλα «Geometry Data» και ορίστηκε το υψόμετρο στο κατώτατο σημείο του φράγματος, το οποίο πάρθηκε σε σχέση με την στάθμη της θάλασσας. Ακολούθησε, η εισαγωγή των στοιχείων που αφορούσαν σε πιθανή θραύση του φράγματος.

Στην καρτέλα «Geometry Data» και μέσω της επιλογής «Edit Connections Between Storage Areas/2d Flow Areas», χρησιμοποιήθηκε η καρτέλα «Connection Data Editor», στην οποία φαίνεται η εγκάρσια τομή του φράγματος.



Σχήμα Νο.6 Τομή φράγματος.

(HEC-RAS).

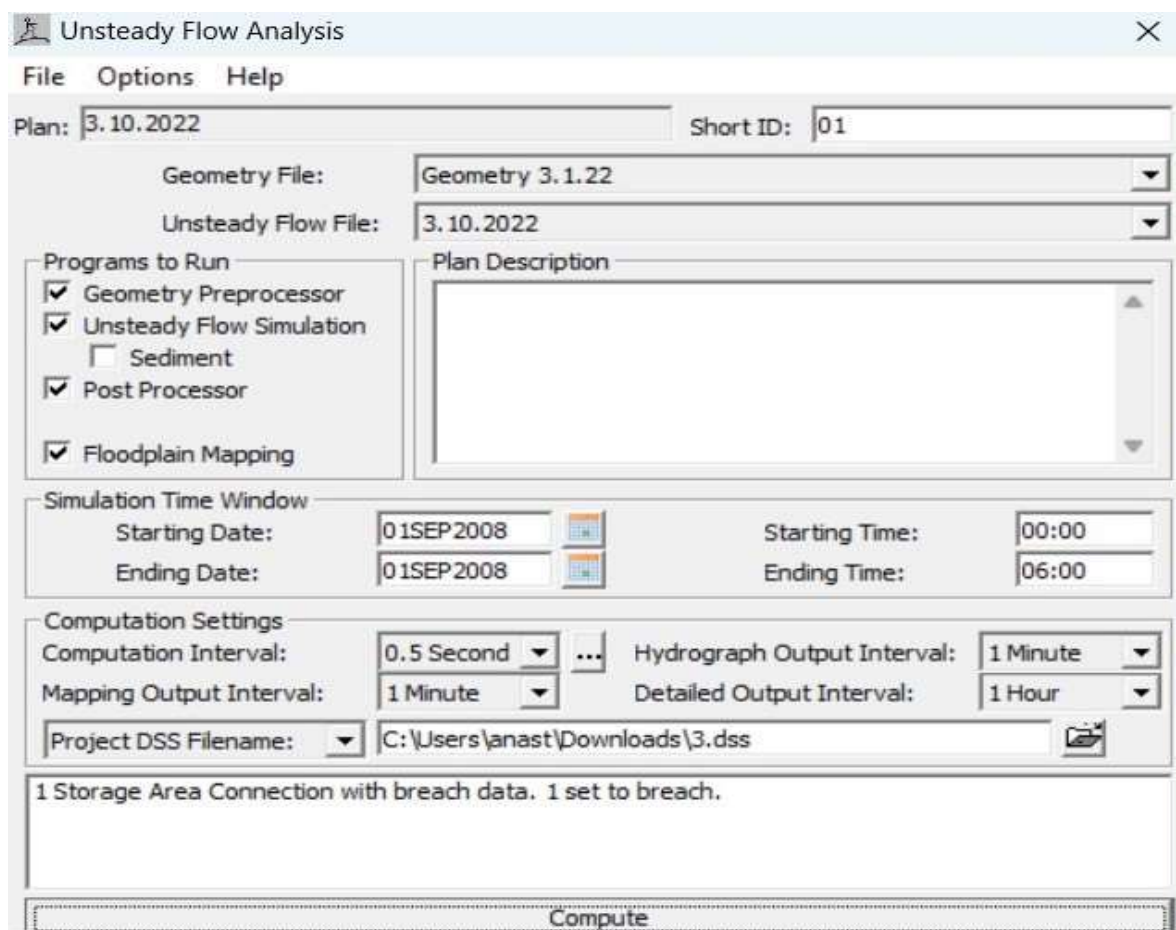
Με την χρήση της επιλογής «Connection Weir/Embankment Editor», προσδιορίστηκε το πλάτος στέψης, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία της ΕΥΔΑΠ και οριοθετήθηκε το υψόμετρο στέψης σύμφωνα με την μέση στάθμη της θάλασσας.

Στην συνέχεια, μέσω της επιλογής του αρχικού μενού του προγράμματος «View/Edit Unsteady Flow Data», έγινε προσθήκη των στοιχείων που αναφέρθηκαν παραπάνω, καθώς και της λίμνης και του εξωτερικού ορίου.

Αφού εισάχθηκαν τα παραπάνω στοιχεία, προχώρησε η πρόβλεψη της εισροής νερού στο φράγμα, μετά την θραύση. Η οποία επιλέχθηκε να είναι μία σταθερή εισροή της τάξης των $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

Το επόμενο βήμα, ήταν να οριστεί η ημερομηνία και οι ώρες έναρξης και λήξης του φαινομένου. Έτσι προχωρώντας στο κεντρικό μενού του «HEC – RAS», επιλέχθηκε η καρτέλα «Unsteady Flow Analysis». Από τη συγκεκριμένη καρτέλα, ορίστηκαν τα παραπάνω δεδομένα, καθώς και κάποια υπολογιστικά στοιχεία, όπως το «Computation Interval» και το

«Hydrograph Output Interval», τα οποία ορίζουν το διάστημα υπολογισμού του φαινομένου.



Σχήμα Νο.7 Ορισμός υπολογιστικών δεδομένων.

(HEC-RAS).

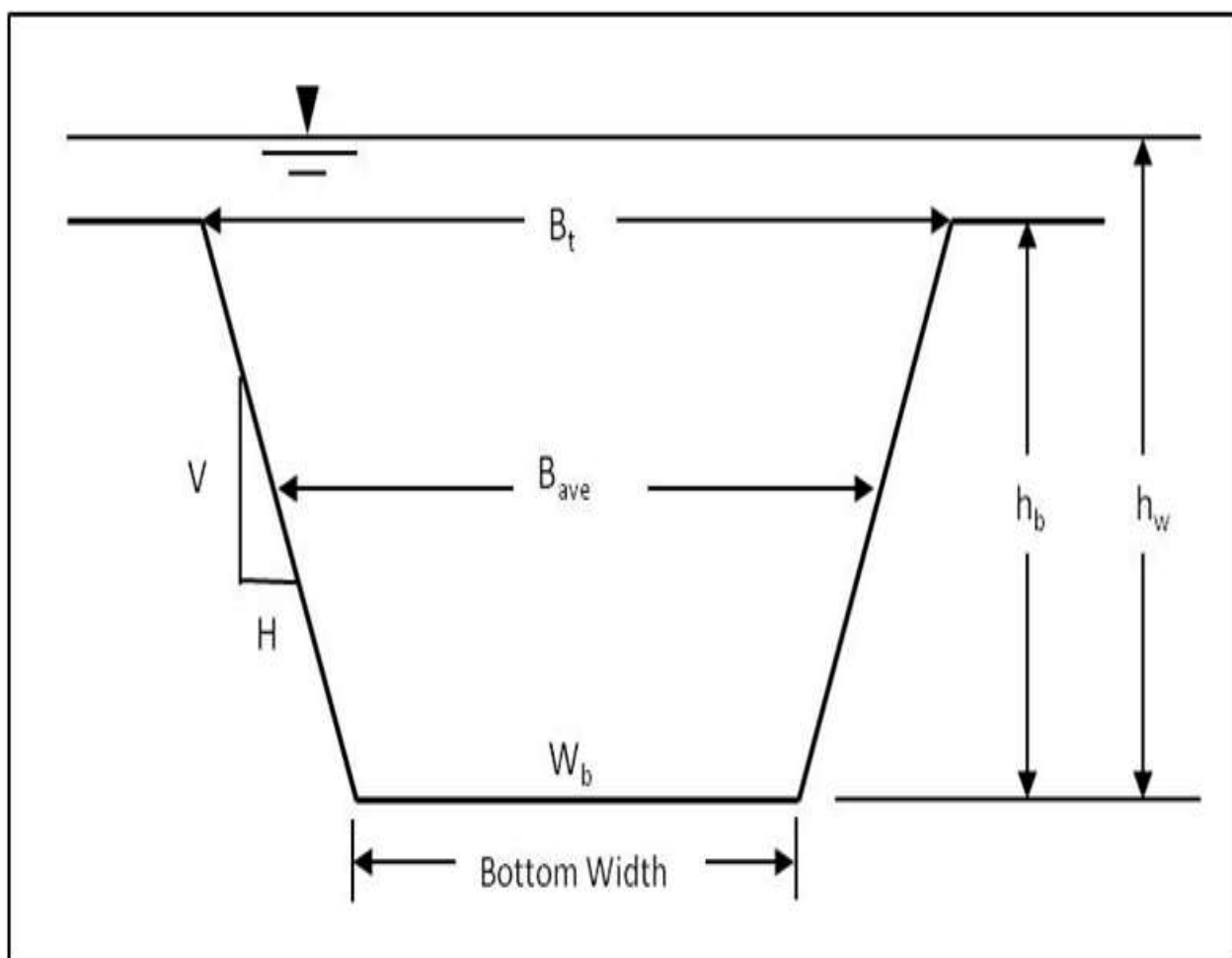
4.4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ

Το φράγμα του Μαραθώνα, παρόλο που χαρακτηρίζεται ως φράγμα βαρύτητας, στην πραγματικότητα, σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνονται από την ΕΥΔΑΠ, κατατάσσεται ως τοξωτό και τα δεδομένα λήφθηκαν σύμφωνα με αυτή την παράμετρο. Με αυτό τον τρόπο, ορίστηκε το ύψος και το πλάτος θραύσης, η κλίση στην οποία πραγματοποιείται το ρήγμα, καθώς και ο χρόνος από την έναρξη έως το τέλος της θραύσης. Οι παράμετροι αυτοί, απαιτούνται ώστε να περιγράψουν την θραύση του φράγματος και η εκτίμησή τους είναι από τις σημαντικότερες και πιο αβέβαιες διαδικασίες.

Πιο αναλυτικά, οι παράμετροι είναι οι εξής:

- Το ύψος θραύσης (h_b), το οποίο αντιστοιχεί στην κάθετη απόσταση από την κορυφή του φράγματος έως το κατώτατο σημείο του ρήγματος.
- Το μέσο πλάτος θραύσης (B_{avg}), το οποίο αφορά την οριζόντια απόσταση του ρήγματος, αλλά σε ενδιάμεση ως προς το ύψος στάση.
- Το πλάτος θραύσης (W_b), το οποίο αφορά την οριζόντια απόσταση του ρήγματος, στον πυθμένα του.

Επιπροσθέτως, σε αρκετές έρευνες χρησιμοποιούν το ύψος του νερού (h_w), το οποίο αντιστοιχεί στην απόσταση από την μέγιστη επιφάνεια του νερού ως το υψόμετρο της θραύσης. Τέλος, ακόμη μία παράμετρος η οποία αποτελεί πολύ σημαντικό ρόλο, είναι η κλίση των πρανών. Αυτή εκφράζεται ως H:V και έχει να κάνει με τις οριζόντιες μονάδες απόστασης προς κάθε μία μονάδα στην κατακόρυφο.



Σχήμα Νο.8 Περιγραφή των παραμέτρων θραύσης.

5. ΣΕΝΑΡΙΑ ΘΡΑΥΣΗΣ

Μια συνηθισμένη μέθοδος προσομοίωσης ενός πλημμυρικού φαινομένου, αποτελεί η δημιουργία σεναρίων θραύσης τα οποία διαμορφώνονται με διαφορετικούς συντελεστές, ώστε να επιτευχθεί όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση. Στην παρούσα μελέτη, εξετάστηκαν τρία πιθανά σενάρια θραύσης στα οποία διαφοροποιήθηκαν οι συντελεστές τραχύτητας, καθώς και οι παραπάνω παράμετροι. Η διαφοροποίηση αυτή, αφορούσε σε αύξηση και μείωση των συντελεστών κατά δέκα τοις εκατό, με σκοπό τα αποτελέσματα της μελέτης είναι όσο το δυνατόν πιο προσεγγιστικά στην πραγματικότητα.

Σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα, ο οποίος προέρχεται από το εγχειρίδιο του HEC –RAS, επιλέχθηκαν οι παράμετροι θραύσης.

Dam Type	Average Breach Width B_{ave}	Horizontal Component of Breach Side Slope (H) H:1V	Failure Time t_r (hrs)	Agency
Earthen/ Rockfill	(0.5 to 3.0) x HD	0 to 1.0	0.5 to 4.0	COE 1980
	(1.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0	0.1 to 1.0	FERC
	(2.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0 (slightly larger)	0.1 to 1.0	NWS
	(0.5 to 5.0) x HD*	0 to 1.0	0.1 to 4.0*	COE 2007
Concrete Gravity	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	COE 1980
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.3	FERC
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.2	NWS
	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	COE 2007
Concrete Arch	Entire Dam	Valley wall slope	≤ 0.1	COE 1980
	Entire Dam	0 to valley walls	≤ 0.1	FERC
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	NWS
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	COE 2007
Slag/ Refuse	(0.8 x L) to L	1.0 to 2.0	0.1 to 0.3	FERC
	(0.8 x L) to L		≤ 0.1	NWS

Πίνακας Νο. 1 επιλογή παραμέτρων βάσει κατασκευής.

(HEC-RAS Manual).

Όπου: COE - The Council of Europe,
FERC – Federal Energy Regulatory Commission,
NWS - National Weather Service.

Όσον αφορά τους συντελεστές τραχύτητας (manning), οι παραδοχές πάρθηκαν εξίσου σύμφωνα με το εγχειρίδιο του HEC – RAS.

NLCD Value	NLCD Land Cover Type	Range of n (HEC-RAS 2D Manual)	Suggested Initial n	n (NRCS)	Percent Impervious
11	Open Water	0.025 - 0.05	0.035	0.04	100
12	Perennial Ice/Snow	N/A	N/A	N/A	N/A
21	Developed, Open Space	0.03 - 0.05	0.035	0.04	10
22	Developed, Low Intensity	0.06 - 0.12	0.08	0.1	35
23	Developed, Medium Intensity	0.08 - 0.16	0.12	0.08	65
24	Developed, High Intensity	0.12 - 0.20	0.15	0.15	90
31	Barren Land (Rock/Sand/Clay)	0.023 - 0.030	0.03	0.025	0
41	Deciduous Forest	0.10 - 0.20	0.1	0.16	0
42	Evergreen Forest	0.08 - 0.16	0.15	0.16	0
43	Mixed Forest	0.08 - 0.20	0.12	0.16	0
51	Dwarf Scrub*	0.025 - 0.05	N/A	N/A	0
52	Shrub/Scrub	0.07 - 0.16	0.08	0.1	0
71	Grassland/Herbaceous	0.025 - 0.05	0.04	0.035	0
72	Sedge/Herbaceous*	0.025 - 0.05	0.04	N/A	0
73	Lichens*	N/A	N/A	N/A	N/A
74	Moss*	N/A	N/A	N/A	N/A
81	Pasture/Hay	0.025 - 0.05	0.045	0.03	0
82	Cultivated Crops	0.020 - 0.05	0.05	0.035	0
90	Woody Wetlands	0.045 - 0.15	0.08	0.12	50
95	Emergent Herbaceous Wetlands	0.05 - 0.085	0.06	0.07	75

Πίνακας Νο. 2 Συντελεστές τραχύτητας.

(HEC-RAS

Manual).

Η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε και στα τρία σενάρια στο πρόγραμμα «HEC-RAS», είναι η ακόλουθη. Στην καρτέλα «Geometry data» και μέσω της επιλογής «Edit Connections between Storage Areas/2d Flow Areas» ανοίχτηκε ένα παράθυρο το οποίο φαινόταν η μηκοτομή του φράγματος. Σε αυτό το παράθυρο μέσω της επιλογής «Breach (Plan Data)» ξεκίνησε η εισαγωγή δεδομένων της θραύσης του φράγματος. Έτσι, το τελευταίο κομμάτι της διαδικασίας επαναλήφθηκε τρεις φορές, με διαφορετικές τιμές, όσες και τα σενάρια θραύσης τα οποία αναλύονται παρακάτω.

Το πρώτο σενάριο διαμορφώνεται με τα εξής χαρακτηριστικά: το ύψος θραύσης του φράγματος βρίσκεται στα 47 m., το μέσο πλάτος θραύσης στα 228 m., ο χρόνος θραύσης οριοθετείται στα 6 λεπτά, ο γενικός συντελεστής τραχύτητας έχει την τιμή 0,06, ο οποίος θα είναι ο ίδιος με τον συντελεστή τραχύτητας της πόλης, ενώ ο συντελεστής τραχύτητας του βουνού και της πεδιάδας θα έχει τις τιμές 0,1 και 0,08 αντίστοιχα.

Το δεύτερο σενάριο υπολογίστηκε με τα εξής χαρακτηριστικά: το ύψος θραύσης του φράγματος βρίσκεται στα 51,7 m., το μέσο πλάτος θραύσης στα 250,8 m., ο χρόνος θραύσης οριοθετείται στα 6,6 λεπτά, ο γενικός συντελεστής τραχύτητας έχει την τιμή 0,066, ο συντελεστής τραχύτητας της πόλης ορίζεται στην τιμή 0,066, ενώ ο συντελεστής τραχύτητας του βουνού και της πεδιάδας θα έχει τις τιμές 0,11 και 0,088 αντίστοιχα.

