ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διερεύνηση Μοντελοποίησης Κτηριακών Υποδομών για την Υδραυλική Προσομοίωση Πλημμύρας σε Αστική Λεκάνη Απορροής

Εμέλα Μίτση
cv18812

Επιβλέπων:
Θεανώ Ηλιοπούλου,
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα μου Θεανώ Ηλιοπούλου, ΕΔΙΠ-Δρ. Πολιτικό Μηχανικό, για την πολύτιμη καθοδήγησή, τις γνώσεις και την υποστήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της διαδρομής. Ακόμη, ένα ευχαριστώ στον Μάρκο Αλεξόπουλο, υποψήφιο διδάκτορα, για την βοήθεια του στην διεξαγωγή της παρούσας διπλωματικής.

Πολλά ευχαριστώ αξίζουν στον σύζυγο μου, Λουκά, για την υποστήριξη και την υπομονή του σε κάθε βήμα αυτής της δύσκολης διαδρομής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους γονείς μου και τον αδερφό μου Γιάννη, που με ενθάρρυναν από την πρώτη στιγμή της ζωής μου.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω αυτή τη διπλωματική εργασία στην κόρη μου Αναστασία. Η αγάπη και η παρουσία της μου έδωσαν το κουράγιο και την έμπνευση που χρειαζόμουν για να συνεχίσω και να ολοκληρώσω αυτή την πολύ δύσκολη προσπάθεια, και να φτάσω στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

«Κι αν δεν μπορείς να κάμεις την ζωή σου όπως την θέλεις,
τούτο προσπάθησε τουλάχιστον
όσο μπορείς: μην την εξευτελίζεις
μες στην πολλή συνάφεια του κόσμου,
μες στες πολλές κινήσεις και ομιλίες.

Μην την εξευτελίζεις πηαίνοντάς την,
γυρίζοντας συχνά κι εκθέτοντάς τη
στων σχέσεων και των συναναστροφών
την καθημερινήν ανοησία,
ως που να γίνει σα μια ξένη φορτική.»

Κ.Π Καβάφης, 1913

Ολοκληρώνοντας αυτό το απαιτητικό κεφάλαιο της ζωής μου στο Πολυτεχνείο, καταλαβαίνω πως η προσωπική μας εξέλιξη πηγάζει από τους στόχους που θέτουμε εμείς οι ίδιοι, ακολουθώντας τον δικό μας δρόμο, χωρίς να παρασυρόμαστε από την καθημερινή ανοησία μες στην πολλή συνάφεια του κόσμου.
Η εξέλιξη μας δεν έγκειται μόνο στην επίτευξη ακαδημαϊκών στόχων, αλλά και στην εσωτερική πρόοδο που επιτυγχάνουμε καθ’ όλη την διάρκεια της ζωής μας.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη 8
Abstract 9

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ 10

1.1 Αντικείμενο 10
1.1 Διάρθρωση της εργασίας 11

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ 12

2.1 Πλημμύρες 12
2.2 Rain On Grid 14
2.3 Gis 16
2.4 Hec – Ras 17
2.5 Βροχόπτωση σχεδιασμού και υδρολογικές απώλειες 19

3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 25

4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ 28

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 42

5.1 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων (T100) 43
5.1.1 Σύγκριση Πλέγματος (Προσομοιώσεις 20 m πλέγμα χωρίς κτίρια-10 m πλέγμα χωρίς κτίρια) 43
5.1.2 Απορροή από Στέγες και Αύξηση του CN (Προσομοιώσεις 10 m πλέγμα χωρίς κτίρια-CN 100 χωρίς κτίρια) 47
5.1.3 Επίδραση του Ύψους των Κτιρίων (5 m κτίρια – 12 m κτίρια) 50
5.1.4 Σύγκριση Τραχύτητας Manning (Manning 10 – Manning 1) 53
5.1.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων CN 100 χωρίς κτίρια-12 m κτίρια-Manning 1 57
5.2 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων T1000 60
5.2.1 Σύγκριση 5 m – 12 m ύψος κτιρίων 60
5.2.2 Σύγκριση CN 100 – 12 m ύψους κτιρίων – Manning 1 64

6 ΣΥΖΗΤΗΣΗ 69

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 71

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 73

9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 75

Κατάλογος Εικόνων

Εικονα 1: Χαρτης Μεγιστου - Ελαχιστου Υψομετρου Ποδονιφτη 26
Εικονα 2: Χαρτης Χρησεις Γης Ποδονιφτη 26
Εικονα 3: Χαρτης Ψηφιοποιημενων Κτιριων Ποδονιφτη 28
Εικονα 4: Υψομετρο με τα ψηφιοποιημενα κτιρια του Ποδονιφτη 29
Εικονα 5: Υετογραφηματα για T100 - T1000 32
Εικονα 6: Χαρτης Διηθησης με CN 80 στα Κτιρια 34
Εικονα 7: Χαρτης Χρησεις γης με Manning 0.02 στα Κτιρια 35
Εικονα 8: Χαρτης Διηθησης με CN 100 στα Κτιρια 37
Εικονα 9: Χαρτης Χρησεις γης με Manning 10 στα Κτιρια 39
Εικονα 10: Χαρτης Κομβων 42
Εικονα 11: Μεγιστο Βαθος για την προσομοιωση με πλεγμα 20 μ χωρις κτιρια 43
Εικονα 12: Μεγιστη Ταχυτητα για την προσομοιωση με πλεγμα 20 μ χωρις κτιρια 44
Εικονα 13: Μεγιστο Βαθος για την προσομοιωση με πλεγμα 10 μ χωρις κτιρια 45
Εικονα 14: Μεγιστη Ταχυτητα για την προσομοιωση με 10 μ χωρις κτιρια 45
Εικονα 15: Αιχμες Παροχης για 20 μ (run01) και 10 μ (run02) πλεγμα χωρις κτιρια στους κομβους 1-5 46
Εικονα 16: Παροχες για 20 μ (run01) και 10 μ (run02) πλεγμα χωρις κτιρια στον Κομβο 1 47
Εικονα 17: Μεγιστο Βαθος για την προσομοιωση CN 100 χωρις κτιρια 48
Εικονα 18: Μεγιστη Ταχυτητα για την προσομοιωση CN 100 χωρις κτιρια 48
Εικονα 19: Παροχες Αιχμης για 10 μ πλεγμα χωρις κτιρια (run02) - CN 100 (run03) χωρις κτιρια στους κομβους 1-5 49
Εικονα 20: Παροχη για 10 μ πλεγμα χωρις κτιρια (run02) - CN 100 (run03) χωρις κτιρια στον Κομβο 1 49
Εικονα 21: Μεγιστο Βαθος για την προσομοιωση με υψος κτιριων 5 μ 50
Εικονα 22: Μεγιστη Ταχυτητα για την προσομοιωση με υψος κτιριων 5 μ 51
Εικονα 23: Μεγιστο Βαθος για την προσομοιωση με υψος κτιριων 12 μ 51
Εικονα 24: Μεγιστη Ταχυτητα για την προσομοιωση με υψος κτιριων 12 μ 52
Εικονα 25: Παροχες Αιχμης για τις προσομοιωσεις με υψος κτιριων 5 μ (run04) - 12 μ (run05) στους κομβους 1-5 52
Εικονα 26: Παροχη για τις προσομοιωσεις με υψος κτιριων 5 μ (run04) - 12 μ (run05) στον Κομβο 1 53
Εικονα 27: Μεγιστο Βαθος για την προσομοιωση Manning 10 54
Εικονα 28: Μεγιστη Ταχυτητα για την προσομοιωση Manning 10 54
Εικονα 29: Μεγιστο Βαθος για την προσομοιωση Manning 1 55
Εικονα 30: Μεγιστη Ταχυτητα για την προσομοιωση Manning 1 55
Εικονα 31: Παροχες Αιχμης για τις προσομοιωσεις Manning 10 (run06) - Manning 1 (run10) στους κομβους 1-5 56
Εικονα 32: Παροχη για τις προσομοιωσεις Manning 10 (run06) - Manning 1 (run10) στον Κομβο 1 56
Εικονα 33: Διοδευση νερου με CN 100 χωρίς κτίρια (Υποβαθρο: Google Satelite) 57
Εικονα 34: Διοδευση Νερου για την προσομοιωση με υψος 12 μ κτιριων (Υποβαθρο: Google Satelite) 58
Εικονα 35: Διοδευση Νερου για την προσομοιωση κτιριων Manning 1 (Υποβαθρο: Google Satelite) 58
Εικονα 36: Παροχες Αιχμης για τις προσομοιωσεις CN 100 χωρις κτιρια (run03) - 12 μ υψος κτιριων (run05) - Manning 1 (run10) στους κομβους 1-5 59
Εικονα 37: Παροχη για τις προσομοιωσεις CN 100 χωρις κτιρια (run03) - 12 μ υψος κτιριων (run05) - Manning 1 (run10)στον Κομβο 1 59
Εικονα 38: Μεγιστο Βαθος για την προσομοιωση με υψος κτιριων 5 μ, T1000 60
Εικονα 39: Μεγιστη Ταχυτητα για την προσομοιωση με υψος κτιριων 5 μ, T1000 61
Εικονα 40: Μεγιστο Βαθος για την προσομοιωση με υψος κτιριων 12 μ, T1000 62
Εικονα 41: Μεγιστη Ταχυτητα για την προσομοιωση με υψος κτιριων 12 μ, T1000 62
Εικονα 42: Παροχες Αιχμης για τις προσομοιωσεις 5 μ υψους κτιριων (run08) - 12 μ υψους κτιριων (run09) στους κομβους 1-5 για T1000 63
Εικονα 43: Παροχη για τις προσομοιωσεις 5 μ υψους κτιριων (run08) - 12 μ υψους κτιριων (run09) στον Κομβο 1 για T1000 63
Εικονα 44: Μεγιστο Βαθος για την προσομοιωση CN 100, T1000 64
Εικονα 45: Μεγιστη Ταχυτητα για την προσομοιωση CN 100, T1000 65
Εικονα 46: Μεγιστο Βαθος Manning 1, T1000 65
Εικονα 47: Μεγιστη Ταχυτητα Manning 1, T1000 66

Εικονα 48: Διοδευση Νερου για την προσομοιωση CN 100 χωρις κτιρια για T1000(Υποβαθρο: Google Satelite) 66
Εικονα 49: Διοδευση Νερου για την προσομοιωση με υψος κτιριων 12 μ για T1000 (Υποβαθρο: Google Satelite) 67
Εικονα 50: Διοδευση Νερου για την προσομοιωση Manning 1 και T1000 (Υποβαθρο: Google Satelite) 67
Εικονα 51: Παροχες Αιχμης για τις προσομοιωσεις CN 100 (run07) - 12 μ υψος κτιριων (run09) - Manning 1 (run11) για T1000 στους κομβους 1-5 68
Εικονα 52: Παροχη για τις προσομοιωσεις CN 100 (run07) - 12 μ υψουε κτιριων (run09) - Manning 1 (run11) για T1000 στον Κομβο 1..... 68
Εικονα 53: Διαφορα Βαθους 5 μ κτιρια - 12 μ κτιρια..... 75
Εικονα 54: Διαφορα Ταχυτητων 5 μ κτιρια - 12 μ κτιρια 76
Εικονα 55: Διαφορα Βαθους Manning 10 - Manning 1..... 76
Εικονα 56: Διαφορα Ταχυτητων Manning 10 - Manning 1..... 77
Εικονα 57: Διαφορα Βαθους 5 μ κτιρια - 12 μ κτιρια για T1000 78
Εικονα 58: Διαφορα Ταχυτητων 5 μ κτιρια - 12 μ κτιρια για T1000 78
Εικονα 59: Παροχες 20 μ πλεγμα χωρις κτιρια στον Κομβο 1 79
Εικονα 60: Παροχες 10 μ πλεγμα χωρις κτιρια στον Κομβο 1 79
Εικονα 61: Παροχες CN 100 χωρις κτιρια στον Κομβο 1 80
Εικονα 62: Παροχες 5 μ κτιρια στον Κομβο 1..... 80
Εικονα 63: Παροχες 12 μ κτιρια στον Κομβο 1 81
Εικονα 64: Παροχες Manning 10 στον Κομβο 1 81
Εικονα 65: Παροχες T1000, CN 100στον Κομβο 1..... 82
Εικονα 66: Παροχες T1000, 5 μ κτιρια στον Κομβο 1..... 82
Εικονα 67: Παροχες T1000, 12 μ κτιρια στον Κομβο 1..... 83
Εικονα 68: Παροχες Manning 1 στον Κομβο 1 83
Εικονα 69: Παροχες Manning 1, T1000 στον Κομβο 1 84

Κατάλογος Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 CURVE NUMBER 34
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΑΡΙΘΜΟΣ MANNING 36
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 CURVE NUMBER 38
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 ΑΡΙΘΜΟΣ MANNING 40

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη διερεύνηση της επίδρασης των κτηριακών υποδομών στην υδραυλική προσομοίωση πλημμύρας στην αστική λεκάνη απορροής του Ποδονίφτη, με χρήση λογισμικού HEC – RAS και QGIS. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει την εφαρμογή δύο μεθόδων μοντελοποίησης: της μεθόδου Stubby Building για την προσομοίωση του ύψους των κτιρίων και της επίδρασής τους στην ροή, και της μεθόδου Building Resistance για την εκτίμηση της αντίστασης των κτιρίων ως φυσικών εμποδίων. Αρχικά, το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) εισήχθη στο QGIS, όπου δημιουργήθηκαν 19800 πολύγωνα που αντιπροσωπεύουν μεμονωμένα ή ομάδες κτιρίων. Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανύψωση του DEM κατά 5 m και 12 m, ώστε να εξεταστεί η επίδραση διαφορετικών υψών των κτιρίων στις υδρολογικές προσομοιώσεις. Το DEM εισάγεται για τη δημιουργία τοπογραφικού μοντέλου εντός του HEC – RAS. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει έντεκα Προσομοιώσεις με παραμέτρους όπως το μέγεθος του πλέγματος, η τιμή του Manning, η τιμή του Curve Number (CN), οι περίοδοι επαναφοράς (T=100 και T=1000) και την προσθήκη διαφορετικών υψών των κτιρίων. Η σύγκριση των πειραμάτων επικεντρώνεται στην εκτίμηση της ροής και των πλημμυρικών ζωνών σε συνδυασμό με την παρουσία των κτιριακών δομών, και η σύγκριση των δύο μεθόδων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το μέγεθος του πλέγματος επηρεάζει την ακρίβεια των προσομοιώσεων, ενώ οι διαφορετικές μέθοδοι επηρεάζουν τη ροή και την χωρική κατανομή των πλημμυρών. Παρά τα ευρήματα, η έλλειψη τοπικών δεδομένων επαλήθευσης και η χρήση ενός ομοιόμορφου πλέγματος σε όλη τη λεκάνη απορροής αποτελούν περιορισμούς της μελέτης.