Το τρίτο και τελευταίο σενάριο ορίζεται ως εξής: το ύψος θραύσης του φράγματος βρίσκεται στα 42,3 m., το μέσο πλάτος θραύσης στα 205,2 m., ο χρόνος θραύσης οριοθετείται στα 5,4 λεπτά, ο γενικός συντελεστής τραχύτητας έχει την τιμή 0,054, ο συντελεστής τραχύτητας της πόλης ορίζεται στην τιμή 0,054, ενώ ο συντελεστής τραχύτητας του βουνού και της πεδιάδας θα έχει τις τιμές 0,09 και 0,072 αντίστοιχα.

Για τα τρία σενάρια, οι συντεταγμένες που επιλέχθηκαν για την αποτύπωση του βάθους νερού, καθώς και της ταχύτητας του φαινομένου, είναι οι εξής: Χ: 496025.36, Υ: 4223184.21 (ΕΓΣΑ 87) και αποτελούν κεντρικό σημείο εισόδου στον οικισμό του Μαραθώνα, όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω χάρτη.



Εικόνα Νο.11: Συντεταγμένες σε κεντρικό σημείο εισόδου στον οικισμό του Μαραθώνα.

5.1. ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟΥΜΕΡΟ 1: (Μεσαίας Έκτασης Ρήγμα)

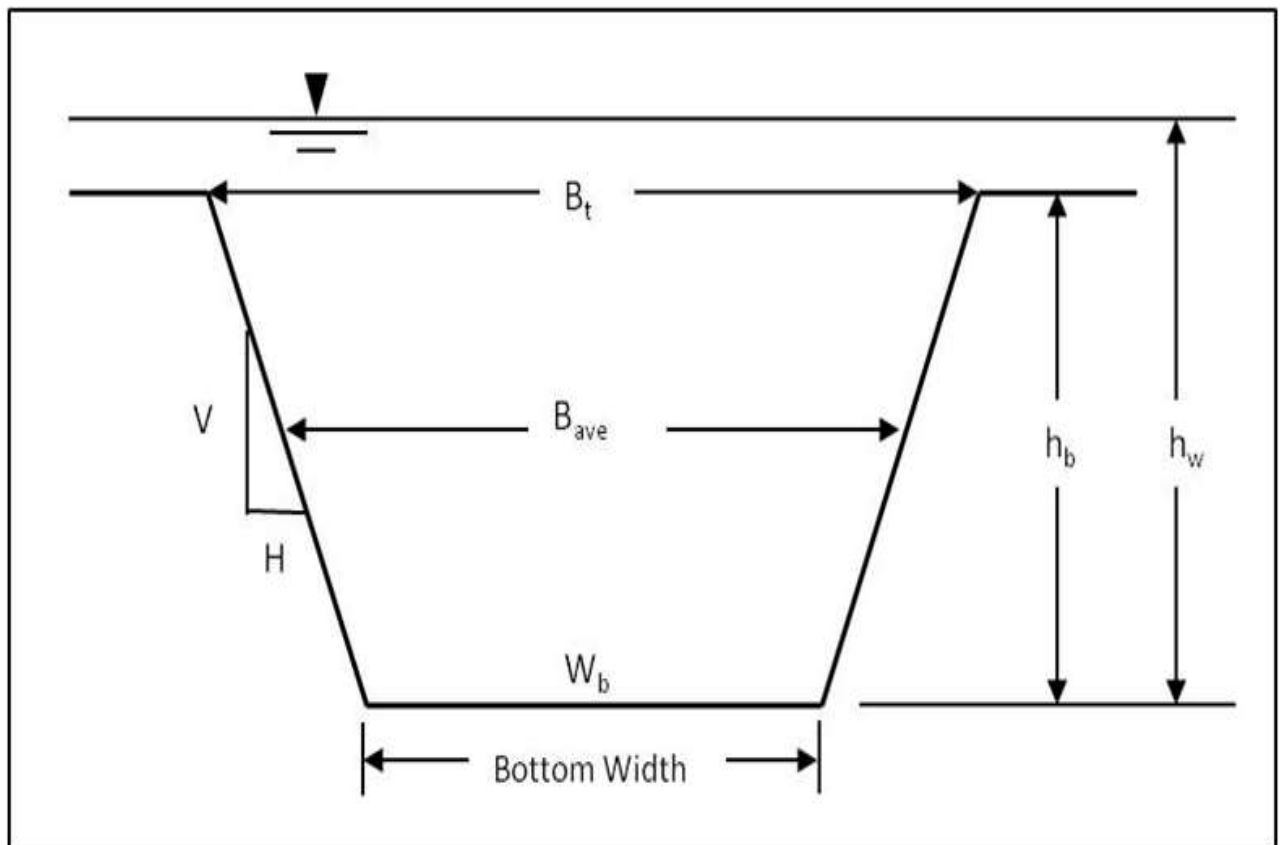
Ύψος Ρήγματος (H_b) = 47m (το μέγεθος εκτιμήθηκε εμπειρικά)

Μέσο πλάτος θραύσης (B_{ave}) : $0,8 \times 285\mu (L) = 228m$

Μέση κλίση (V/H) = 0

Χρόνος ολοκλήρωσης θραύσης (t) = 6 min

(Τα παραπάνω στοιχεία αντλούνται σύμφωνα το Σχήμα Νο. 8 και τον Πίνακα Νο. 1, όπου για ευκολία παρατίθενται παρακάτω.)



Dam Type	Average Breach Width B_{ave}	Horizontal Component of Breach Side Slope (H) H:1V	Failure Time t_r (hrs)	Agency
Earthen/ Rockfill	(0.5 to 3.0) x HD (1.0 to 5.0) x HD (2.0 to 5.0) x HD (0.5 to 5.0) x HD*	0 to 1.0 0 to 1.0 0 to 1.0 (slightly larger) 0 to 1.0	0.5 to 4.0 0.1 to 1.0 0.1 to 1.0 0.1 to 4.0*	COE 1980 FERC NWS COE 2007
Concrete Gravity	Multiple Monoliths Usually $\leq 0.5 L$ Usually $\leq 0.5 L$ Multiple Monoliths	Vertical Vertical Vertical Vertical	0.1 to 0.5 0.1 to 0.3 0.1 to 0.2 0.1 to 0.5	COE 1980 FERC NWS COE 2007
Concrete Arch	Entire Dam Entire Dam (0.8 x L) to L (0.8 x L) to L	Valley wall slope 0 to valley walls 0 to valley walls 0 to valley walls	≤ 0.1 ≤ 0.1 ≤ 0.1 ≤ 0.1	COE 1980 FERC NWS COE 2007
Slag/ Refuse	(0.8 x L) to L (0.8 x L) to L	1.0 to 2.0	0.1 to 0.3 ≤ 0.1	FERC NWS

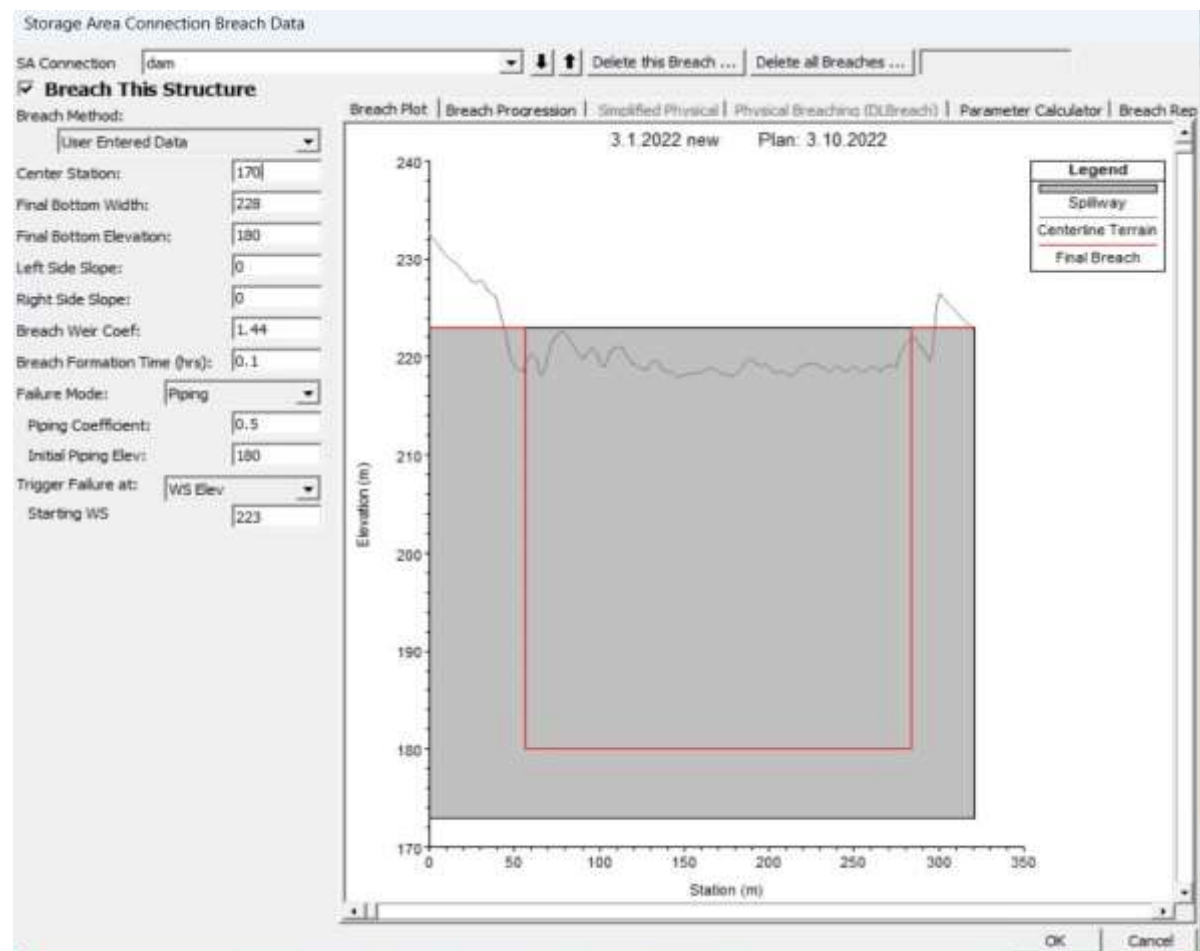
5.1.1. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ

Γενικός = 0,06 , Πόλη = 0,06 , Βουνό = 0,10 , Πεδιάδα = 0,08

(από πίνακα Νο. 2, που παρατίθεται για ευκολία παρακάτω)

NLCD Value	NLCD Land Cover Type	Range of n (HEC-RAS 2D Manual)	Suggested Initial n	n (NRCS)	Percent Impervious
11	Open Water	0.025 - 0.05	0.035	0.04	100
12	Perennial Ice/Snow	N/A	N/A	N/A	N/A
21	Developed, Open Space	0.03 - 0.05	0.035	0.04	10
22	Developed, Low Intensity	0.06 - 0.12	0.08	0.1	35
23	Developed, Medium Intensity	0.08 - 0.16	0.12	0.08	65
24	Developed, High Intensity	0.12 - 0.20	0.15	0.15	90
31	Barren Land (Rock/Sand/Clay)	0.023 - 0.030	0.03	0.025	0
41	Deciduous Forest	0.10 - 0.20	0.1	0.16	0
42	Evergreen Forest	0.08 - 0.16	0.15	0.16	0
43	Mixed Forest	0.08 - 0.20	0.12	0.16	0
51	Dwarf Scrub*	0.025 - 0.05	N/A	N/A	0
52	Shrub/Scrub	0.07 - 0.16	0.08	0.1	0
71	Grassland/Herbaceous	0.025 - 0.05	0.04	0.035	0
72	Sedge/Herbaceous*	0.025 - 0.05	0.04	N/A	0
73	Lichens*	N/A	N/A	N/A	N/A
74	Moss*	N/A	N/A	N/A	N/A
81	Pasture/Hay	0.025 - 0.05	0.045	0.03	0
82	Cultivated Crops	0.020 - 0.05	0.05	0.035	0
90	Woody Wetlands	0.045 - 0.15	0.08	0.12	50
95	Emergent Herbaceous Wetlands	0.05 - 0.085	0.06	0.07	75

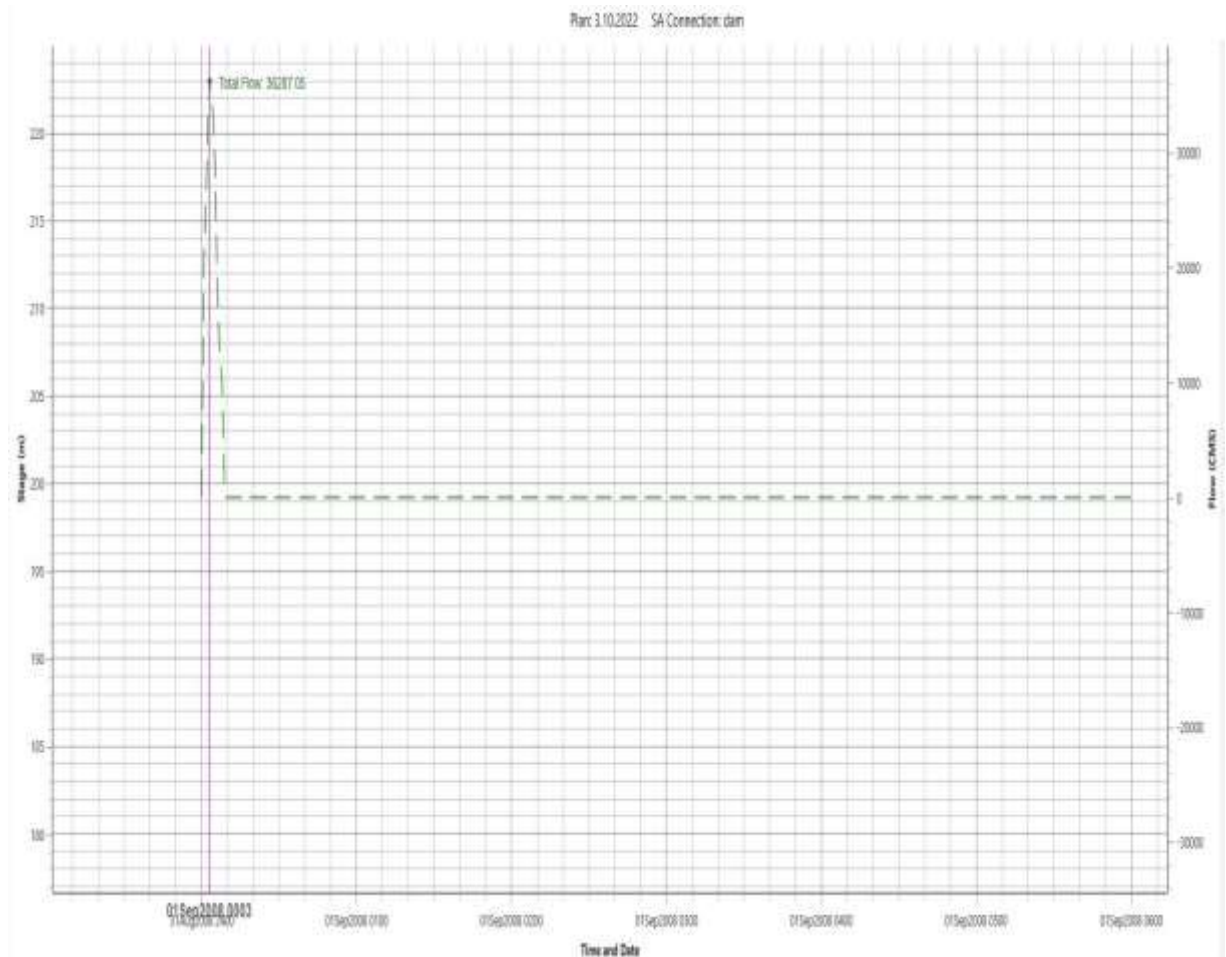
Αρχικά, μέσω της καρτέλας “Geometry Data” και της επιλογής “2D Flow Area”, ορίστηκαν οι συντελεστές τραχύτητας. Στην συνέχεια στην ίδια καρτέλα, αλλά στην επιλογή “Breach Plan Data”, δόθηκαν τα παραπάνω δεδομένα και προέκυψε το παρακάτω σχήμα θραύσης.



Σχήμα Νο.9 Εισαγωγή Παραμέτρων Θραύσης.

(HEC-RAS).