Abstract

The aim of this thesis is to investigate the effect of building the effect of building infrastructure on the hydraulic flood simulation in the urban catchment of the Podonifti River, using HEC – RAS and QGIS software. The methodology includes the application of two modeling methods: the Stubby Building method to simulate the height of buildings and their effect on flow, and the Building Resistance method to estimate the resistance of buildings as physical barriers. Initially, the Digital Terrain Method (DEM) was imported into QGIS, where 19.800 polygons representing individual or groups of buildings were created. Subsequently, the DEM was elevated by 5m and 12m to examine the effect of different building heights on the hydrological simulations. The DEM is imported to create a topographic model within HEC – RAS. The methodology includes eleven experiments with parameters such as grid cell size, Manning's value, Curve Number (CN), return periods (T=100 and T1000) and the addition of different building heights. The comparison of the experiments focuses on the estimation of the discharge and flood zones in combination with the presence of buildings structures, and the comparison of the two methods. The results showed that the grid size affects the accuracy of the simulations, while the different methods affect the flow and the flood distribution. Despite these findings, the study's limitations include the lack of local validation data and the use of a uniform grid across the catchment area.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Αντικείμενο

Από το έτος 1980 έως και το 2024, έχουν καταγραφεί περίπου 1500 πλημμυρικά συμβάντα στην Ευρωπαϊκή ήπειρο. Αυτά τα συμβάντα οδήγησαν σε 4300 απώλειες ανθρώπινης ζωής και προκάλεσαν οικονομικές ζημιές που υπερβαίνουν τα 170 δισεκατομμύρια ευρώ. Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνονται στα αναθεωρημένα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας, τα οποία εκπονήθηκαν από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ), κατ' εφαρμογή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας για τις πλημμύρες (2007/60/ΕΚ). Στη χώρα μας έχουν αναγνωριστεί και χαρτογραφηθεί ως Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας συνολικές εκτάσεις 26.703 km^2, που αντιστοιχούν περίπου στο 20% της επικράτειας. Οι περισσότερες ιστορικές πλημμύρες με ανθρώπινα θύματα και μεγάλες υλικές ζημίες έχουν καταγραφεί σε αστικά κέντρα, τα οποία, μαζί με τις βιομηχανικές ζώνες, είναι από τις πιο ευάλωτες περιοχές στις πλημμύρες.

Η έντονη αστικοποίηση που συχνά συνδυάζεται με την τροποποίηση και τον περιορισμό του φυσικού υδρογραφικού δικτύου και την έλλειψη των κατάλληλων αντιπλημμυρικών έργων, αυξάνει τον κίνδυνο πλημμύρας και εντείνει τις σχετικές επιπτώσεις. Η σχεδόν αποκλειστική χρήση αδιαπέρατων από το νερό υλικών όπως η άσφαλτος και το τσιμέντο, η κάλυψη των ρεμάτων, ο περιορισμός της κοίτης τους και της φυσικής πλημμυρικής τους ζώνης, είναι παράγοντες που εμποδίζουν την διόδευση των όμβριων υδάτων και ενισχύουν το μέγεθος των πλημμυρών.

Όσον αφορά στις βιομηχανικές περιοχές, σύμφωνα με την έρευνα της Ένωσης Ασφαλιστικών Εταιριών Ελλάδος (ΕΑΕΕ) που εκδόθηκε στα τέλη Νοεμβρίου 2023, σχετικά με την πρώτη εκτίμηση των ζημιών που προκλήθηκαν από τα ακραία καιρικά φαινόμενα που επικράτησαν με ιδιαίτερη ένταση στην Θεσσαλία την περίοδο 5- 8 Σεπτεμβρίου 2023, συνολικά οι ασφαλιστικές καλούνται να αποζημιώσουν, σύμφωνα με τους έως τότε υπολογισμούς της ΕΑΕΕ, με 364.2 εκατ. ευρώ. Από αυτά, τα 162,4 εκατ. ευρώ αφορούν ασφαλισμένες βιομηχανίες, με τη μέση δηλωθείσα ζημία των επιχειρήσεων να κυμαίνεται στα 291.98 ευρώ(Industry News 2024).

Οι αστικές πλημμύρες έχουν γίνει ένα ολοένα και πιο σημαντικό πρόβλημα και αυξανόμενο ζήτημα παγκοσμίως. Δεδομένου ότι συνεχίζουν να θεωρούνται σχεδόν αναπόφευκτος κίνδυνος, η ανάπτυξη στρατηγικών μείωσης των πλημμυρών με κόστος – αποτελεσματικότητα έχει καταστεί σημαντική για πολλές πόλεις, και ιδιαίτερα για εκείνες σε αναπτυσσόμενες χώρες, όπου οι οικονομικού πόροι για την αποκατάσταση από καταστροφές που σχετίζονται με πλημμύρες είναι ανύπαρκτοι.

Με τη χρήση υπολογιστικών μοντέλων, σε συνδυασμό με την χαρτογράφηση γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (GIS), μπορεί να εξεταστεί η δημιουργία πλημμυρών και οι επιπτώσεις.(Vojinovic et al., 2013)
Για πιο έγκυρες μελέτες διαχείρισης ρίσκου πλημμυρών, είναι αναγκαία η μοντελοποίηση των κτιρίων, καθώς επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση των

επιπτώσεων των πλημμυρών στις υποδομές και την ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης του κινδύνου.
Σκοπός της διπλωματικής εργασίας, είναι να εξεταστεί η συμπεριφορά και να συγκριθούν τα Προσομοιώσεις που έγιναν στη μοντελοποίηση των κτιρίων, που αφορούν την αστική λεκάνη του Ποδονίφτη.

1.1 Διάρθρωση της εργασίας

Εκτός από την παρούσα εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), η διπλωματική εργασία περιλαμβάνει οχτώ ακόμα κεφάλαια.

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζεται η βιβλιογραφική επισκόπηση που αφορά τις πλημμύρες, την μέθοδο Rain On Grid, την χρήση του Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας, του Hec – Ras καθώς και τις απώλειες – ωφέλιμη βροχή.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται η περιοχή μελέτης και τα χαρακτηριστικά της αστικής λεκάνης του Ποδονίφτη.

Στο κεφάλαιο 4 αναπτύσσεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην διπλωματική εργασία.

Στο κεφάλαιο 5 παρατίθενται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων τα περίοδο επαναφοράς Τ100, και Τ100 και για τα 11 Προσομοιώσεις τα οποία πραγματοποιήθηκαν.

Στο κεφάλαιο 6 γίνεται η συζήτηση, όπου σχολιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων.

Στο κεφάλαιο 7 συνοψίζονται τα συμπεράσματα και παρουσιάζονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Τέλος στα κεφάλαια 8 και 9 παρατίθενται η βιβλιογραφία και το παράρτημα αντίστοιχα.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Πλημμύρες

Για την αντιμετώπιση των πλημμυρών, η συντονισμένη δράση από τα κράτη μέλη θα μπορούσε να προσφέρει αξιοσημείωτη προστιθέμενη αξία και να βελτιώσει το συνολικό επίπεδο της προστασίας από τις πλημμύρες.

Επιπρόσθετα του συντονισμού, τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να εφαρμόσουν την οδηγία 2007/60/ΕΚ (European Parliament and Council of the European Union. (2007). Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. Official Journal of the European Union, L 288, 27-34). Συγκεκριμένα στις 18 Σεπτεμβρίου 2007, το Ευρωπαϊκό Συμβούλιο ενέκρινε τη νέα 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).

Στόχος της οδηγίας 2007/60/ΕΚ είναι η διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας εστιάζοντας στη μείωση των δυνητικά αρνητικών συνεπειών που οι πλημμύρες έχουν στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα(Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, n.d.).

Οι χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας προσδιορίζουν τις γεωγραφικές ζώνες που μπορούν να πλημμυρίσουν σύμφωνα με τρία σενάρια: πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας υπέρβασης (ενδεικτική περίοδος επαναφοράς 1000 χρόνια), πλημμύρες μέσης πιθανότητας υπέρβασης (ενδεικτική περίοδος επαναφοράς 100 χρόνια), πλημμύρες υψηλής πιθανότητας υπέρβασης (ενδεικτική περίοδος επαναφοράς 50 χρόνια). Για κάθε σενάριο, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την έκταση της πλημμύρας, τα βάθη ή την απόλυτη στάθμη νερού την ταχύτητα ροής ή τη ροή υδάτων και τον χρόνο παραμονής τους σε χαρακτηριστικές θέσεις.

Τα Σχέδια Διαχείρισης των Κινδύνων Πλημμύρας (ΣΔΚΠ) καταρτίζονται σε επίπεδο Υδατικού Διαμερίσματος για τις περιοχές που υπάρχουν δυνητικοί κίνδυνοι πλημμύρας ή είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα, οι οποίες ονομάζονται Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ). Τα ΣΔΚΠ λαμβάνουν υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των περιοχών, και καλύπτουν ενδεδειγμένες λύσεις ανάλογα με τις ανάγκες και τις προτεραιότητες των περιοχών αυτών, εξασφαλίζοντας παράλληλα συναφή συντονισμό εντός των περιοχών λεκάνης απορροής ποταμών και προωθώντας την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων, που έχουν θεσπίσει με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τα υπόγεια και επιφανειακά υδατικά συστήματα.

Για την 1η Αναθεώρηση της Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνου Πλημμύρας, το άρθρο 4 παρ.1 της Οδηγίας ορίζει συνοπτικά την καταγραφή των ιστορικών πλημμυρών από το 2012 και μετά. Έπειτα, εντοπίζει τις περιοχές με πιθανότητα πλημμύρας, ώστε να γίνει μια πιο στοχευμένη ανάλυση των κινδύνων, και στην

συνέχεια αξιολογεί τις δυνητικές αρνητικές συνέπειες, καθώς και την αναθεώρηση των Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας et. al).

Υπάρχουν αρκετές μελέτες για την διαχείριση ρίσκου, μια από αυτές είναι και το πλαίσιο του **Sendai Framework**, για την Μείωση του Κινδύνου Καταστροφών (2015 – 2030). Αποτελεί την πρώτη μεγάλη συμφωνία, μετά το 2015 και παρέχει στα κράτη μέλη συγκεκριμένες δράσεις για την προστασία των αναπτυξιακών επιτευγμάτων, από τον κίνδυνο καταστροφών (Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας et. al).

Εγκρίθηκε από την Γενική Συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών μετά την Τρίτη Παγκόσμια Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για την μείωση καταστροφών το 2015. Υποστηρίζει τη σημαντική μείωση του κινδύνου καταστροφών και των απωλειών σε ζωές, μέσα διαβίωσης, υγεία και περιουσίες, καθώς και αναγνωρίζει ότι το κράτος έχει τον κύριο ρόλο στη μείωση του κινδύνου καταστροφών, αλλά η ευθύνη πρέπει να μοιράζεται με τοπικές κυβερνήσεις, τον ιδιωτικό τομές και άλλους φορείς. Η United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) έχει αναλάβει την υποστήριξη της εφαρμογής, της παρακολούθησης και της αναθεώρησης του πλαισίου Sendai (UNDRR, 2015 et. al). Παράλληλα, στην ακαδημαϊκή βιβλιογραφία υπάρχουν αναπαραστάσεις ισοζυγίου του νερού που συμβάλουν στην κατανόηση διαχείρισης υδάτων. Μερικές από αυτές αναπτύσσονται παρακάτω.

Οι Mark et al., (2004), παρουσιάζουν τον τρόπο που οι αστικές πλημμύρες μπορούν να προσομοιωθούν με μονοδιάστατη μοντελοποίηση, ενσωματώνοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ: του υπόγειου συστήματος σωλήνων , των δρόμων (με ροή ανοιχτού καναλιού) και των περιοχών που πλημμυρίζουν με στάσιμα νερά. Η προσέγγιση μοντελοποίησης χειρίζεται τόσο τις αστικές πλημμύρες με είσοδο των πλημμυρικών υδάτων στα σπίτια όσο και χωρίς αυτήν και εξετάζεται η επίδραση της έκτασης πλημμύρας, βάθους πλημμύρας και η διάρκειά της.

Οι El baida et al., (2024) εστίασαν στο πρόβλημα της επαναλαμβανόμενης πλημμύρας στην πόλη Ζάιο στο Μαρόκο, και συγκεκριμένα στην αποκλειστική μελέτη μιας πλημμύρας χρησιμοποιώντας υδρογραφήματα. Η μελέτη αυτή αντιμετωπίζει περιορισμούς ως προς την πρόβλεψη βάθους πλημμύρας, η οποία επηρεάζεται από εξωτερικές λεκάνες απορροής, όπου προσπαθεί να τις μειώσει με την εισαγωγή ενός αλγόριθμου μηχανικής μάθησης, προσαρμοσμένου για την χαρτογράφηση βάθους πλημμύρας από βροχοπτώσεις και ποτάμια σε πραγματικό χρόνο με υψηλή ανάλυση (2m). Η μελέτη περιλάμβανε οκτώ υετογραφήματα, με τέσσερα να συνδέονται για δοκιμή. Η προσθήκη CN συνδέει την μοντελοποίηση απορροής βροχής και την υδροδυναμική προσομοίωση βάθους πλημμύρας 2D, στην πρόβλεψη τόσο του βάθους πλημμύρας από βροχοπτώσεις, όσο και από ποτάμια, μειώνοντας τον υπολογιστικό χρόνο κατά ένα σημαντικό ποσοστό 99,17% .

Οι Macchioli Grande et al., (2024) μελέτησαν πώς η εποχική μεταβολή της μετεωρολογικής πίεσης, επηρεάζει την υδρολογική συμπεριφορά μιας μικρής δασώδους λεκάνης σε μεσογειακή περιοχή. Χρησιμοποίησαν μετρήσεις υγρασίας του εδάφους και χώρισαν τα υδρογραφήματα με βάση την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τα

αποτελέσματα έδειξαν ότι η εποχικότητα παίζει σημαντικό ρόλο στη διαχείριση της υγρασίας του εδάφους και στην συμπεριφορά της ροής κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου, ειδικά στις ανώτερες υπολεκάνες. Αντίθετα, στην ξηρή περίοδο, παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες ποσότητες νερού που απορρέει, σε σχέση με τις πηγές.