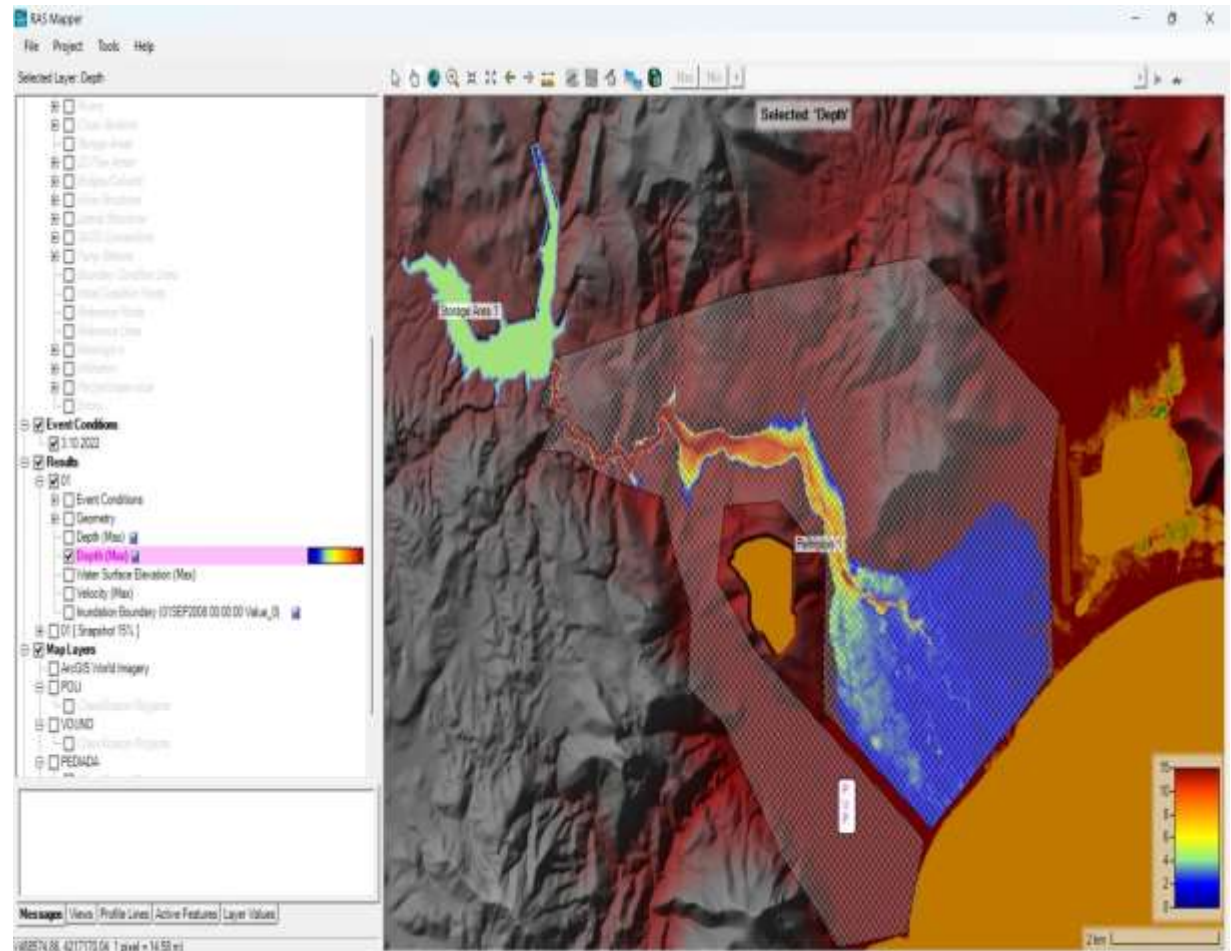
Το υδρογράφημα του φράγματος το οποίο προέκυψε από τα δεδομένα που εισάχθηκαν βρίσκεται στο ακόλουθο σχήμα, το οποίο αναπαριστά την παροχή νερού που προκύπτει στο φράγμα μετά την θραύση. Παρατηρείται ότι η στάθμη μειώθηκε σχεδόν όλη, μέσα σε 8 λεπτά της ώρας και στο αρχικό διάστημα των 3 λεπτών παρατηρήθηκε το μέγιστο σημείο της παροχής, 36.287 m³/s.



Σχήμα No.10 Υδρογράφημα φράγματος.

(HEC-RAS).

Παράλληλα, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα , παρατηρείται η διάδοση του πλημμυρικού κύματος. Ξεκινά με σκούρο κόκκινο χρώμα, που προσδιορίζει το μέγιστο βάθος, ήτοι 15 m. και κατά την εξέλιξη του φαινομένου παρατηρείται μια διαπλάτυνση, καθώς και μείωση του βάθους, όπως φαίνεται και από το πλέον μπλε χρώμα.



Σχήμα No.11 Διάδοση πλημμυρικού φαινομένου ως προς το βάθος ροής.

(HEC-RAS).

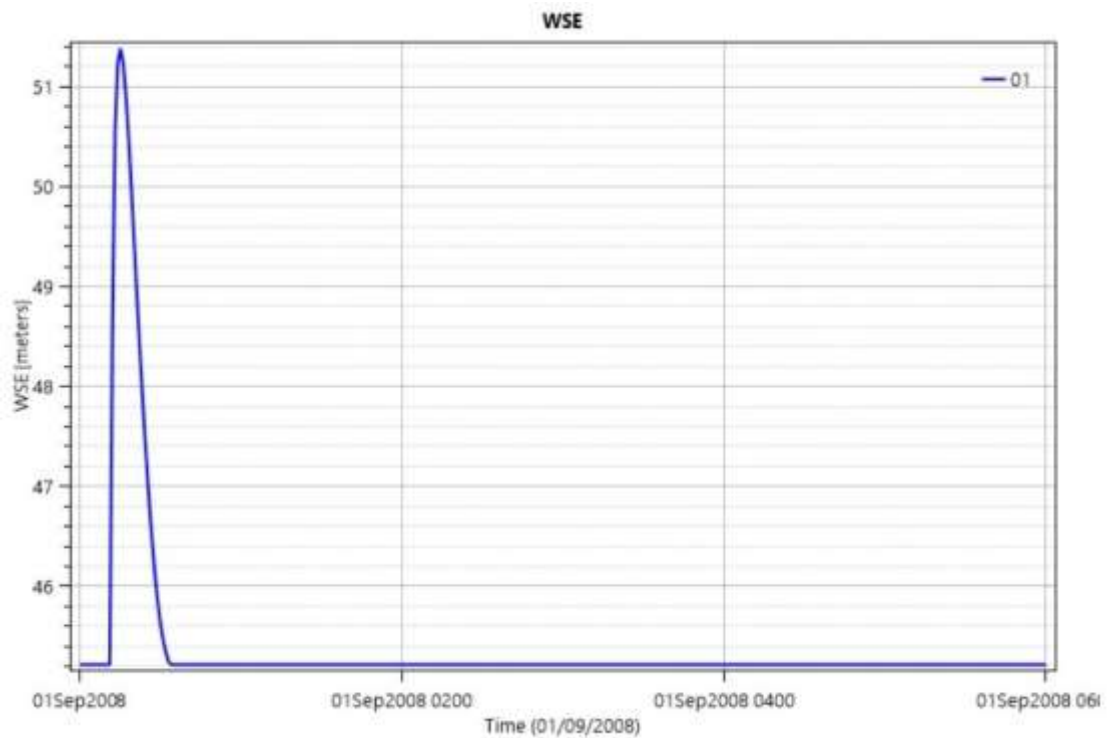
Στη συνέχεια, έγινε εισαγωγή των δεδομένων του σχήματος Νο. 11 που αναφέρθηκαν προηγουμένως, στο πρόγραμμα Q-GIS και μέσω αυτού δημιουργήθηκε ο παρακάτω χάρτης, ο οποίος παρουσιάζει τα όρια της πλημμύρας. Όπως φαίνεται στον χάρτη, σχεδόν όλη η περιοχή του Μαραθώνα καλύπτεται από νερό.



Σχήμα Νο.12 διόδευση πλημμυρικού φαινομένου μεταφερόμενο στο QGIS.

(QGIS).

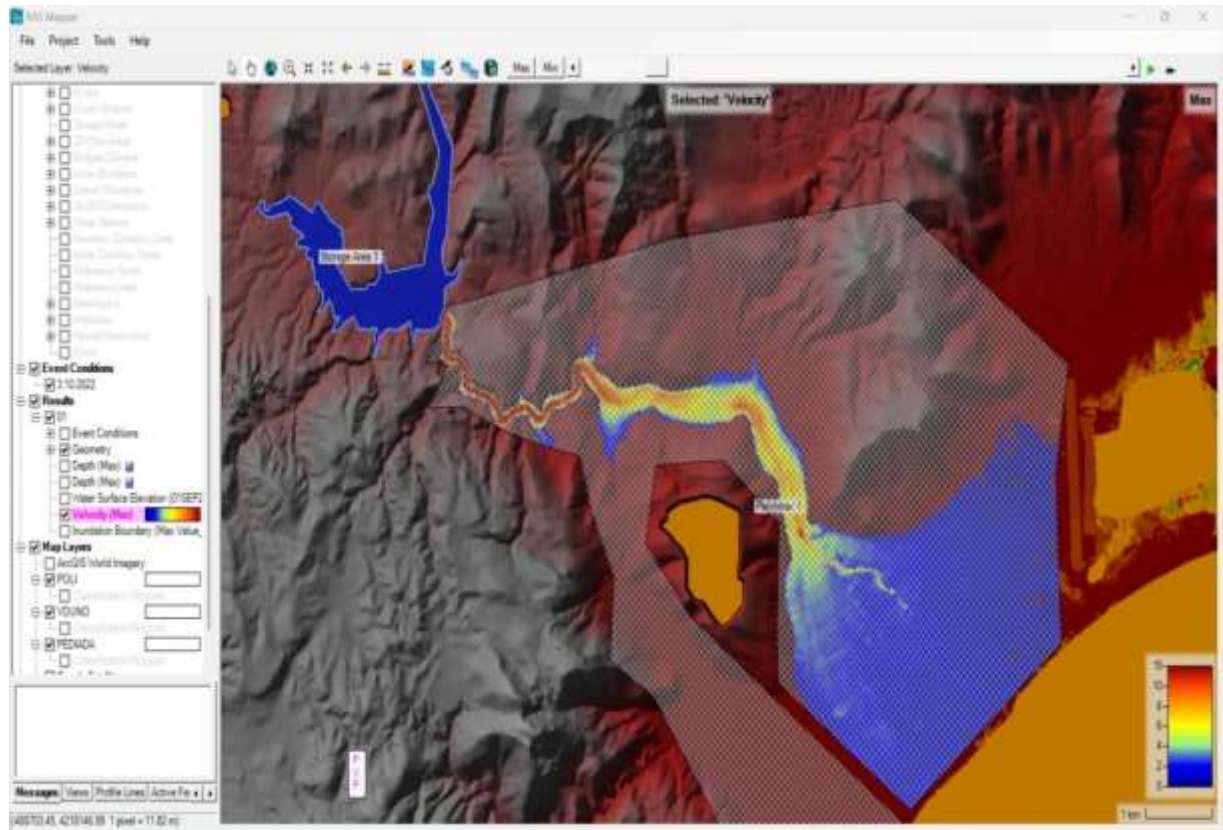
Στο παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζεται το απόλυτο βάθος του πλημμυρικού φαινομένου στις συντεταγμένες x: 496025.36, γ: 4223184.21 (ΕΓΣΑ 87), οι οποίες αποτελούν σημείο εισόδου στον οικισμό. Σε χρόνο μηδέν, το υψόμετρο του εδάφους αντιστοιχεί σε 45,22 m., στα επόμενα 12 λεπτά της ώρας μετά την θραύση, η στάθμη ανέρχεται στα 48,48 m. (3,27 m. νερό) στην συνέχεια, στο 15^ο λεπτό, η στάθμη φθάνει στο μέγιστο υψόμετρο, στα 51,38 m. (6,16 m. νερό). Τέλος, για τα επόμενα 18 λεπτά της ώρας υπάρχει σταδιακή μείωση της στάθμης του νερού όπου και τερματίζει το φαινόμενο.



Σχήμα Νο.13 υψόμετρο απόλυτου βάθους νερού. (x: 496025.36, γ: 4223184.21)

(HEC-RAS).

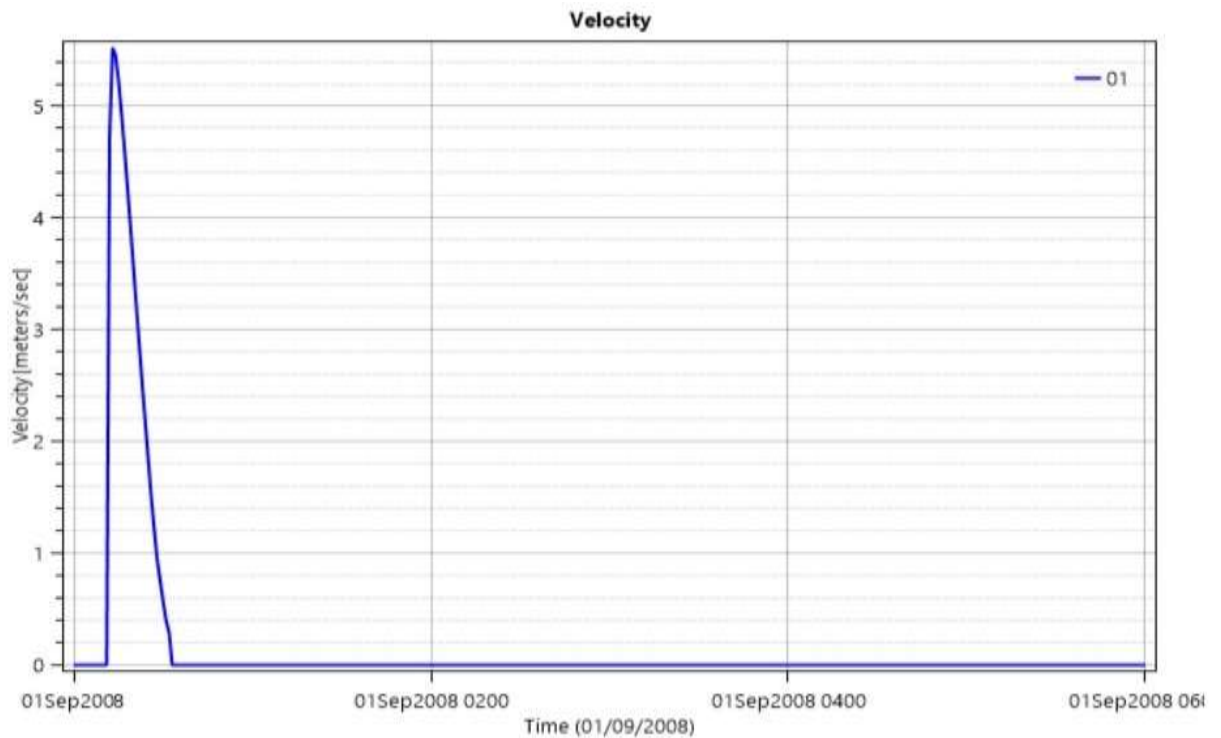
Όσον αφορά την ταχύτητα του φαινομένου που εξελίσσεται σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, τα μέγιστα επίπεδα ταχύτητας, φτάνουν τα 15 m/s τα οποία αντιστοιχούν σε 54 km/h και φαίνονται με σκούρο κόκκινο χρώμα.



Σχήμα Νο.14 ταχύτητα πλημμυρικού φαινομένου.

(HEC-RAS).

Το παρακάτω διάγραμμα αναπαριστά την ταχύτητα εισόδου του πλημμυρικού φαινομένου στο οικισμό, η οποία φτάνει τα 4,77 m/s, τα οποία αντιστοιχούν σε 17,17 km/h. Το νερό εισέρχεται στο χωριό του Μαραθώνα σε 12 λεπτά από τη θραύση. Στην επόμενο λεπτό φθάνει την μέγιστη τιμή των 5,58 m/s και στην συνέχεια επέρχεται μείωση για τα επόμενα 21 λεπτά, όπου και τερματίζεται το φαινόμενο.



Σχήμα No.15 μέγιστη ταχύτητα πλημμυρικού φαινομένου. (x: 496025.36, y: 4223184.21)

(HEC-RAS).

5.2. ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟΥΜΕΡΟ 2: (Μεγάλης Έκτασης Ρήγμα)

Τα παρακάτω δεδομένα λήφθηκαν βάσει των τιμών του σεναρίου 1, προσαυξημένα κατά 10%.

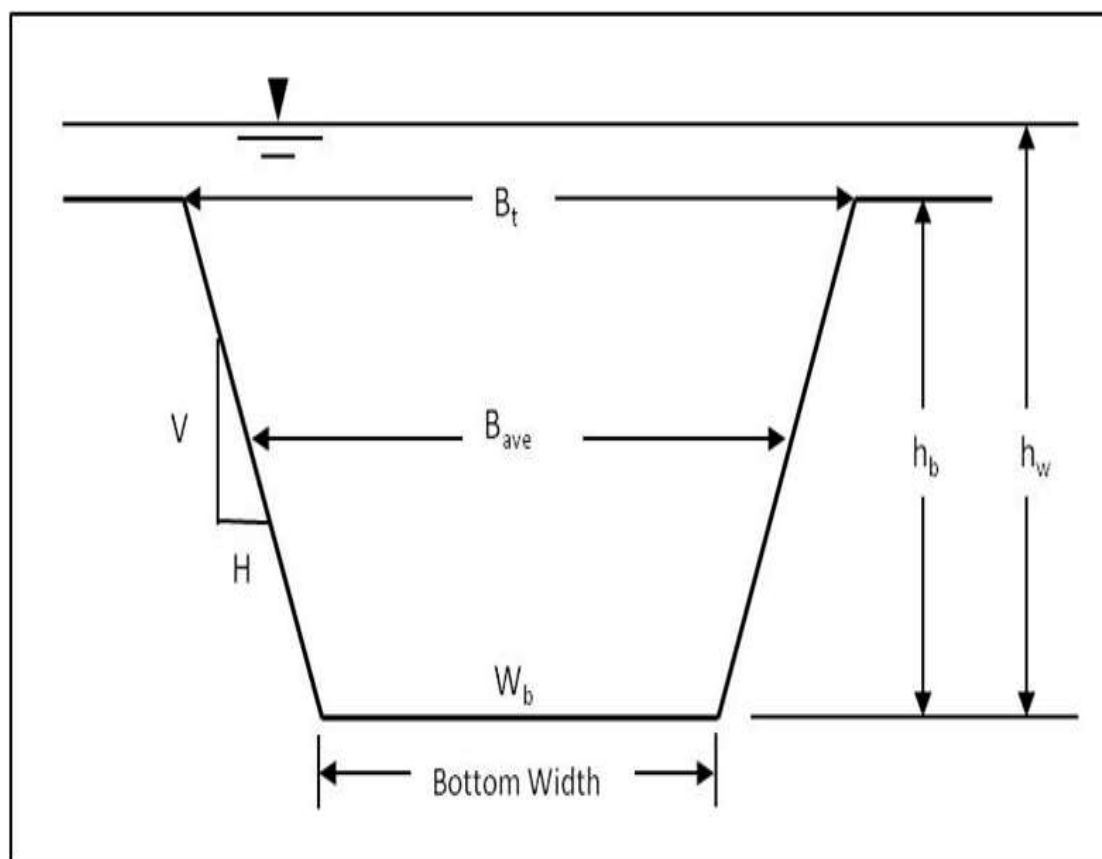
Ύψος Ρήγματος (H_b): $47 + 10\% = 51.7\text{m}$

Μέσο πλάτος θραύσης (B_{ave}): $0,8 \times 285\mu (L) + 10\% = 250,8\text{m}$

Μέση κλίση (V/H) = 0

Χρόνος ολοκλήρωσης θραύσης (t) = 6,6 min

(Τα παραπάνω στοιχεία αντλούνται σύμφωνα το Σχήμα Νο. 8 και τον Πίνακα Νο. 1, όπου για ευκολία παρατίθενται παρακάτω.)



Dam Type	Average Breach Width B_{ave}	Horizontal Component of Breach Side Slope (H) H:1V	Failure Time t_r (hrs)	Agency
Earthen/ Rockfill	(0.5 to 3.0) x HD	0 to 1.0	0.5 to 4.0	COE 1980
	(1.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0	0.1 to 1.0	FERC
	(2.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0 (slightly larger)	0.1 to 1.0	NWS
	(0.5 to 5.0) x HD*	0 to 1.0	0.1 to 4.0*	COE 2007
Concrete Gravity	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	COE 1980
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.3	FERC
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.2	NWS
	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	COE 2007
Concrete Arch	Entire Dam	Valley wall slope	≤ 0.1	COE 1980
	Entire Dam	0 to valley walls	≤ 0.1	FERC
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	NWS
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	COE 2007
Slag/ Refuse	(0.8 x L) to L	1.0 to 2.0	0.1 to 0.3	FERC
	(0.8 x L) to L		≤ 0.1	NWS

5.2.1. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ

Γενικός = $0,06 + 10\% = 0,066$,

Πόλη = $0,06 + 10\% = 0,066$,

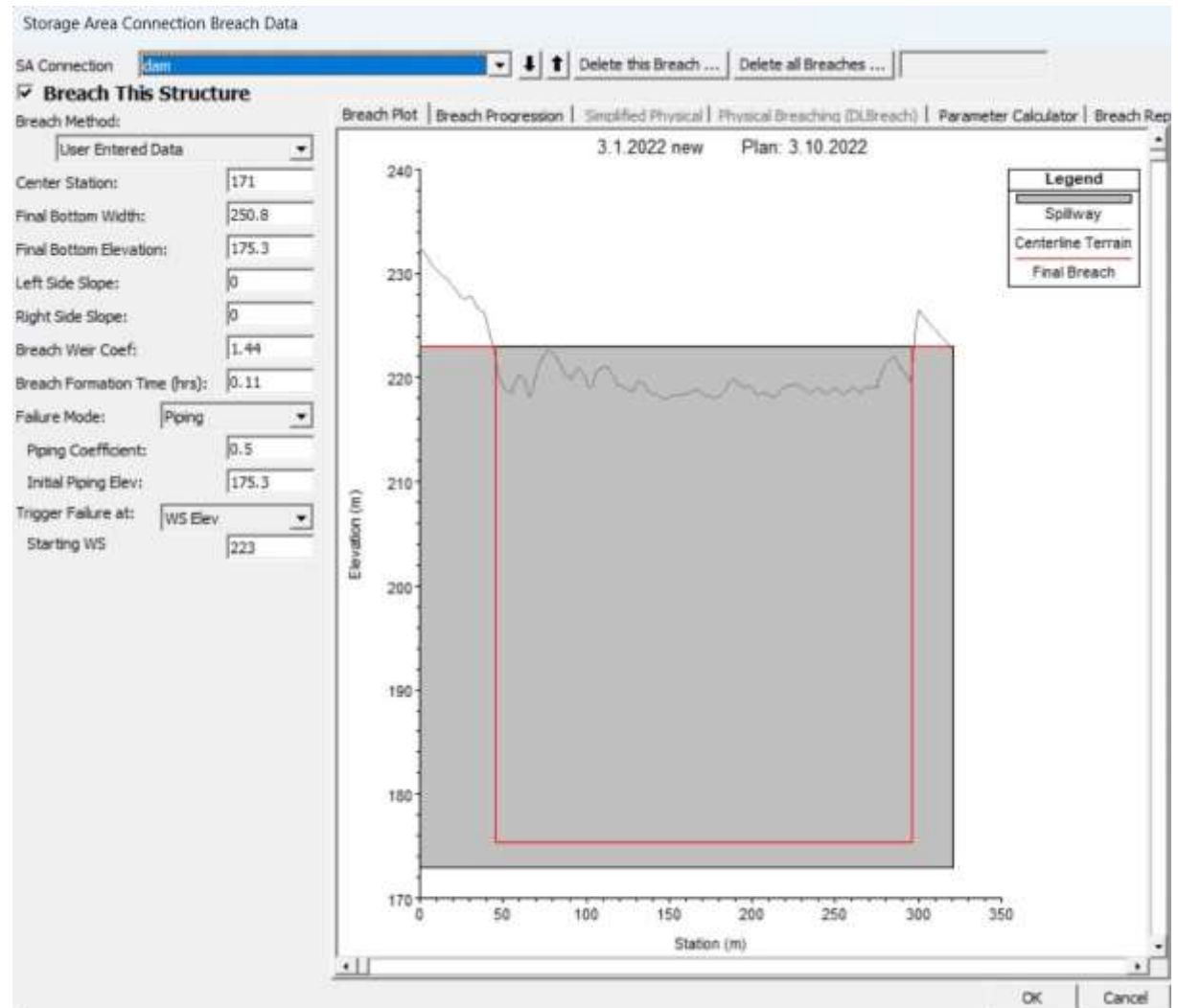
Βουνό = $0,1 + 10\% = 0,11$,

Πεδιάδα = $0,08 + 10\% = 0,088$

(από πίνακα Νο. 2, που παρατίθεται για ευκολία παρακάτω)

NLCD Value	NLCD Land Cover Type	Range of n (HEC-RAS 2D Manual)	Suggested Initial n	n (NRCS)	Percent Impervious
11	Open Water	0.025 - 0.05	0.035	0.04	100
12	Perennial Ice/Snow	N/A	N/A	N/A	N/A
21	Developed, Open Space	0.03 - 0.05	0.035	0.04	10
22	Developed, Low Intensity	0.06 - 0.12	0.08	0.1	35
23	Developed, Medium Intensity	0.08 - 0.16	0.12	0.08	65
24	Developed, High Intensity	0.12 - 0.20	0.15	0.15	90
31	Barren Land (Rock/Sand/Clay)	0.023 - 0.030	0.03	0.025	0
41	Deciduous Forest	0.10 - 0.20	0.1	0.16	0
42	Evergreen Forest	0.08 - 0.16	0.15	0.16	0
43	Mixed Forest	0.08 - 0.20	0.12	0.16	0
51	Dwarf Scrub*	0.025 - 0.05	N/A	N/A	0
52	Shrub/Scrub	0.07 - 0.16	0.08	0.1	0
71	Grassland/Herbaceous	0.025 - 0.05	0.04	0.035	0
72	Sedge/Herbaceous*	0.025 - 0.05	0.04	N/A	0
73	Lichens*	N/A	N/A	N/A	N/A
74	Moss*	N/A	N/A	N/A	N/A
81	Pasture/Hay	0.025 - 0.05	0.045	0.03	0
82	Cultivated Crops	0.020 - 0.05	0.05	0.035	0
90	Woody Wetlands	0.045 - 0.15	0.08	0.12	50
95	Emergent Herbaceous Wetlands	0.05 - 0.085	0.06	0.07	75

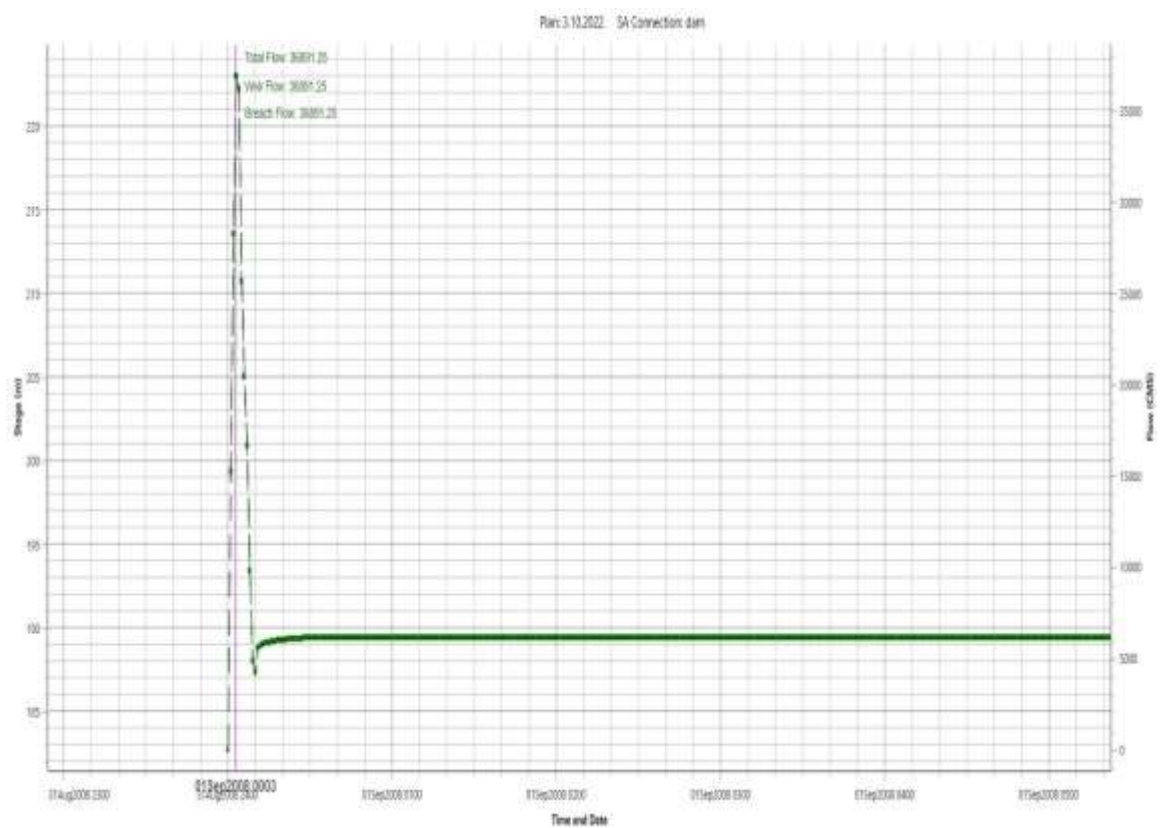
Στην συνέχεια, επαναλήφθηκε η ίδια διαδικασία εισαγωγής δεδομένων θραύσης με το Σενάριο Νούμερο 1, αλλά με ελαφρώς αυξημένες παραμέτρους, κατά 10 τοις εκατό και ελαφρώς αυξημένους συντελεστές τραχύτητας. Έτσι, προέκυψε το παρακάτω σχήμα θραύσης.



Σχήμα No.16 Εισαγωγή παραμέτρων θραύσης.

(HEC-RAS).

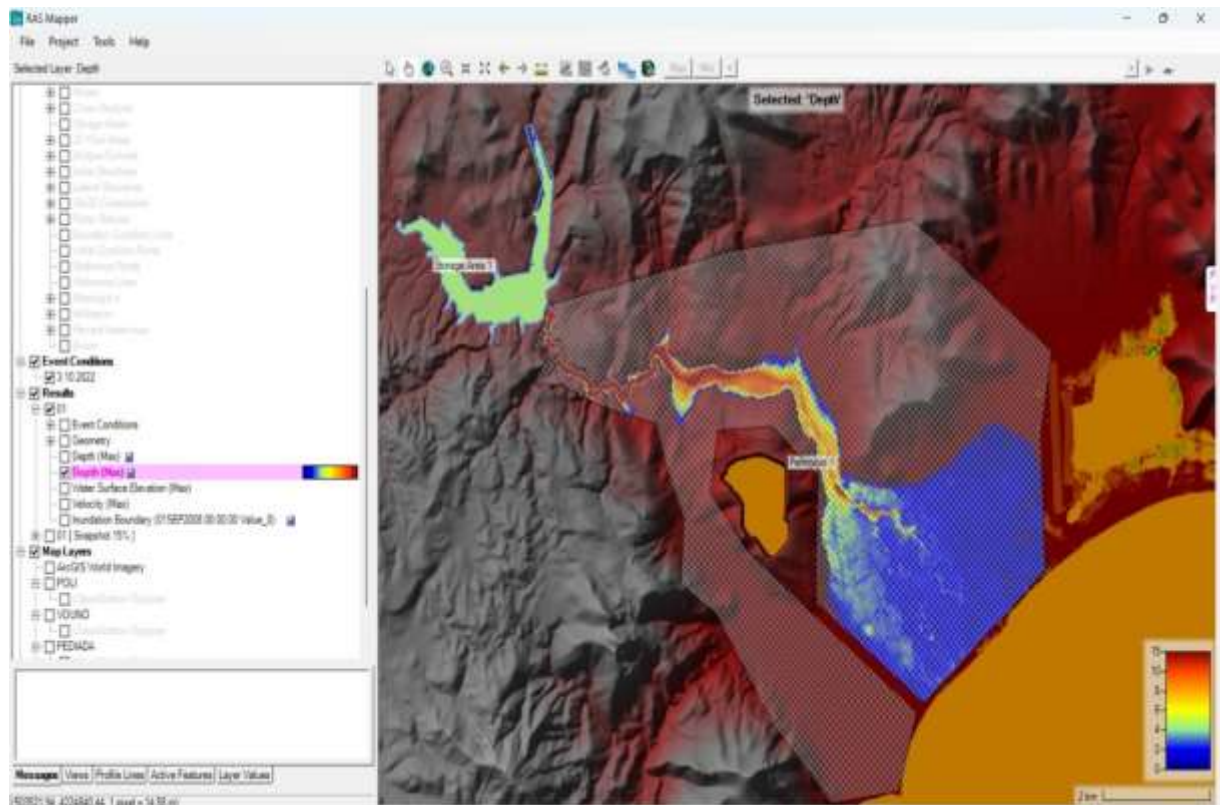
Το υδρογράφημα του φράγματος το οποίο προέκυψε από τα δεδομένα που εισάχθηκαν βρίσκεται στο ακόλουθο σχήμα, το οποίο αναπαριστά την παροχή νερού που προκύπτει στο φράγμα μετά την θραύση. Παρατηρείται ότι η στάθμη μειώθηκε σχεδόν όλη, μέσα σε 19 λεπτά της ώρας και στο αρχικό διάστημα των 7 λεπτών παρατηρήθηκε το μέγιστο σημείο της παροχής, 38.295 m³/s.



Σχήμα No.17 Υδρογράφημα φράγματος.

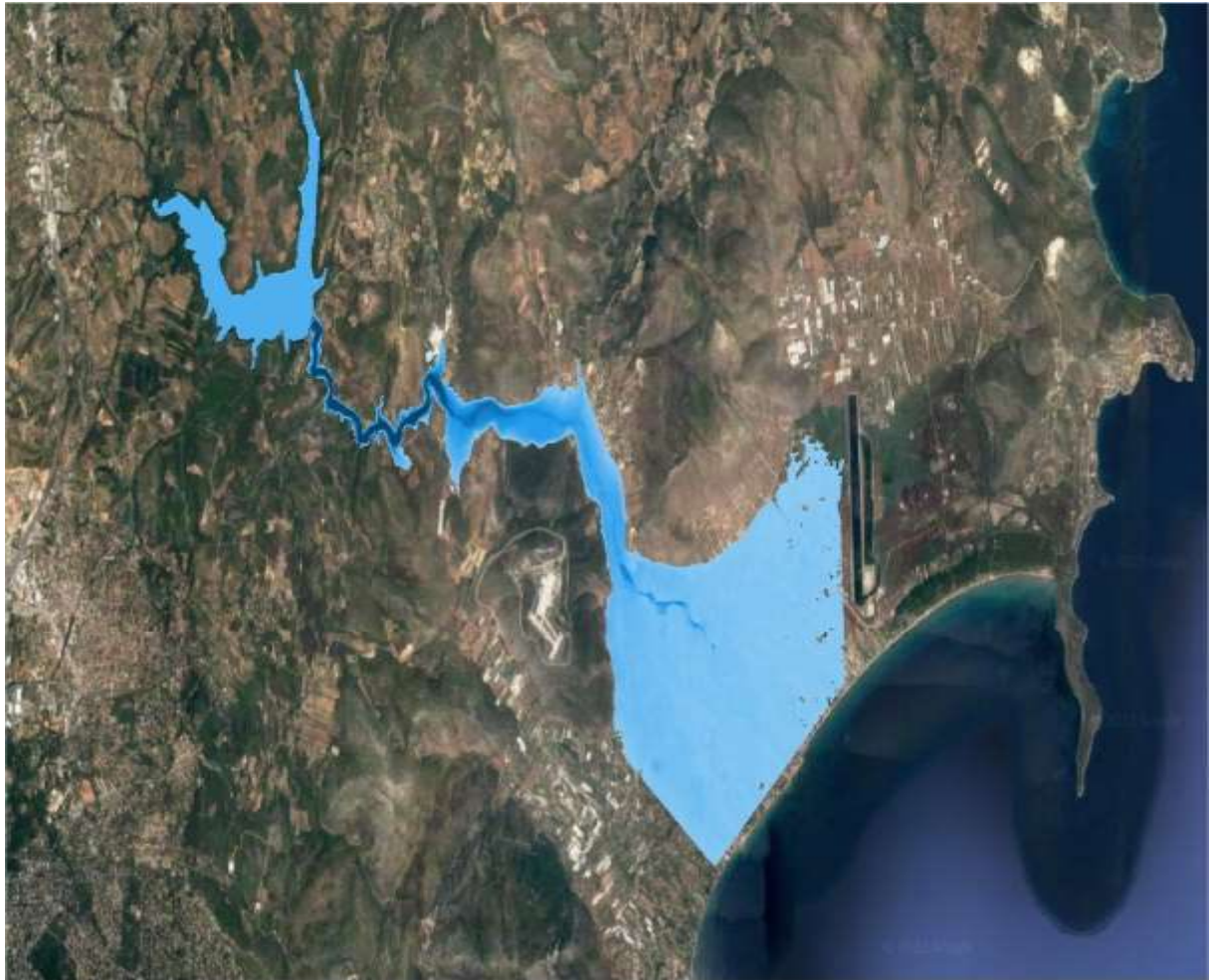
(HEC-RAS)

Η εξάπλωση του πλημμυρικού φαινομένου σε σχέση με το βάθος του, παρατηρείται στο παρακάτω σχήμα. Ξεκινά και σε αυτή την περίπτωση με σκούρο κόκκινο χρώμα, που προσδιορίζει το μέγιστο βάθος, ήτοι 15 m. και κατά την εξέλιξη του φαινομένου παρατηρείται μια διαπλάτυνση, καθώς και μείωση του βάθους, όπως φαίνεται και από το πλέον μπλε χρώμα.