Οι πλημμύρες από βροχοπτώσεις στις αστικές περιοχές είναι ένας από τους πιο κοινούς και σοβαρούς περιβαλλοντικούς κινδύνους παγκοσμίως. Αν και προηγούμενες έρευνες έχουν δείξει ότι οι πλημμύρες από βροχοπτώσεις συσχετίζονται έντονα με τον σχηματισμό και την διάταξη της χρήσης αστικής γης, έχει δοθεί πολύ λιγότερη προσοχή στη σχέση μεταξύ των μορφολογικών χωρικών προτύπων χρήσης γης και των πλημμυρών από βροχοπτώσεις (Han et al. 2021)

Οι Lin et al., (2023) βασίστηκαν στην μηχανική μάθηση για την ανάλυση των αστικών πλημμυρών λόγω βροχοπτώσεων, με έμφαση στα μορφολογικά χαρακτηριστικά του αστικού τοπίου, την χρήση γης και την τοπογραφία. Διαπίστωσαν ότι η πυκνότητα της αστικής ανάπτυξης είχε κρίσιμο ρόλο στην πρόκληση πλημμυρών από βροχοπτώσεις. Επιπλέον, μια υψηλής πυκνότητας χρήσης γης, χωρίς κατάλληλα σχεδιασμένα χωρικά πρότυπα, μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο αυτών των πλημμυρών. Ως αποτέλεσμα παρουσιάζουν ότι, ο κίνδυνος πλημμυρών μπορεί να μειωθεί αν εφαρμοστεί μια διάσπαρτη μορφή αστικής ανάπτυξης, σε συνδυασμό με την ενσωμάτωση πράσινων και μπλε υποδομών, ενώ τα περιμετρικά όρια της αστικής περιοχής θα πρέπει να είναι καλά οργανωμένα.

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση αναφέρεται στις συνέπειες της αστικοποίησης και τις χρήσεις γης στις πλημμύρες. Στο πλαίσιο αυτό, η μέθοδος Rain-on-Grid (RoG), αποτελεί μια εξέλιξη της προσομοίωσης των πλημμυρών.

2.2 Rain On Grid

Η Βροχή στο πλέγμα (RoG) είναι μια μέθοδος προσομοίωσης πλημμυρικών φαινομένων που χρησιμοποιείται στην υδρολογία και την περιβαλλοντική μηχανική. Αφορά την απευθείας εφαρμογή της βροχόπτωσης σε ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Models (DEM)), πάνω στο οποίο δημιουργείται ένα πλέγμα από κελιά. Κάθε κελί λαμβάνει την ποσότητα βροχής που αντιστοιχεί στην τοποθεσία του, και στη συνέχεια υπολογίζεται η ροή νερού από κάθε κυψέλη σε γειτονικές κυψέλες με βάση την τοπογραφία και άλλες φυσικές παραμέτρους, όπως η διαπερατότητα του εδάφους και η χρήση γης.

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την λεπτομερή ανάλυση της κίνησης του νερού στην επιφάνεια του εδάφους, προσφέροντας τη δυνατότητα να κατανοήσουμε καλύτερα πώς η βροχή μετατρέπεται σε επιφανειακή απορροή και πώς εκείνη κινείται εντός της λεκάνης. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές προσεγγίσεις που βασίζονται σε υδρολογικές μονάδες, η RoG προσφέρει μια πιο ακριβή και ρεαλιστική αναπαράσταση του φαινομένου, λαμβάνοντας υπόψη τις τοπογραφικές λεπτομέρειες και την ροή του νερού.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της RoG είναι η ικανότητά της να χειρίζεται πολύπλοκες και μικτής χρήσης γης λεκάνες απορροής. Αυτό το καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο για περιοχές με έντονες μεταβολές στη χρήση γης, όπως αστικές περιοχές ή αγροτικές ζώνες με διαφορετικές καλλιέργειες και δομές. Επιπλέον, η χρήση λεπτομερών DEM επιτρέπει την αναπαράσταση μικτών ρυακιών, καναλιών και άλλων τοπογραφικών χαρακτηριστικών που μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στη ροή των υδάτων.

Οι πλημμύρες λόγω βροχόπτωσης που δεν σχετίζονται με ποτάμια, μοντελοποιούνται μέσω της προσέγγισης RoG, αποκλειστικά με ένα 2D υδραυλικό μοντέλο. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της βροχόπτωσης – απορροής, συμπεριλαμβανομένων αστικών περιοχών. Η προσέγγιση RoG θεωρείται η πιο κατάλληλη αριθμητική στρατηγική για την εφαρμογή μιας ακριβούς διαχείρισης κινδύνου καταιγίδων Costabile et al ., (2021).

Αρκετές μελέτες έχουν γίνει πάνω στην RoG, μερικές από αυτές παρουσιάζονται παρακάτω.

Οι Iliopoulou et al., (2023) μελέτησαν τον κίνδυνο πλημμύρας της Ρωμαϊκής Αγοράς στην Αθήνα. Χρησιμοποιώντας την μέθοδο RoG, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι αν και το άμεσο περιβάλλον του μνημείου δεν διατρέχει σημαντικό κίνδυνο, άλλες περιοχές χαμηλού υψομέτρου της Αγοράς εμφανίζουν μεγαλύτερη επικινδυνότητα, ιδίως ως προς την προσβασιμότητα των επισκεπτών και την ανάγκη καθαρισμού του χώρου μετά από έντονες βροχοπτώσεις.

Η μελέτη των Alexopoulos et al., (2024), έδειξε ότι το υδραυλικό μοντέλο RoG είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στην ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM), με τις υψηλότερες αναλύσεις (<1 m) να προσφέρουν ακριβέστερη απόδοση στις προσομοιώσεις πλημμύρας. DEM χαμηλότερης ανάλυσης, όπως των 30 m, οδηγούν σε σφάλματα και πρέπει να αποφεύγονται για τέτοιες προσομοιώσεις. Επίσης, η μείωση της ανάλυσης επηρεάζει τη μορφή της κορύφωσης, τους χρόνους συγκέντρωσης και την ταχύτητα του νερού, επηρεάζοντας τη σταθερότητα του μοντέλου.

Οι Zeiger & Hubbart (2021), έδειξαν ότι οι δισδιάστατες προσομοιώσεις RoG μπορούν να παράγουν αξιόπιστα υδρογραφήματα όταν χρησιμοποιείται κατάλληλη κατακρήμνιση. Αυτό περιλαμβάνει στοιχεία όπως, να μην υπάρχουν επιδράσεις από εξωτερικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά, και τα DEM αποτυπώνουν σωστά τις διαδρομές επιφανειακής ροής, ιδίως σε συνθήκες κορεσμένου εδάφους.

Η μελέτη των Ennouini et al., (2024) εξέτασε την χρήση της μεθόδου RoG για την αξιολόγηση του κινδύνου πλημμύρας σε κλίμακα λεκάνης, όπου είναι χρήσιμη σε αγροτικές λεκάνες με μικρές κατακόρυφες διακυμάνσεις, και σύνθετες αλληλεπιδράσεις με ανθρωπογενή εμπόδια και κατασκευές, οι οποίες μπορεί να υπεραπλουστευθούν από παραδοσιακές υδρολογικές εκτιμήσεις. Σε σύγκριση με τα συνθετικά σχεδιαστικά υδρογραφήματα από καθαρά υδρολογικές αναλύσεις, τα

υδρογραφήματα που προκύπτουν από το μοντέλο RoG δείχνουν μια πιο απότομη αύξηση και συγκρίσιμες μέγιστες εκφορτίσεις, υπό τα σενάρια χαμηλής πιθανότητας.

Η τεχνική της μοντελοποίησης των κτιρίων, βοηθάει ώστε να γίνει μια πιο ακριβής αναπαράσταση της διόδευσης του νερού ανάμεσα από τους δρόμους όπου υφίστανται κτίρια.