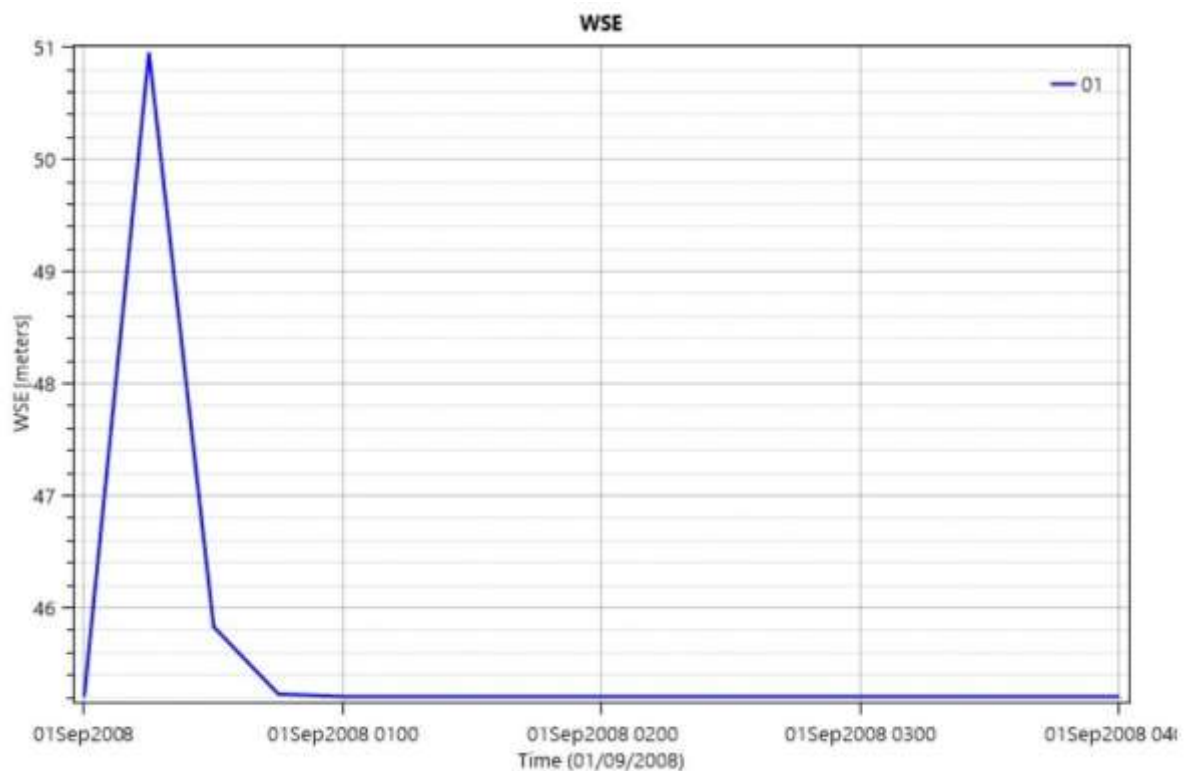
Σχήμα Νο.18 Διόδευση πλημμυρικού φαινομένου ως προς το βάθος ροής.
(HEC-RAS).

Η αναπαράσταση του φαινομένου στο QGIS, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του σχήματος Νο.18 που αναφέρθηκαν προηγουμένως, παρουσιάζεται στον παρακάτω χάρτη, ο οποίος αναπαριστά τα όρια της πλημμύρας. Όπως φαίνεται στον χάρτη, σχεδόν όλη η περιοχή του Μαραθώνα καλύπτεται από νερό.



Σχήμα Νο.19 Διόδευση πλημμυρικού φαινομένου, μεταφερόμενο στο QGIS.
(QGIS).

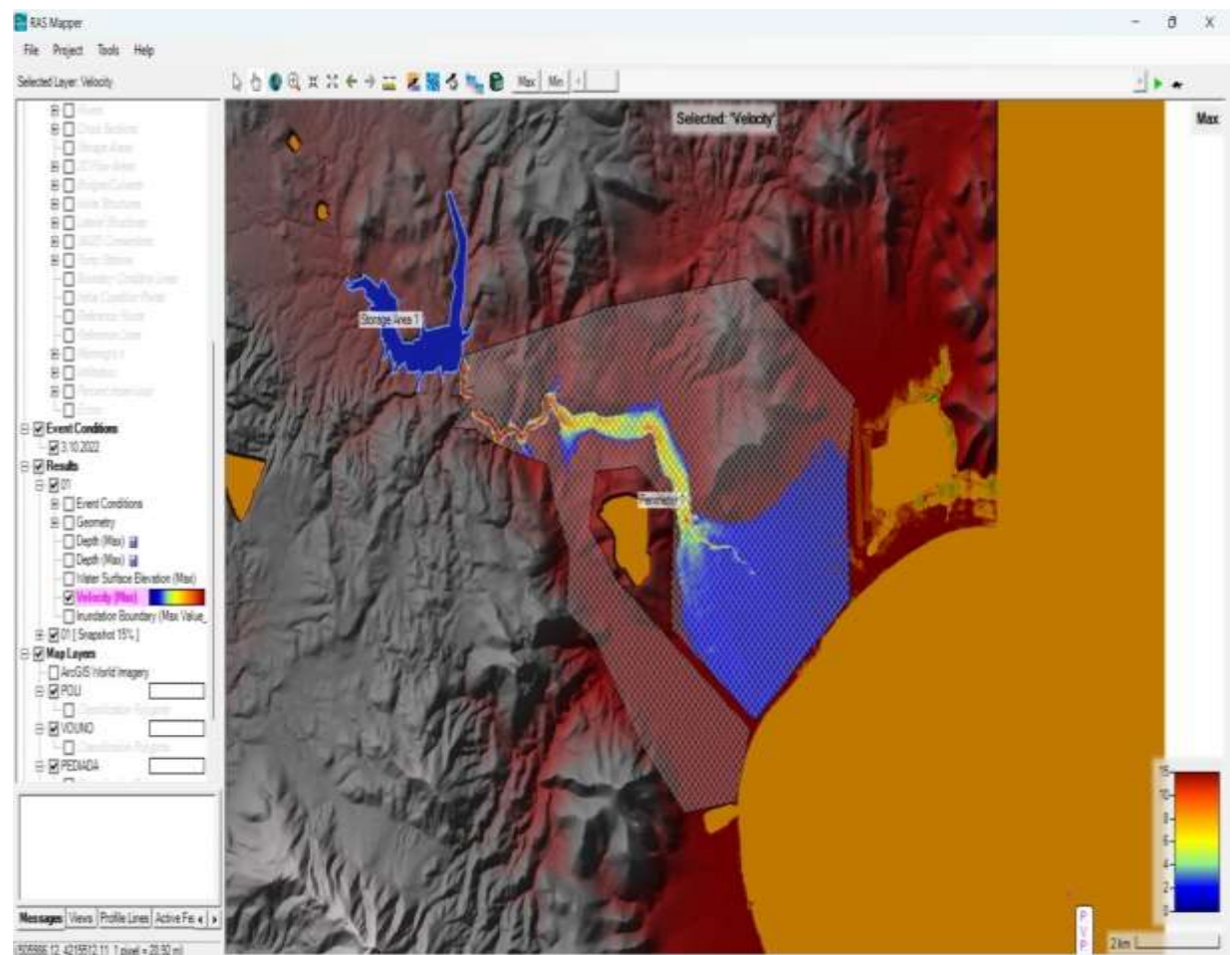
Στο παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζεται το απόλυτο βάθος του πλημμυρικού φαινομένου στις συντεταγμένες $x: 496025.36$, $y: 4223184.21$ (ΕΓΣΑ 87), οι οποίες αποτελούν σημείο εισόδου στον οικισμό. Σε χρόνο μηδέν, το υψόμετρο του εδάφους αντιστοιχεί σε 45,19 m., στα επόμενα 11 λεπτά της ώρας μετά την θραύση, η στάθμη ανέρχεται στα 47,87 m. (1.90 m. νερό) στην συνέχεια, στο 14^ο λεπτό, η στάθμη φθάνει στο μέγιστο υψόμετρο, στα 51,14 m. (5.95 m. νερό). Τέλος, για τα επόμενα 30 λεπτά της ώρας υπάρχει σταδιακή μείωση της στάθμης του νερού όπου και τερματίζει το φαινόμενο.



Σχήμα Νο.20 Υψόμετρο απόλυτου βάθους νερού ($x: 496025.36$, $y: 4223184.21$).

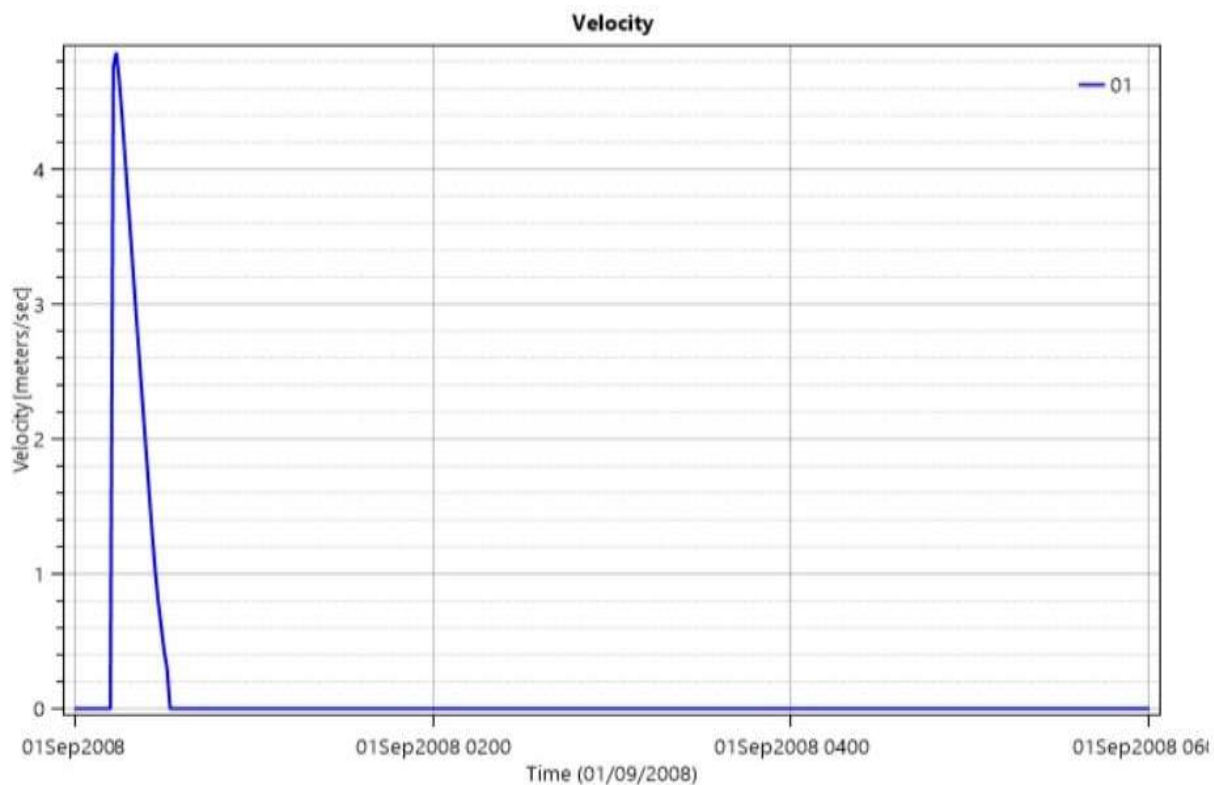
(HEC-RAS).

Όσον αφορά την ταχύτητα του φαινομένου, η μέγιστη τιμή της είναι τα 15 m/s, τα οποία αντιστοιχούν σε 54 km/h. Η συγκεκριμένη ταχύτητα παρουσιάζεται με σκούρο κόκκινο χρώμα και φαίνεται στην αρχή της θραύσης.



Σχήμα No.21 Ταχύτητα πλημμυρικού φαινομένου.
(HEC-RAS).

Το παρακάτω διάγραμμα αναπαριστά την ταχύτητα εισόδου του πλημμυρικού φαινομένου στο οικισμό, η οποία φτάνει τα 4.76 m/s, τα οποία αντιστοιχούν σε 17.14 km/h. Το νερό εισέρχεται στο χωριό του Μαραθώνα σε 13 λεπτά από τη θραύση. Στο επόμενο λεπτό φθάνει την μέγιστη τιμή των 4,84 m/s και στην συνέχεια επέρχεται μείωση για τα επόμενα 17 λεπτά, όπου και τερματίζεται το φαινόμενο.



Σχήμα No.22 Μέγιστη ταχύτητα πλημμυρικού φαινομένου. (x: 496025.36, y: 4223184.21).

(HEC-RAS).

5.3. ΣΕΝΑΡΙΟ ΝΟΥΜΕΡΟ 3: (Μικρής Έκτασης Ρήγμα)

Τα παρακάτω δεδομένα λήφθηκαν βάσει των τιμών του σεναρίου 1, μειωμένα κατά 10%.

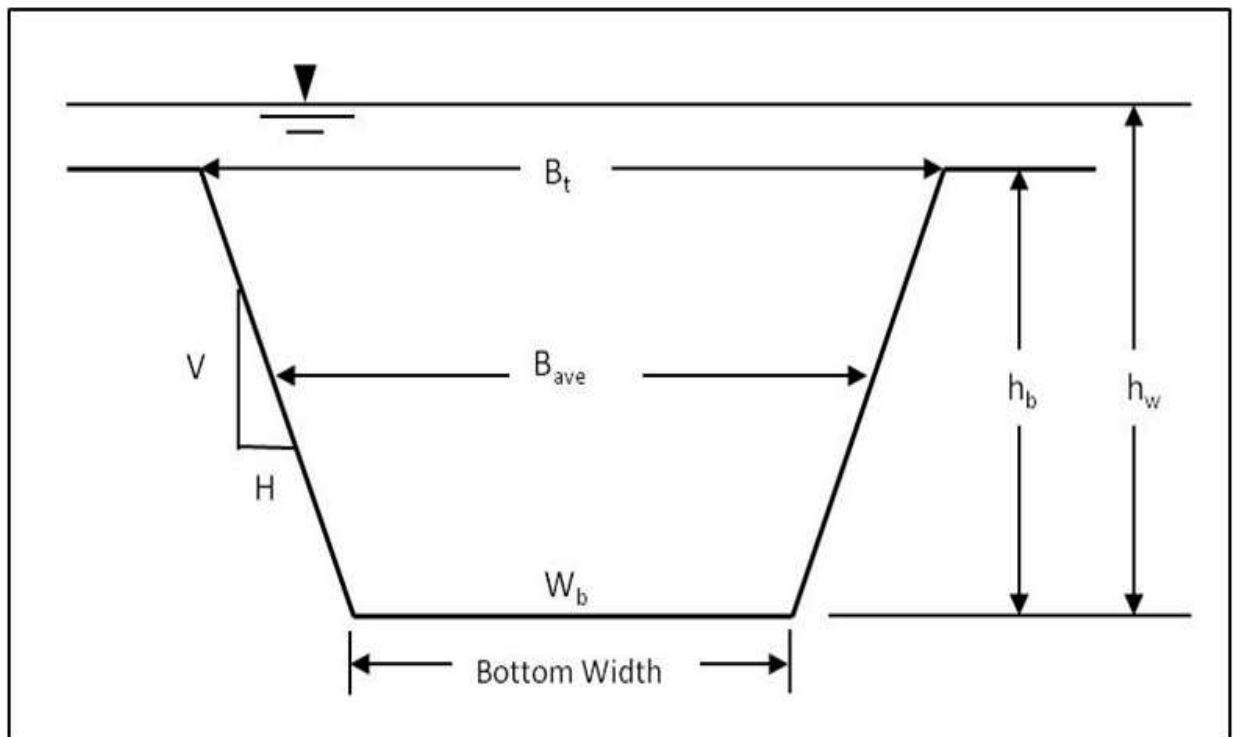
Ύψος Ρήγματος (Hb): $47\text{m} - 10\% = 42,3\text{ m}$

Μέσο πλάτος θραύσης (Bave): $0,8 \times 285\mu\text{ (L)} - 10\% = 205.2\text{m}$

Μέση κλίση (V/H) = 0

Χρόνος ολοκλήρωσης θραύσης (t) = $6\text{ min} - 10\% = 5.4\text{ min}$

(Τα παραπάνω στοιχεία αντλούνται σύμφωνα το Σχήμα Νο. 8 και τον Πίνακα Νο. 1, όπου για ευκολία παρατίθενται παρακάτω.)