Στην μελέτη τους οι Iliadis et al., (2024) εξέτασαν τις διαθέσιμες προσεγγίσεις για την αναπαράσταση των κτιρίων και των αστικών χαρακτηριστικών, και εφάρμοσαν την προσέγγιση Stubby Building, καθώς και μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση Building Hole (BH) χρησιμοποιώντας το υδροδυναμικό μοντέλο CityCat όπου και μελετήθηκε η περιοχή του Newcastle upon Tyne, στο Ηνωμένο Βασίλειο. Συγκεκριμένα, πραγματοποίησαν άμεση σύγκριση της προσέγγισης SB με την BH, δείχνοντας ότι η BH παράγει μεγαλύτερα βάθη πλημμύρας, ενώ η SB επιτρέπει την ανακατανομή βαθέων υδάτων πάνω από τα ίχνη των κτιρίων και παρουσιάζει λιγότερες καταστάσεις παρεμπόδισης ροής. Η ροή του νερού μιας πλημμύρας, με την προσέγγιση SB είναι πιο διασκορπισμένη, με αποτέλεσμα περισσότερα κτίρια να επηρεάζονται.
Πέραν των σφαλμάτων που προκαλούνται κατά την επεξεργασία του DEM, γενικά, η προσέγγιση SB υποτιμά τα βάθη νερού και την υψηλότερη κατηγορία κινδύνου πλημμύρας στο αστικό περιβάλλον, λόγω μη ρεαλιστικών διαδρομών ροής που υπερκαλύπτουν τις μορφές των κτιρίων. Η επαλήθευση των επηρεαζόμενων κτιρίων έδειξε ότι η διαφορά μεταξύ των προσεγγίσεων για την κατηγοριοποίηση του κινδύνου πλημμύρας στα κτίρια είναι πολύ μεγάλη (80% για την BH και 15% για την SB).

2.3 Gis

Ένα Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα (ΓΣΠ), είναι ένα πληροφοριακό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για την εισαγωγή, ανάκτηση, διαχείριση, ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων. Τα γεωγραφικά δεδομένα, είναι δεδομένα με χωρική αναφορά και ο κύριος στόχος του ΓΣΠ είναι η υποστήριξη διαδικασιών λήψης αποφάσεων.

Τα ΓΣΠ έχουν εφαρμογή σε πληθώρα κλάδων, όπως την δημόσια υγεία, όπου χρησιμοποιείται στην παρακολούθηση ασθενειών, την περιβαλλοντική υγεία και την εξάπλωση μιας επιδημίας (Preye Winston Biu et al., 2024), στον εντοπισμό φυσικών κινδύνων, όπου το ΓΣΠ συλλέγει πληροφορίες όσον αφορά τις φυσικές καταστροφές και μπορεί να απεικονίσει μια επιρρεπείς ζώνη σε φυσικούς κινδύνους (Natural Hazards Assessment Using GIS-Case Study of Kolubara River Basin, Serbia, 2016), αλλά και στην γεωργία και αγροτική διαχείριση, όπου συμβάλλει στον εντοπισμό των πιο φιλικών στο περιβάλλον περιοχών για φύτευση καλλιεργειών και την κατανομή εκτάσεων για την διασφάλιση της συνεχόμενης παραγωγής τροφής (Trivedi et al., n.d.).

Στον τομέα των υδατικών πόρων, υπάρχουν εφαρμογές όπως αυτή των Zhang et al., (2020) όπου ανέπτυξε ένα μοντέλο πολυδιάστατης χωρικής ανάλυσης, βασισμένο στο ΓΣΠ για την αξιολόγηση κινδύνου πλημμύρας σε μεγάλη κλίμακα λεκανών. Χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων του ΓΣΠ, οι δείκτες κινδύνου πλημμύρας συνδυάστηκαν και αναλύθηκαν για τη δημιουργία ενός ενσωματωμένου χάρτη χωρικής κατανομής κινδύνου πλημμύρας για την λεκάνη του ποταμού Γιανγκτσέ, ενώ οι Haque & Basak, (2017) μελέτησαν με την χρήση δορυφόρων και του GIS τη σημασία και το ρυθμό των αλλαγών στους υγροτόπους στην περιοχή Tanguar Haor από το 1980 έως το 2010. Επιδίωξαν να εντοπίσουν τις περιοχές με ταχείες αλλαγές, το μέγεθος των αλλαγών και να αξιολογήσουν την παρούσα και την προηγούμενη κατάσταση της κάλυψης γης, προκειμένου να κατανοήσουμε τη δυναμική και τις τάσεις αλλαγών.

2.4 Hec – Ras

Για την ανάγκη της μελέτης, γίνεται χρήση HEC – RAS, το οποίο επιτρέπει την αριθμητική επίλυση των εξισώσεων Saint Venant με την μέθοδο πεπερασμένων διαφορών.

Το HEC – RAS είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που προσομοιώνει την υδραυλική ροή του νερού μέσω φυσικών ποταμών και άλλων καναλιών. Αναπτύχθηκε από το Σώμα Μηχανικών του Στρατού των ΗΠΑ (USACE). Το λογισμικό αυτό επιτρέπει στον χρήστη να εκτελεί μονοδιάστατες προσομοιώσεις σταθερής και μη σταθερής ροής, δισδιάστατες προσομοιώσεις μη σταθερής ροής. Επιπλέον, υποστηρίζει τον συνδυασμό μονοδιάστατων και δισδιάστατων προσομοιώσεων μη σταθερής ροής, μεταφοράς ιζημάτων/υπολογισμών μεταβαλλόμενου πυθμένα και μοντελοποίησης θερμοκρασίας νερού/ποιότητας νερού (Brunner, 2016a). Το HEC – RAS 2D παρουσιάζει δύο τύπους υπολογιστικών προσεγγίσεων για τον υπολογισμό του πεδίου ροής στο ορισμένο δισδιάστατο πλέγμα: τις πλήρεις εξισώσεις ορμής Saint – Venant και το μοντέλο κυματικής διάχυσης. Επιπλέον, απαιτείται πολύ λεπτό πλέγμα για την αντιμετώπιση των ταχέων αλλαγών στην κατεύθυνση της ροής στο δισδιάστατο πεδίο ροής.

Η εξίσωση συνέχειας, που αντιστοιχεί στην αρχή της διατήρησης της μάζας, και η εξίσωση ορμής, είναι ως εξής:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla(\mathbf{V}h) = q \tag{2.1}$$

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V}\nabla)\mathbf{V} = -g\nabla(h+z) + \boldsymbol{\nu}_{\mathrm{t}}\nabla^2\mathbf{V} - c_{\mathrm{f}}\mathbf{V} \tag{2.2}$$

όπου, h το βάθος του νερού και $\mathbf{V}$ το δισδιάστατο διάνυσμα της ταχύτητας ροής. Η σύνθετη πηγή q αντιπροσωπεύει τους όρους του υδατικού ισοζυγίου (π.χ.,

βροχόπτωση, διήθηση, κτλ.), ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας g, ο συντελεστής οριζόντιου ιξώδους v_t, το υψόμετρο z της κοίτης, και ο συντελεστής τριβής c_f εκφρασμένος ως $\tau/(\rho R|\boldsymbol{V}|)$, όπου τ η τάση τριβής στον πυθμένα, ρ η πυκνότητα του νερού και R η υδραυλική ακτίνα.

Με την παραμέληση του ιξώδους και του όρου μεταφοράς, η προσέγγιση της εξίσωσης ορμής με διάχυτο κύμα μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + g\nabla(h+z) = gS_f \qquad (2.3)$$

όπου S_f η κλίση τριβής του πυθμένα κατά Manning.

Στο πλαίσιο της δισδιάστατης προσομοίωσης (2D), το HEC RAS προσφέρει μια λεπτομερή αποτύπωση της κατανομής της ροής, καθώς μπορεί να μοντελοποιήσει την κίνηση του νερού σε δύο διαστάσεις (οριζόντια και κατακόρυφη), καθιστώντας το εργαλείο πιο ακριβές για τη μελέτη πλημμυρών, αστικών περιοχών και άλλων περιπτώσεων όπου η ροή του νερού δεν ακολουθεί γραμμική κατεύθυνση.

Πριν από την ενημέρωση του 2016 στην έκδοση 5.0, το HEC-RAS ήταν μονοδιάστατο, πράγμα που σημαίνει ότι δεν υπήρχε άμεση μοντελοποίηση της υδραυλικής επίδρασης των αλλαγών στο σχήμα της διατομής, των στροφών και άλλων δισδιάστατων και τρισδιάστατων πτυχών της ροής. Στην έκδοση 5.0, εισήχθησαν δυνατότητες δισδιάστατης μοντελοποίησης της ροής, καθώς και δυνατότητες μοντελοποίησης της μεταφοράς ιζημάτων. Στη βιβλιογραφία, μελέτες έχουν επικεντρωθεί στη χρήση του HEC-RAS 2-D για τη δημιουργία χαρτών πλημμυρικής κατάκλυσης σε αστικές περιοχές (Abdelkarim et al., 2019- David & Schmalz).

Οι Quirogaa et al. (2016) έδειξαν την καλή απόδοση της έκτασης πλημμύρας που προσομοιώνεται από το HEC-RAS 2-D σε σύγκριση με αυτήν που ανιχνεύθηκε από δορυφορική εικόνα για το πλημμυρικό γεγονός του Φεβρουαρίου 2014 στη Βολιβιανή Αμαζονία. Αναπτύχθηκε η μοντελοποίηση ροής ελεύθερης επιφάνειας, όπως και το αντίστοιχο μονοδιάστατο (1D) πρόγραμμα (Pilotti et al., 2020). Ανεξάρτητα από τα διαφορετικά μοντέλα, οι κώδικες HEC-RAS μπορούν να διέπονται από αναπαραστάσεις πλέγματος, δυνατότητες και απαιτήσεις δεδομένων εισόδου (Shustikova et al., 2019).

Οι Costabile et al. (2020b) διερεύνησαν τις επιδόσεις και τις δυνατότητες του δισδιάστατου μοντέλου HEC-RAS σε προσομοιώσεις βροχόπτωσης-απορροής σε κλίμακα λεκάνης απορροής. Επιπλέον, συνέκριναν τα αποτελέσματά που προέκυψαν με τη χρήση και των δύο επιλογών (εξισώσεις πλήρους ορμής και εξισώσεις κύματος διάχυσης) με τις προσομοιώσεις που προέκυψαν με τη χρήση ενός δισδιάστατου μοντέλου πλήρους ορμής. Το μοντέλο αναπτύχθηκε από τους συγγραφείς για ερευνητικούς σκοπούς.

Οι Ghimire, Sharma & Lamichhane (2020) αξιολόγησαν μονοδιάστατα (1-D) και δισδιάστατα μοντέλα HEC-RAS για την πρόβλεψη του χρόνου διάδοσης της πλημμύρας και της έκτασης πλημμύρας για ένα σύστημα προειδοποίησης πλημμύρας. Οι Shrestha et al. (2020) μελέτησαν την καταλληλότητα των MIKE 21 και HEC-RAS για τη δισδιάστατη μοντελοποίηση πλημμυρικών πεδίων και έδειξαν ότι συνολικά και τα δύο πακέτα λογισμικού είναι απολύτως ικανά ως ακριβή εργαλεία διαχείρισης πλημμυρών. Βασιζόμενη στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, η μελέτη μας επικεντρώνεται στην περαιτέρω εμβάθυνση της γνώσης και της κατανόησης των δυνατοτήτων και των ικανοτήτων του δισδιάστατου μοντέλου HEC-RAS, για την αναπαράσταση κτιριακών μονάδων σε μια προσομοίωση προσομοίωσης αστικών πλημμυρών.

Οι δομημένες περιοχές χαρακτηρίζονται από μεγάλο αριθμό κτιρίων, δρόμων, οδών και άλλων ανθρωπογενών στοιχείων. Αυτά είναι σημαντικά χαρακτηριστικά στα αστικά περιβάλλοντα, τα οποία δεν πρέπει να παραμελούνται κατά την προσομοίωση πλημμυρών. Προκειμένου να επιτευχθούν ακριβής αποτελέσματα για προσομοιώσεις αστικών πλημμυρών, τα αναφερόμενα χαρακτηριστικά θα πρέπει να προσομοιωθούν με κατάλληλο τρόπο.

Οι Soares-Frazão & Zech (2008) έδειξαν ότι η διάδοση των πλημμυρών σε αστικές περιοχές επηρεάζεται από τις διαμορφώσεις των κτιρίων και των δρόμων. Χρησιμοποιώντας δύο φυσικά Προσομοιώσεις και μια περίπτωση μελέτης πεδίου.

Οι Liu et al. (2018) χρησιμοποίησαν Προσομοιώσεις φυσικού μοντέλου για να αναπαραστήσουν τη διαδικασία της ροής του πλημμυρικού νερού γύρω και μέσα από ένα σπίτι. Αν και δηλώθηκε προηγουμένως, οι Li et al. (2019) παρουσίασαν ότι τα κτίρια είναι ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία στη μοντελοποίηση αστικών πλημμυρών και η παρουσία τους ως εμπόδια στη ροή του νερού, αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στις αστικές πλημμύρες.

2.5 Βροχόπτωση σχεδιασμού και υδρολογικές απώλειες

Για τον υπολογισμό της βροχόπτωσης σχεδιασμού σε επίπεδο λεκάνης απορροής, εφαρμόζεται μια διαδικασία η οποία υλοποιείται σε περιβάλλον ΓΣΠ, χρησιμοποιώντας ψηφιακές γενικευμένες όμβριες καμπύλες. Αρχικά, επιλέγονται τμήματα του κανάβου εντός των ορίων της λεκάνης, και υπολογίζεται το ποσοστό της έκτασης κάθε τμήματος. Στη συνέχεια, κάθε παράμετρος εκτιμάται ως σταθμισμένος μέσος όρος, με βάρος την αναλογική έκταση του κάθε τμήματος. Η μέση σημειακή βροχόπτωση υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης των όμβριων καμπυλών, όπου λαμβάνονται υπόψη οι σταθερές και γεωγραφικά μεταβαλλόμενες παράμετροι της λεκάνης.

$$x = 67.84 \frac{(\ T/0.020)^{0.18} - 1}{(1 + k/0.18)^{0.72}} \tag{2.4}$$

όπου x η ένταση βροχής x σε mm/h, k η χρονική κλίμακα σε h και T η περίοδος επαναφοράς σε έτη. (Iliopoulou et al., 2024)

Οι τιμές που προκύπτουν αφορούν στη σημειακή βροχόπτωση και πρέπει να αναχθούν στην επιφάνεια της εξεταζόμενης λεκάνης. Για την αναγωγή χρησιμοποιείται η σχέση των Κουτσογιάννη και Ξανθόπουλο (1999, σ. 153):

$$\phi = \max\left(1 - \frac{0.048\,A^{\{0.36\}} - 0.01\ln A}{d^{\{0.35\}}}, 0.25\right) \tag{2.5}$$

όπου φ ο συντελεστής επιφανειακής αναγωγής (αδιάστατος αριθμός), A η έκταση της λεκάνης σε km^2 και d η χρονική κλίμακα σε h. Η σχέση αυτή βασίστηκε σε πινακοποιημένα αποτελέσματα του National Environmental Research Council (1975), και αναφέρεται σε εύρος μεταβολής της χρονικής κλίμακας από 1 min έως 25 ημέρες και της έκτασης από 1 έως 30000 km^2.