Dam Type	Average Breach Width B_{ave}	Horizontal Component of Breach Side Slope (H) H:1V	Failure Time t_r (hrs)	Agency
Earthen/ Rockfill	(0.5 to 3.0) x HD	0 to 1.0	0.5 to 4.0	COE 1980
	(1.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0	0.1 to 1.0	FERC
	(2.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0 (slightly larger)	0.1 to 1.0	NWS
	(0.5 to 5.0) x HD*	0 to 1.0	0.1 to 4.0*	COE 2007
Concrete Gravity	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	COE 1980
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.3	FERC
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.2	NWS
	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	COE 2007
Concrete Arch	Entire Dam	Valley wall slope	≤ 0.1	COE 1980
	Entire Dam	0 to valley walls	≤ 0.1	FERC
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	NWS
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	COE 2007
Slag/ Refuse	(0.8 x L) to L	1.0 to 2.0	0.1 to 0.3	FERC
	(0.8 x L) to L		≤ 0.1	NWS

5.3.1. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ

Γενικός = $0,06 - 10\% = 0,054$,

Πόλη = $0,06 - 10\% = 0,054$,

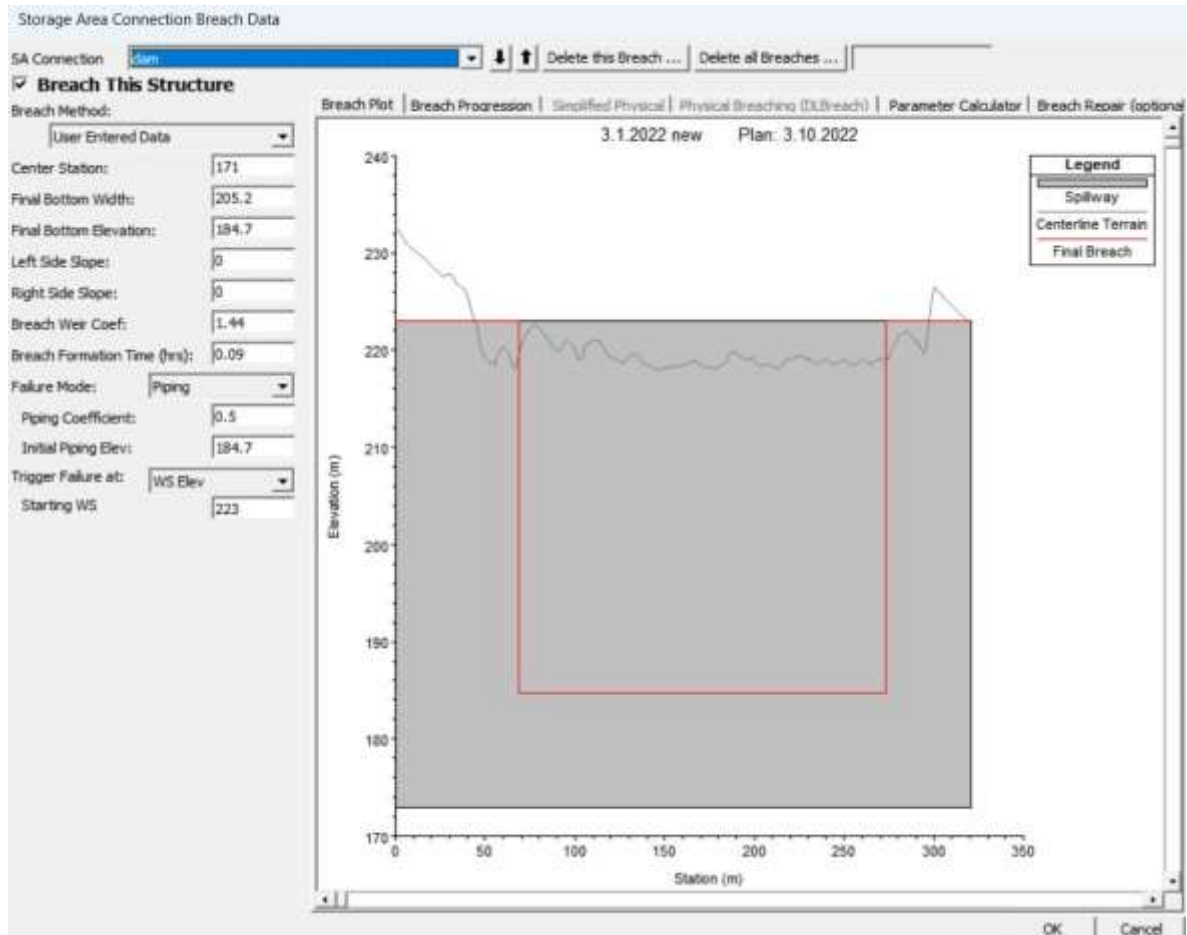
Βουνό = $0,1 - 10\% = 0,09$,

Πεδιάδα = $0,08 - 10\% = 0,072$

(από πίνακα Νο. 2, που παρατίθεται για ευκολία παρακάτω)

NLCD Value	NLCD Land Cover Type	Range of n (HEC-RAS 2D Manual)	Suggested Initial n	n (NRCS)	Percent Impervious
11	Open Water	0.025 - 0.05	0.035	0.04	100
12	Perennial Ice/Snow	N/A	N/A	N/A	N/A
21	Developed, Open Space	0.03 - 0.05	0.035	0.04	10
22	Developed, Low Intensity	0.06 - 0.12	0.08	0.1	35
23	Developed, Medium Intensity	0.08 - 0.16	0.12	0.08	65
24	Developed, High Intensity	0.12 - 0.20	0.15	0.15	90
31	Barren Land (Rock/Sand/Clay)	0.023 - 0.030	0.03	0.025	0
41	Deciduous Forest	0.10 - 0.20	0.1	0.16	0
42	Evergreen Forest	0.08 - 0.16	0.15	0.16	0
43	Mixed Forest	0.08 - 0.20	0.12	0.16	0
51	Dwarf Scrub*	0.025 - 0.05	N/A	N/A	0
52	Shrub/Scrub	0.07 - 0.16	0.08	0.1	0
71	Grassland/Herbaceous	0.025 - 0.05	0.04	0.035	0
72	Sedge/Herbaceous*	0.025 - 0.05	0.04	N/A	0
73	Lichens*	N/A	N/A	N/A	N/A
74	Moss*	N/A	N/A	N/A	N/A
81	Pasture/Hay	0.025 - 0.05	0.045	0.03	0
82	Cultivated Crops	0.020 - 0.05	0.05	0.035	0
90	Woody Wetlands	0.045 - 0.15	0.08	0.12	50
95	Emergent Herbaceous Wetlands	0.05 - 0.085	0.06	0.07	75

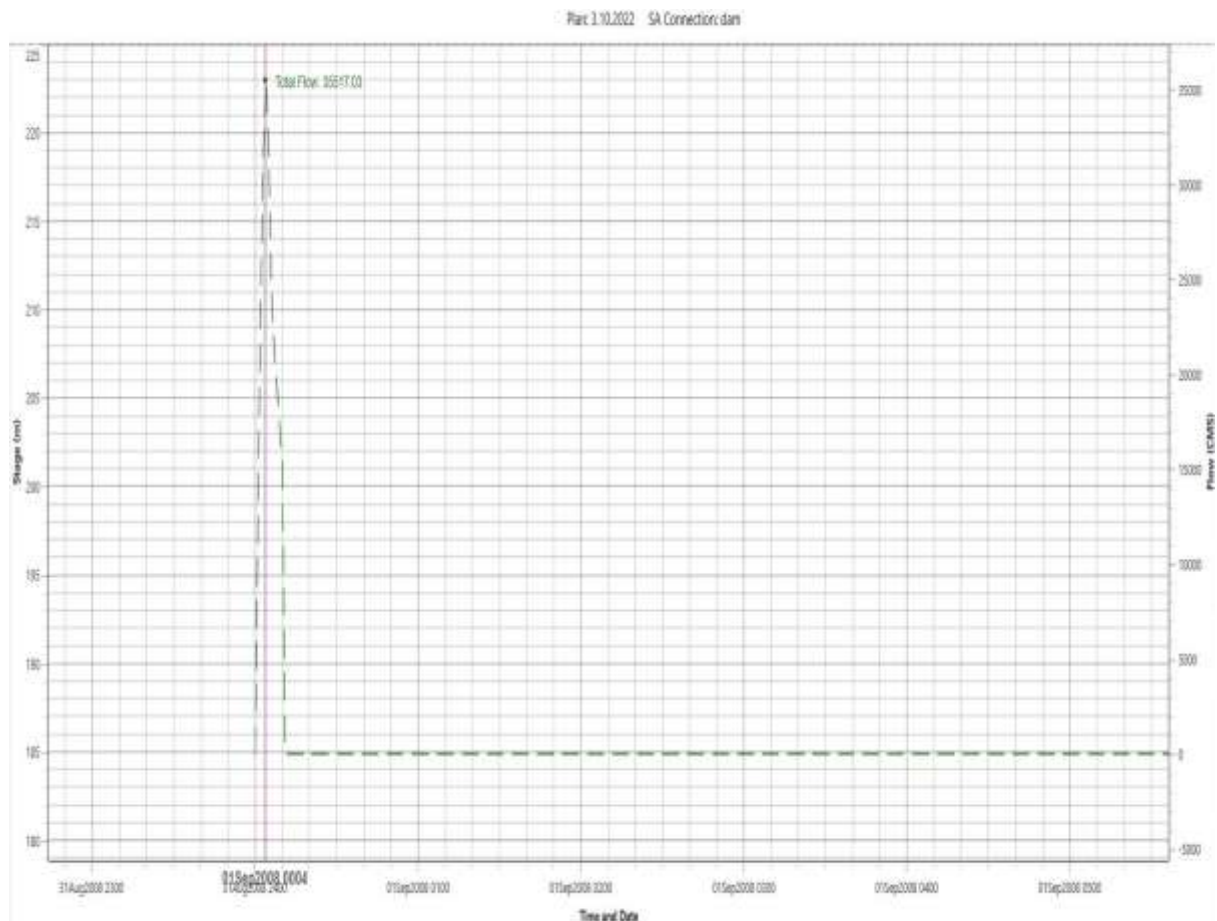
Στην συνέχεια, επαναλήφθηκε για τελευταία φορά η ίδια διαδικασία εισαγωγής δεδομένων θραύσης αλλά με ελαφρώς μειωμένες παραμέτρους κατά 10 τοις εκατό, σε σχέση με το σενάριο νούμερο 1, καθώς και μειωμένους συντελεστές τραχύτητας. Έτσι, προέκυψε το παρακάτω σχήμα θραύσης.



Σχήμα No.23 Εισαγωγή παραμέτρων θραύσης.

(HEC-RAS).

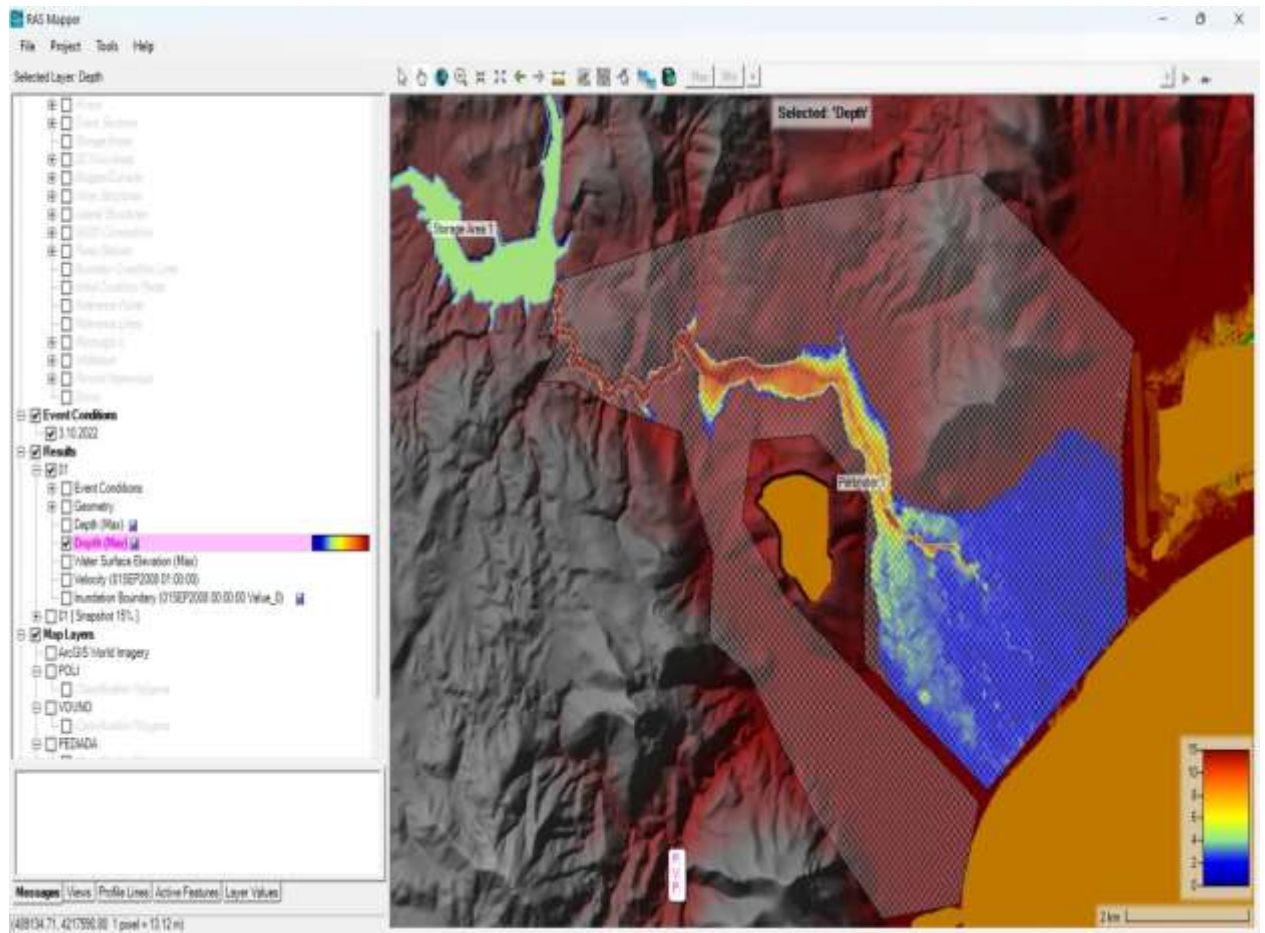
Το υδρογράφημα του φράγματος το οποίο προέκυψε από τα δεδομένα που εισάχθηκαν βρίσκεται στο ακόλουθο σχήμα, το οποίο αναπαριστά την παροχή νερού που προκύπτει στο φράγμα μετά την θραύση. Παρατηρείται ότι η στάθμη μειώθηκε σχεδόν όλη, μέσα σε 10 λεπτά της ώρας και στο αρχικό διάστημα των 4 λεπτών παρατηρήθηκε το μέγιστο σημείο της παροχής, 35.517 m³/s.



Σχήμα Νο.24 Υδρογράφημα φράγματος.

(HEC-RAS).

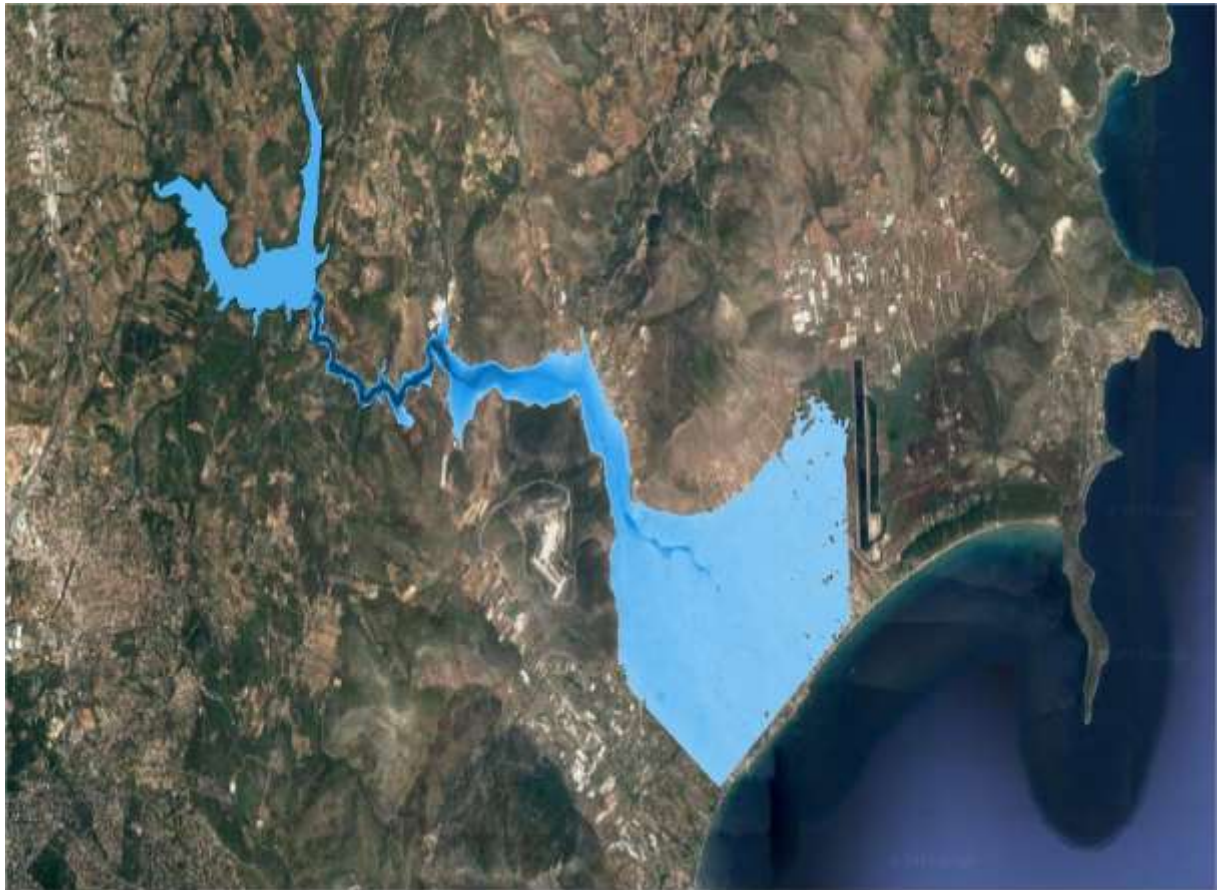
Η εξάπλωση του πλημμυρικού φαινομένου σε σχέση με το βάθος του, παρατηρείται στο παρακάτω σχήμα. Ξεκινά και σε αυτή την περίπτωση με σκούρο κόκκινο χρώμα, που προσδιορίζει το μέγιστο βάθος, ήτοι 15 m. και κατά την εξέλιξη του φαινομένου παρατηρείται μια διαπλάτυνση, καθώς και μείωση του βάθους, όπως φαίνεται και από το πλέον μπλε χρώμα.



Σχήμα No.25 Διάδοση πλημμυρικού φαινομένου ως προς το βάθος ροής.

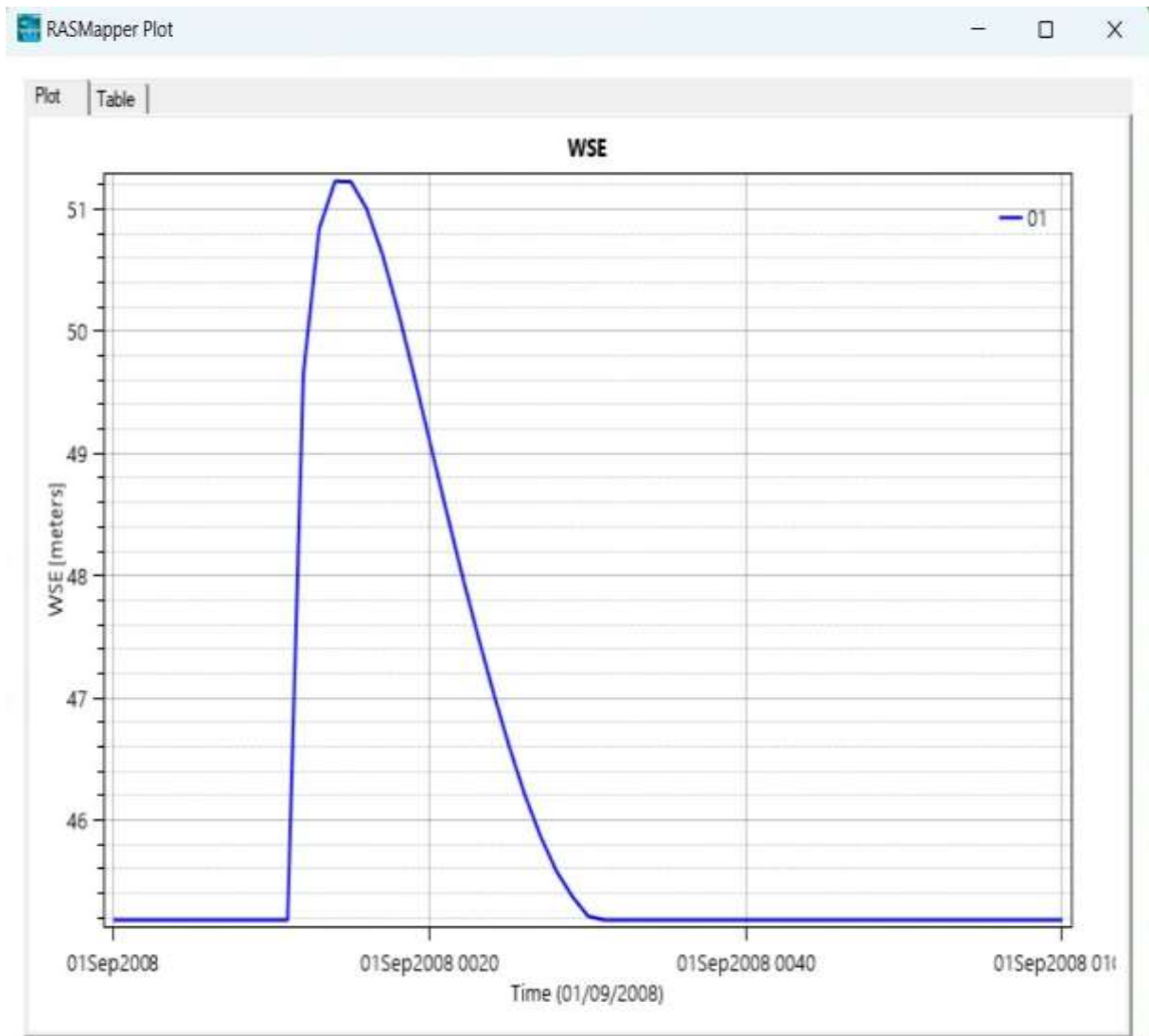
(HEC-RAS).

Η αναπαράσταση του φαινομένου στο QGIS, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του σχήματος Νο.25 που αναφέρθηκαν προηγουμένως, παρουσιάζεται στον παρακάτω χάρτη, ο οποίος αναπαριστά την εξάπλωση του φαινομένου σε ψηφιακή μορφή. Όπως φαίνεται στον χάρτη, και σε αυτή την περίπτωση, σχεδόν όλη η περιοχή του Μαραθώνα καλύπτεται από νερό.



*Σχήμα Νο.26 Διόδευση πλημμυρικού φαινομένου μεταφερόμενο στο QGIS .
(QGIS).*

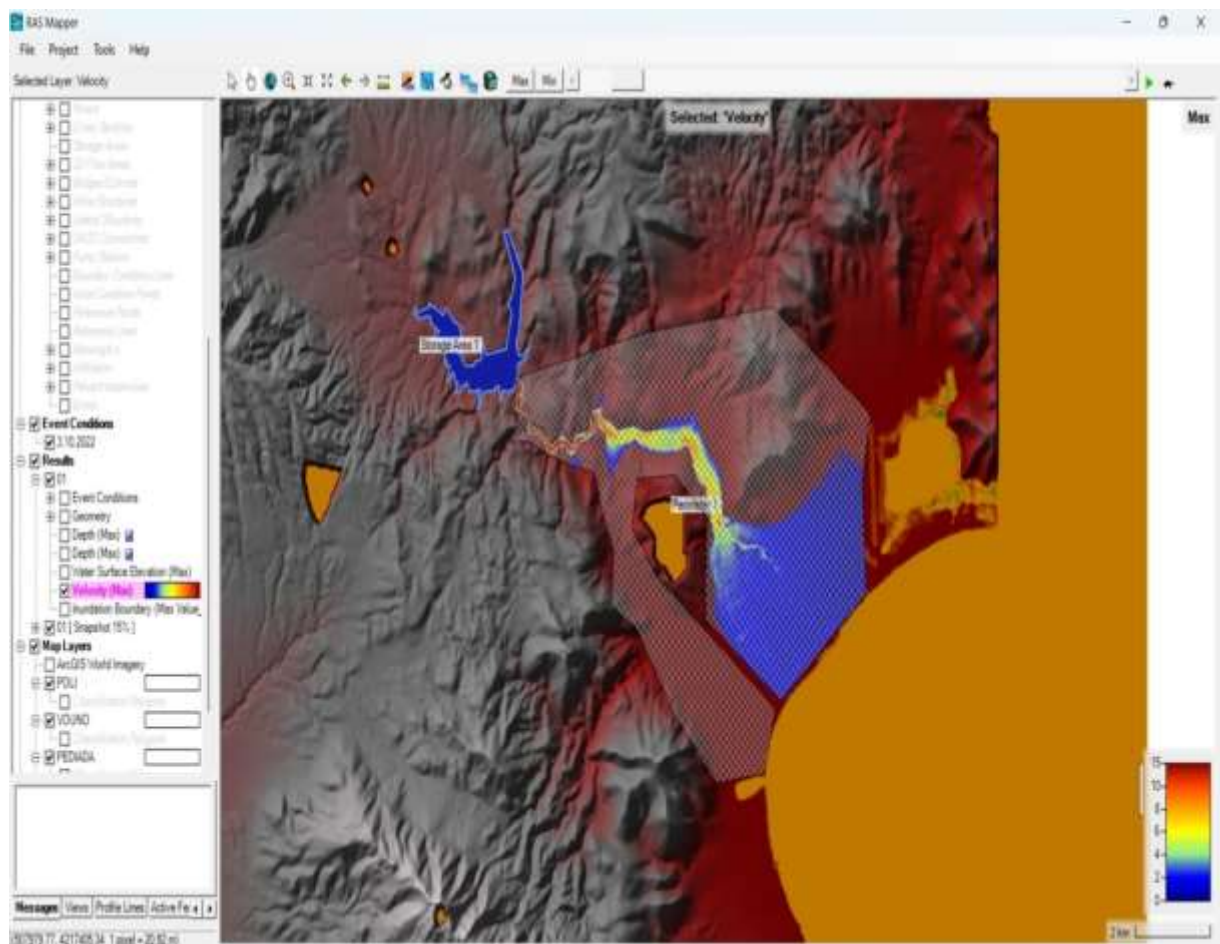
Στο παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζεται το απόλυτο βάθος του πλημμυρικού φαινομένου στις συντεταγμένες $x: 496025.36$, $y: 4223184.21$ (ΕΓΣΑ 87), οι οποίες αποτελούν σημείο εισόδου στον οικισμό. Σε χρόνο μηδέν, το υψόμετρο του εδάφους αντιστοιχεί σε 45,187 m., στα επόμενα 12 λεπτά της ώρας μετά την θραύση, η στάθμη ανέρχεται στα 49,66 m. (4,47 m. νερό) στην συνέχεια, στο 14^ο λεπτό, η στάθμη φθάνει στο μέγιστο υψόμετρο, στα 51,23 m. (6,04 m. νερό). Τέλος, για τα επόμενα 30 λεπτά της ώρας υπάρχει σταδιακή μείωση της στάθμης του νερού όπου και τερματίζει το φαινόμενο.



Σχήμα No.27 Υψόμετρο απόλυτου βάθους νερού. ($x: 496025.36$, $y: 4223184.21$).

(HEC-RAS).

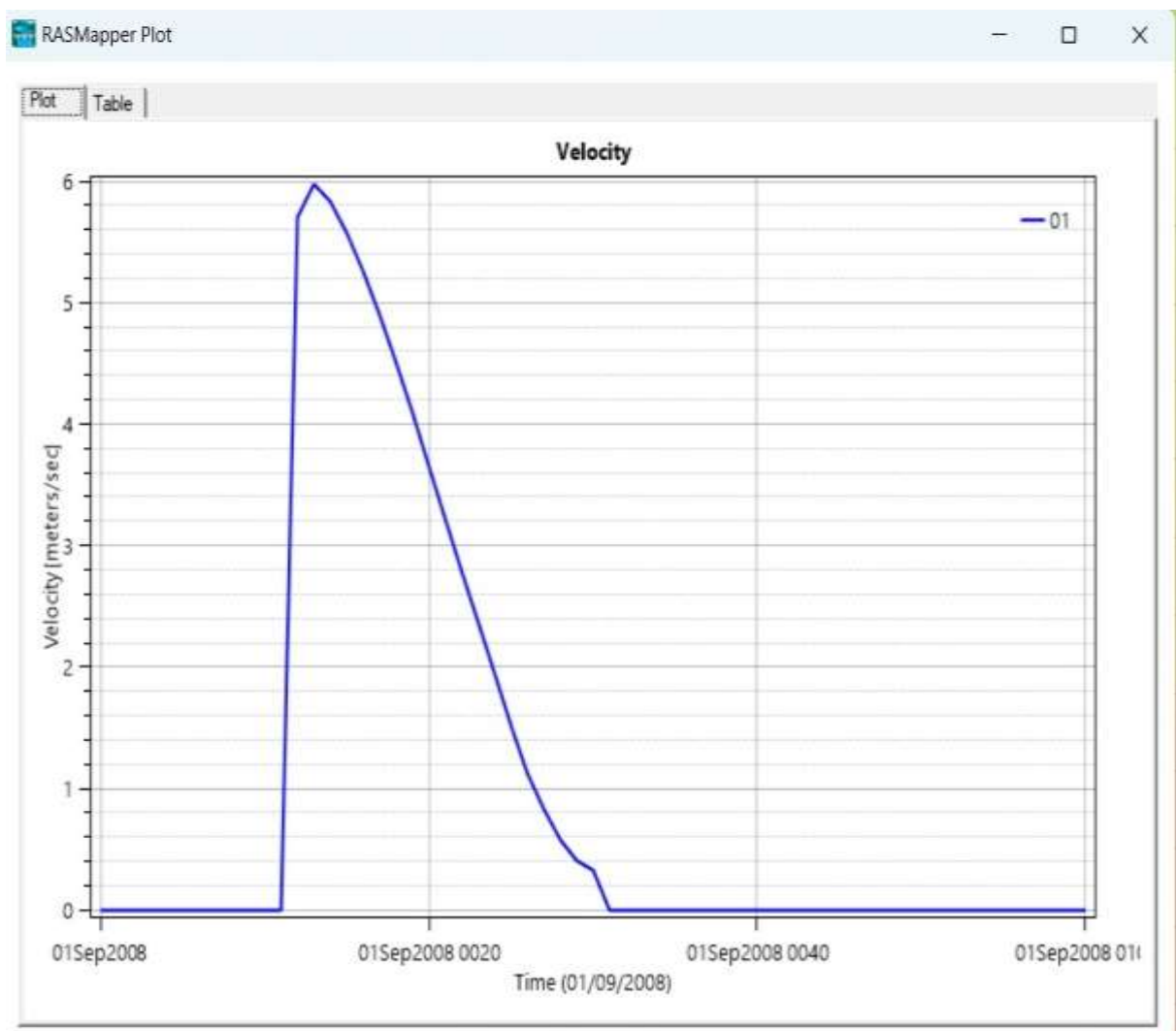
Όσον αφορά την ταχύτητα του φαινομένου, η μέγιστη τιμή της είναι τα 15 m/s, τα οποία αντιστοιχούν σε 54 km/h. Η συγκεκριμένη ταχύτητα παρουσιάζεται με σκούρο κόκκινο χρώμα και φαίνεται στην αρχή της θραύσης.



Σχήμα No.28 Ταχύτητα πλημμυρικού φαινομένου.

(HEC-RAS).

Το παρακάτω διάγραμμα αναπαριστά την ταχύτητα εισόδου του πλημμυρικού φαινομένου στο οικισμό, η οποία φτάνει τα 5,67 m/s, τα οποία αντιστοιχούν σε 20,40 km/h. Το νερό εισέρχεται στο χωριό του Μαραθώνα σε 12 λεπτά από τη θραύση. Στην επόμενο λεπτό φθάνει την μέγιστη τιμή των 5,94 m/s και στην συνέχεια επέρχεται μείωση για τα επόμενα 17 λεπτά, όπου και τερματίζεται το φαινόμενο.



Σχήμα Νο.29 Μέγιστη ταχύτητα πλημμύρικού φαινομένου. (x: 496025.36, y: 4223184.21).

(HEC-RAS).

6. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

A/A	ΣΕΝΑΡΙΑ	ΡΗΓΜΑ	ΧΡΟΝΟΣ ΘΡΑΥΣΗΣ	MANNING	ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (496025.36 / 4223184.21)	ΒΑΘΟΣ (496025.36 / 4223184.21)
1	Μεσαίας Έκτασης Ρήγμα	ύψους = 47 μ πλάτους = 228 μ	0.1 h (6 min)	γενικό = 0.06 πόλη = 0.06 βουνό = 0.1 πεδιάδα = 0.08	Στα πρώτα 3 λεπτά μετά την θραύση, έχουμε μέγιστη παροχή 36.287 m ³ και μέσα στα επόμενα 5 λεπτά μειώνεται σχεδόν όλη η ποσότητα του νερού.	Το φαινόμενο μπαίνει στον οικισμό με 4.77 m/s σε χρόνο 12 λεπτών μετά την θραύση. 1 λεπτό αργότερα φτάνει τη μέγιστη ταχύτητα των 5.58 m/s και στη συνέχεια για τα επόμενα 21 λεπτά, επέρχεται μείωση και ύστερα τερματισμός του φαινομένου.	Στα 12 λεπτά μετά τη θραύση, το βάθος του νερού είναι 3.27 m. Μετά από 15 λεπτά, έχουμε τη μέγιστη τιμή βάθους, ήτοι 6.16 m και για τα επόμενα 18 λεπτά, επέρχεται μείωση του βάθους καθώς και ολοκλήρωση του φαινομένου.
2	Μεγάλης Έκτασης Ρήγμα	ύψους = 51.7 μ πλάτους = 250.8 μ	0.11 h (6.6 min)	γενικό = 0.066 πόλη = 0.066 βουνό = 0.11 πεδιάδα = 0.088	Στα πρώτα 7 λεπτά μετά την θραύση, έχουμε μέγιστη παροχή 38.295 m ³ και μέσα στα επόμενα 12 λεπτά μειώνεται σχεδόν όλη η ποσότητα του νερού.	Το φαινόμενο μπαίνει στον οικισμό με 4.77 m/s σε χρόνο 11 λεπτών μετά την θραύση. 1 λεπτό αργότερα φτάνει τη μέγιστη ταχύτητα των 4.87 m/s και στη συνέχεια για τα επόμενα 17 λεπτά, επέρχεται μείωση και ύστερα τερματισμός του φαινομένου.	Στα 11 λεπτά μετά τη θραύση, το βάθος του νερού είναι 1.90 m. Μετά από 14 λεπτά, έχουμε τη μέγιστη τιμή βάθους, ήτοι 5.95 m και για τα επόμενα 30 λεπτά, επέρχεται μείωση του βάθους καθώς και ολοκλήρωση του φαινομένου.
3	Μικρής Έκτασης Ρήγμα	ύψους = 42.3 μ πλάτους = 205.2 μ	0.09 h (5.4 min)	γενικό = 0.054 πόλη = 0.054 βουνό = 0.09 πεδιάδα = 0.072	Στα πρώτα 4 λεπτά μετά την θραύση, έχουμε μέγιστη παροχή 35.517 m ³ και μέσα στα επόμενα 6 λεπτά μειώνεται σχεδόν όλη η ποσότητα του νερού.	Το φαινόμενο μπαίνει στον οικισμό με 5.67 m/s σε χρόνο 12 λεπτών μετά την θραύση. 1 λεπτό αργότερα φτάνει τη μέγιστη ταχύτητα των 5.94 m/s και στη συνέχεια για τα επόμενα 17 λεπτά, επέρχεται μείωση και ύστερα τερματισμός του φαινομένου.	Στα 12 λεπτά μετά τη θραύση, το βάθος του νερού είναι 4.47 m. Μετά από 2 λεπτά, έχουμε τη μέγιστη τιμή βάθους, ήτοι 6.04 m και για τα επόμενα 15 λεπτά, επέρχεται μείωση του βάθους καθώς και ολοκλήρωση του φαινομένου.

Πίνακας Νο. 3 Συγκριτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων.

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται τα δεδομένα που εισάχθηκαν στο πρόγραμμα κατά την δημιουργία των τριών διαφορετικών σεναρίων θραύσης, καθώς και τα αντίστοιχα

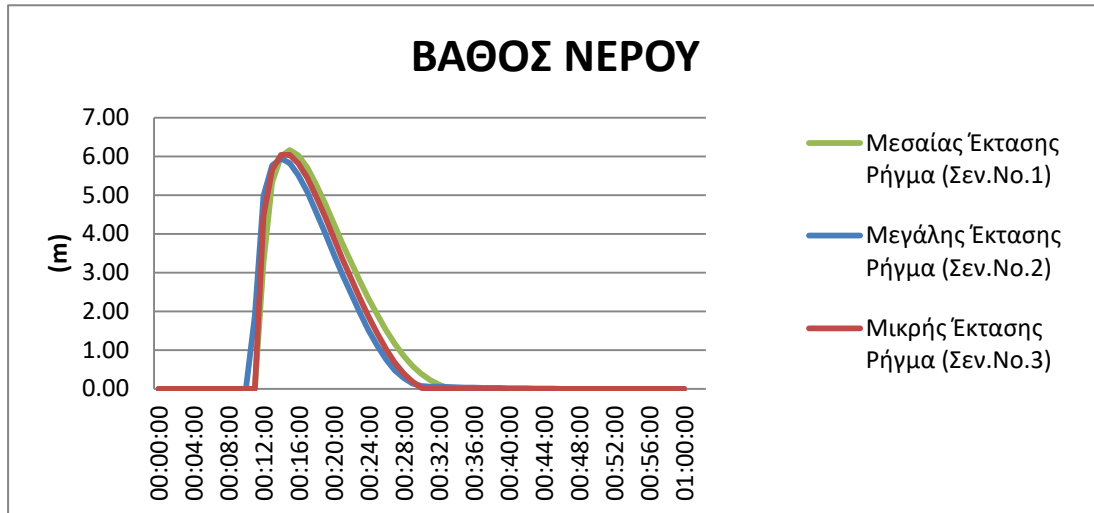
αποτελέσματα. Στην συνέχεια παρατίθενται, συγκεντρωμένα τα υδρογραφήματα όλων των σεναρίων, όπως επίσης και τα διαγράμματα ταχυτήτων και βάθους νερού σε σημείο εισόδου του οικισμού με συντεταγμένες x: 496025.36, y: 4223184.21 (ΕΓΣΑ 87).



Σχήμα No.30 Συγκεντρωτικά υδρογραφήματα σεναρίων



Σχήμα No.31 Συγκεντρωτικά διαγράμματα ταχυτήτων σεναρίων



Σχήμα Νο.31 Συγκεντρωτικά διαγράμματα βάθους νερού σεναρίων

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, τα αποτελέσματα από τα τρία σεναρία που εξετάστηκαν μέσω του προγράμματος HEC – RAS, καταλήγουν στο ίδιο συμπέρασμα με μικρές διαφοροποιήσεις.

Πιο συγκεκριμένα, στο σενάριο νούμερο 1 (Μεσαίας Έκτασης Ρήγμα), βάσει του υδρογραφήματος του φράγματος, προκύπτει ότι η μέγιστη παροχή νερού στα πρώτα 3 λεπτά μετά τη θραύση, φτάνει τα $36,287 \text{ m}^3$ και στα επόμενα 5 λεπτά, το νερό αδειάζει σχεδόν ολοκληρωτικά. Από το διάγραμμα ταχύτητας, σε σημείο εισόδου του οικισμού με συντεταγμένες x: 496025.36, y: 4223184.21 (ΕΓΣΑ 87) και έχοντας τους συντελεστές τραχύτητας, γενικό 0,06, πόλη 0,06, βουνό 0,1 και πεδιάδα 0,08, παρατηρείται ότι το νερό εισέρχεται στον οικισμό σε χρόνο 12 λεπτών, με ταχύτητα 4,77 m/s και μέσα σε 1 λεπτό, φτάνει τη μέγιστη ταχύτητα των 5,58 m/s. Στα επόμενα 21 λεπτά επέρχεται μείωση του φαινομένου καθώς και τερματισμός. Όσον αφορά το βάθος του νερού, βάσει του αντίστοιχου διαγράμματος στις ίδιες συντεταγμένες, προκύπτει ότι στα 12 λεπτά μετά τη θραύση, ανέρχεται στα 3.27 m. Ύστερα από 3 λεπτά, έχουμε την μέγιστη τιμή βάθους στα 6,16 μ και για τα επόμενα 18 λεπτά επέρχεται μείωση του αυτού, καθώς και ολοκλήρωση του φαινομένου.

Στο σενάριο νούμερο 3 (Μικρής Έκτασης Ρήγμα), βάσει του υδρογραφήματος του φράγματος, προκύπτει ότι η μέγιστη παροχή νερού στα πρώτα 4 λεπτά μετά τη θραύση, φτάνει τα $35,517 \text{ m}^3$ και στα επόμενα 6 λεπτά, το νερό αδειάζει σχεδόν ολοκληρωτικά. Από το διάγραμμα ταχύτητας, σε σημείο εισόδου του οικισμού με συντεταγμένες x: 496025.36, y: 4223184.21 (ΕΓΣΑ 87) και έχοντας τους συντελεστές τραχύτητας, γενικό 0,054, πόλη 0,054, βουνό 0,09 και πεδιάδα 0,072, παρατηρείται ότι το νερό εισέρχεται στον οικισμό σε χρόνο 12 λεπτών, με ταχύτητα 5,67 m/s και μέσα σε 1 λεπτό, φτάνει τη μέγιστη ταχύτητα των 5,94 m/s. Στα επόμενα 17 λεπτά επέρχεται μείωση του φαινομένου καθώς και τερματισμός. Όσον αφορά το βάθος του νερού, βάσει του αντίστοιχου διαγράμματος στις ίδιες συντεταγμένες, προκύπτει ότι στα 12 λεπτά μετά τη θραύση, ανέρχεται στα 4,47 m. Ύστερα από 2 λεπτά, έχουμε την μέγιστη τιμή βάθους στα 6,04 μ και για τα επόμενα 15 λεπτά επέρχεται μείωση του αυτού, καθώς και ολοκλήρωση του φαινομένου.

Στο σενάριο νούμερο 2 (Μεγάλης Έκτασης Ρήγμα), βάσει του υδρογραφήματος του φράγματος, προκύπτει ότι η μέγιστη παροχή νερού στα πρώτα 7 λεπτά μετά τη θραύση, φτάνει τα $38,295 \text{ m}^3$ και στα επόμενα 12 λεπτά, το νερό αδειάζει σχεδόν ολοκληρωτικά. Από το διάγραμμα ταχύτητας, σε σημείο εισόδου του οικισμού με συντεταγμένες $x: 496025.36$, $y: 4223184.21$ (ΕΓΣΑ 87) και έχοντας τους συντελεστές τραχύτητας, γενικό 0,066, πόλη 0,066, βουνό 0,11 και πεδιάδα 0,088, παρατηρείται ότι το νερό εισέρχεται στον οικισμό σε χρόνο 13 λεπτών, με ταχύτητα 4,77 m/s και μέσα σε 1 λεπτό, φτάνει τη μέγιστη ταχύτητα των 4,88 m/s. Στα επόμενα 17 λεπτά επέρχεται μείωση του φαινομένου καθώς και τερματισμός. Όσον αφορά το βάθος του νερού, βάσει του αντίστοιχου διαγράμματος στις ίδιες συντεταγμένες, προκύπτει ότι στα 11 λεπτά μετά τη θραύση, ανέρχεται στα 1,90 m. Ύστερα από 3 λεπτά, έχουμε την μέγιστη τιμή βάθους στα 5,95 m και για τα επόμενα 30 λεπτά επέρχεται μείωση του αυτού, καθώς και ολοκλήρωση του φαινομένου.

7. ΣΧΟΛΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κατασκευή των φραγμάτων έχει συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην εξέλιξη της ανθρωπότητας, διότι η συλλογή νερού καθώς και η διαχείριση του, αποτελούσε πάντα ένα από τα κυριότερα προβλήματα στην κοινωνία. Ωστόσο μία αστοχία της κατασκευής σε περίπτωση σεισμού, κατολίσθησης ή λόγω παλαιότητας, μεταξύ άλλων παραγόντων, μπορεί να προκαλέσουν σοβαρές επιπτώσεις.

Όσον αφορά τα υδρογραφήματα των φραγμάτων, παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη παροχή νερού βρίσκεται στο σενάριο Νο. 2, δηλαδή το "Μεγάλης Έκτασης Ρήγμα". Η διαφορά της παροχής του σεναρίου Νο. 2 με το σενάριο Νο. 1, δηλαδή το "Μεσαίας Έκτασης Ρήγμα", ορίζεται στα 2008 m³/s, ενώ με το σενάριο Νο. 3, δηλαδή το "Μικρής Έκτασης Ρήγμα", ορίζεται στα 2778 m³/s. Σχετικά με τις ταχύτητες εισόδου του πλημμυρικού φαινομένου στα 3 σενάρια, παρατηρείται ότι η μεγαλύτερη τιμή βρίσκεται στο σενάριο Νο. 3 με 5,94 m/s. Συνεπώς, φτάνουμε στο συμπέρασμα ότι η παροχή του φαινομένου, δεν είναι ανάλογη της ταχύτητας. Αντίστοιχα, αναφορικά με τη διάρκεια του φαινομένου στο σενάριο Νο. 2 η οποία ανέρχεται στα 17 min, παρόλο που πρόκειται για το μεγαλύτερο σε έκταση ρήγμα με τη μεγαλύτερη παροχή, είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή του σεναρίου Νο. 1, 21 min και ίδια με του σεναρίου Νο. 3. Τέλος, το μεγαλύτερο βάθος συναντάται στο σενάριο Νο. 1 με τιμή 6,16 m και ακολουθεί το σενάριο Νο. 3 με τιμή 6,04 m, με αποτέλεσμα το σενάριο Νο. 2 με τιμή 5,95 m να κατέχει τη μικρότερη τιμή βάθους.

Η παραπάνω προσομοίωση, υπόκειται σε μεγάλες αβεβαιότητες, ως προς τις παροχές και τις ταχύτητες του φαινομένου, διότι υπάρχουν στοιχεία όπως η τύρβη, η οποία δημιουργεί απώλειες ενέργειας και δεν είναι εφικτό μέσω του προγράμματος να υπολογιστεί. Αυτό έχει ως συνέπεια οι συντελεστές τραχύτητας που εισάχθηκαν στο πρόγραμμα, να είναι ελαφρώς αυξημένοι, ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο προσεγγιστικό το αποτέλεσμα. Όσον αφορά το βάθος του νερού και την περιοχή που θα κατακλείσει, μπορούμε να πούμε ότι εκτιμάται με μικρότερο περιθώριο λάθους.

Όσον αφορά τον πραγματικό χρόνο από τη στιγμή της θραύσης μέχρι την είσοδο του νερού στον οικισμό, ο οποίος αντιστοιχεί σε μόλις 11 min, είναι ελάχιστος για οποιαδήποτε αντίδραση. Συνεπώς, θα ήταν πιο αποτελεσματικό προληπτικά, να κατασκευαστούν κάποια επιμέρους φράγματα, ώστε να αυξηθεί ο χρόνος αντίδρασης των πολιτών, να δημιουργηθεί κάποιος μηχανισμός ώστε να ειδοποιηθούν έγκαιρα για την θραύση και να γίνουν οι απαραίτητες ασκήσεις εκκένωσης, ώστε να γνωρίζουν οι πολίτες ποιες θα πρέπει να είναι οι κινήσεις τους εκείνη την στιγμή.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. [Η Ιστορία του Φράγματος Μαραθώνα \(welovemarathon.gr\)](http://welovemarathon.gr)
2. [Φράγμα του Μαραθώνα: 5+1 πράγματα που δεν ξέρατε για ένα από τα μεγαλύτερα έργα της σύγχρονης Ελλάδας - iefimerida.gr](http://iefimerida.gr)
3. [fact-sheet-marathona.pdf \(eydap.gr\)](http://eydap.gr)
4. [Φράγμα Μαραθώνα: η ζωή στον οικισμό \(cliomuseapp.com\)](http://cliomuseapp.com)
5. [ΕΥΔΑΠ-ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ \(eydap.gr\)](http://eydap.gr)
6. [Η ιστορία του Φράγματος του Μαραθώνα - Σαν σήμερα τα εγκαίνια από τον Βενιζέλο \(pics & vid\) - Marathon Press](http://Marathon Press)
7. [QGIS - Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών \(freewaretips.gr\)](http://freewaretips.gr)
8. [Ανακαλύψτε το QGIS - QGIS \(inforest.gr\)](http://inforest.gr)
9. [QGIS το πιο ισχυρό λογισμικό ανοιχτού κώδικα GIS - Geomeletitiki.gr](http://Geomeletitiki.gr)
10. [Qgis GREECE - Εγχειρίδιο Χρήσης - Συμβουλές](http://army.mil)
11. [HEC-RAS \(army.mil\)](http://army.mil)
12. [Performing a 1D Unsteady Flow Analysis \(army.mil\)](http://army.mil)
13. [What is HEC-RAS and what is it useful for? \(giscourse.com\)](http://giscourse.com)
14. [ΜΑΡΑΘΩΝΙΟΣ ΔΡΟΜΟΣ – Marathon Run Museum](http://Marathon Run Museum)
15. [Μαραθώνιος: η ιστορία του αγωνίσματος | ΑΦΙΕΡΩΜΑΤΑ | ANT1 News](http://ANT1 News)
16. <https://www.sansimera.gr/articles/696>
17. <https://topolab.tripod.com/GIS/geoanrast.pdf>
18. [Χωρικά δεδομένα DTM και DSM: Η ιστορία | by Philip Fayad | Medium](http://Medium)
19. [Ο αρχαιοελληνικός ναός στα θεμέλια του φράγματος του Μαραθώνα. "Ξορκίζει" την λειψυδρία και είναι αντίγραφο των ναού των Αθηναίων στους Δελφούς - ΜΗΧΑΝΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ \(mixanitouxronou.gr\)](http://mixanitouxronou.gr)
20. [DTM Ορισμός: Ψηφιακή ανάγλυφο χάρτες - Digital Terrain Map \(abbreviationfinder.org\)](http://abbreviationfinder.org)
21. Πυθαρούλη Σ., 2007, «Μελέτη της Μακροχρόνιας Παραμόρφωσης του Φράγματος Κρεμαστών με Βάση Ανάλυση Γεωδαιτικών Δεδομένων και Μεταβολών Στάθμης Ταμειυτήρα.» Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
22. Penman A.D.M, Saxena K.R., Sharma V.M., 1999, «Instrumentation, monitoring and surveillance, embankment Dams.» Balkema, Rotterdam.
23. Committee on Safety of Existing Dams, 1983, «Safety of existing dams», National Academy Press, Washington.
24. Bellos, C.V., J.V. Soulis & J.G. Sakkas, 1991, «Computation of two-dimensional dam-break induces flows. Advances in Water Resources».
25. Dimitriadis, P., Tegos, A.Oikonomou, A.Pagana, V.Koukouvinos, A. Mamassis, N. Koutsoyiannis, D. Efstratiadis, 2016, «A. Comparative evaluation of 1D and quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping". *J. Hydrol.* [Google Scholar] [CrossRef]
26. Bellos, V., Kourtis I.M., Moreno-Rodenas, A.Tsihrintzis, 2017, «V.A. Quantifying Roughness Coefficient Uncertainty in Urban Flooding Simulations through a Simplified Methodology. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]

27. [Hydrology | Free Full-Text | Propagating Dam Breach Parametric Uncertainty in a River Reach Using the HEC-RAS Software \(mdpi.com\)](#)
28. Μ.Α. Μιμίκου, Ε.Α. Μπαλτάς, 2012, «Τεχνική Υδρολογία», ΕΜΠ, Αθήνα.
29. Γ. Τσακίρης, 1995, «Υδάτινοι Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία», ΕΜΠ, Αθήνα.
30. Γ. Τσακίρης, 2010, «Υδραυλικά Έργα - Σχεδιασμός & Διαχείριση – Τόμος Ι: Αστικά Υδραυλικά Έργα», ΕΜΠ, Αθήνα.
31. Ε. Αφτιάς, 1992, «Υδρεύσεις», ΕΜΠ, Αθήνα.
32. Μ. Μιμίκου, 1994, «Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων», ΕΜΠ, Αθήνα.
33. Benson, M. A., 1973, «Thoughts on the design of Design Floods. In: Floods and Droughts».
34. [Απελούν τα γερασμένα φράγματα | Η Εφημερίδα των Συντακτών \(efsyn.gr\)](#)