Σημειώνεται ότι ο συντελεστής επιφανειακής αναγωγής φ εφαρμόζεται τόσο για το συνολικό ύψος βροχής που αντιστοιχεί στη συνολική διάρκεια της βροχής σχεδιασμού όσο και για τα τμηματικά ύψη βροχής που αντιστοιχούν σε κάθε επιμέρους χρονική κλίμακα εντός του υετογραφήματος.

Η βασικότερη παραδοχή στην κατάρτιση της καταιγίδας ελέγχου στη λεκάνη αφορά στη χρονική κατανομή του συνολικού ύψους βροχής. Στην πράξη χρησιμοποιούνται διάφορες απλοποιημένες μέθοδοι, μια κατάταξη των οποίων δίνεται από τον Koutsoyiannis (1994), όπου εισάγεται και μια συνθετότερη στοχαστική μέθοδος. Από τις απλοποιημένες μεθόδους της πράξης θεωρούνται ως πλεονεκτικότερες αυτές της δυσμενέστερης διάταξης του υετογραφήματος σχεδιασμού ή ελέγχου (ή worst profile· U.S. Department of the Interior, 1977, σ. 817· Koutsoyiannis, 1994) και η συναφής μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ (alternating block method· Sutcliffe, 1978, σσ. 31-35, Chow et al., 1988, σ. 466). Οι μέθοδοι αυτές παρουσιάζουν σοβαρά πλεονεκτήματα έναντι άλλων συνήθων μεθόδων της πράξης (π.χ., αδιάστατων αθροιστικών καμπυλών). Πρώτον, βασίζονται αποκλειστικά σε δεδομένα που έχουν μετρηθεί στην περιοχή μελέτης (όμβριες καμπύλες) και όχι σε διαγράμματα της βιβλιογραφίας. Δεύτερον, οδηγούν σε ένα μοναδικό υετογράφημα σχεδιασμού ή ελέγχου, χωρίς να απαιτείται καμιά πρόσθετη παραδοχή. Τρίτον, έχει δειχτεί μέσω σύγκρισης με πληρέστερα στοχαστικά μοντέλα (Koutsoyiannis, 1994) ότι τα αποτελέσματά τους είναι σαφώς πιο εύλογα και συνεπή, σε σχέση με αυτά της μεθόδου των αδιάστατων αθροιστικών καμπυλών. Η βασική παραδοχή και των δύο μεθόδων είναι ότι, σε κάθε επιμέρους διάρκεια, το προκύπτον ύψος βροχής έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με το τελικό (συνολικό) ύψος βροχής. (Βεβαίως, η παραδοχή αυτή δεν είναι ρεαλιστική, πράγμα που αποτελεί και το σημαντικότερο μειονέκτημα των δύο μεθόδων).

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται τα τμηματικά ύψη βροχής των επιμέρους

διαρκειών με βάση την όμβρια καμπύλη της υπό μελέτη λεκάνης, που αντιστοιχεί στην περίοδο επαναφοράς μελέτης και σε χρονική κλίμακα ίση με την υπόψη διάρκεια. Τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται στη συνέχεια με τρόπο ώστε να προκύπτει ένας ρεαλιστικός και ταυτόχρονα αρκετά δυσμενής συνδυασμός. Συγκεκριμένα, τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται σε χρονική ακολουθία με το μέγιστο στο μέσο της επιλεγμένης συνολικής διάρκειας βροχής και τα υπόλοιπα σε φθίνουσα σειρά εναλλακτικά αριστερά και δεξιά από το κεντρικό μπλοκ.

Όταν υιοθετείται αυτή η μέθοδος κατάρτισης της καταιγίδας σχεδιασμού ή ελέγχου, η διάρκεια βροχής θεωρείται σημαντικό πολλαπλάσιο (μεγαλύτερο του διπλάσιου) του χρόνου συγκέντρωσης της λεκάνης. Για την παρούσα μελέτη, υιοθετήθηκε ολική διάρκεια βροχής 12 ωρών και χρονικό βήμα υπολογισμού 10 min ενώ μελετήθηκαν περίοδοι επαναφοράς 10, 20, 50 και 100 ετών.

Σχετικά με τις απώλειες, υιοθετήθηκε η μέθοδος SCS, η οποία έχει αναπτυχθεί από την Αμερικανική Soil Conservation Service. Η εν λόγω μέθοδος βασίζεται στις ακόλουθες παραδοχές (Soil Conservation Service, 1972· U.S. Department of the Interior, 1977· βλ. και Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ. 274-278):

- Για ένα αρχικό διάστημα t_{α_0} , όλη η ποσότητα της βροχόπτωσης h_{a_0} μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε έλλειμμα (αρχικό έλλειμμα), χωρίς να δίνει καθόλου ενεργή βροχόπτωση. Κατά συνέπεια, μετά το χρόνο t_{α_0}, το μέγιστο ενεργό ύψος βροχής h_e δεν μπορεί να υπερβεί το δυνητικό μέγεθος $h - h_{a_0}$, όπου h το ολικό ύψος βροχής.

- Το επιπλέον, πέραν του αρχικού h_{a_0}, ελλειμματικό ύψος κατά τη διάρκεια μιας βροχόπτωσης δεν μπορεί να ξεπεράσει μια μέγιστη τιμή S, η οποία καλείται μέγιστη δυνητική κατακράτηση (potential maximum retention).

- Σε κάθε χρονική στιγμή $t > t_{\alpha_0}$, οι λόγοι του ενεργού (καθαρού) ύψους βροχής h_e και του ελλειμματικού μείον το αρχικό έλλειμμα ($h_a - h_{a_0}$), προς τα αντίστοιχα δυνητικά μεγέθη ($h - h_{a_0}$ και S, αντίστοιχα), είναι ίσοι.

Βάσει των παραπάνω παραδοχών, προκύπτει η ακόλουθη εμπειρική σχέση:

$$h_e = \begin{cases} 0, & h \leq h_{a_0} \\ \dfrac{(h - h_{a_0})^2}{h - h_{a_0} + S}, & h > h_{a_0} \end{cases} \tag{2.6}$$

Συνήθως για την εκτίμηση του αρχικού ελλείμματος, υιοθετείται η παραδοχή ότι $\boldsymbol{h_{a_0}}$ = 0.2 S. Στην παρούσα μελέτη υιοθετήθηκε η τιμή 0.1 S που θεωρείται πιο ρεαλιστική σύμφωνα και με τη νεότερη βιβλιογραφία (Ευστρατιάδης κ.ά., 2014; Hawkins et al., 2020). Επομένως, η μέθοδος χρησιμοποιεί τελικώς μία μόνο παράμετρο, ήτοι τη μέγιστη δυνητική κατακράτηση S. Με αυτή την επιπλέον παραδοχή, η (2.6) τελικώς γράφεται:

$$h_e = \begin{cases} 0, & h \leq 0.1S \\ \dfrac{(h-0.1S)^2}{h+0.9S}, & h > 0.1S \end{cases} \quad (2.7)$$

Η σχέση (2.7) εφαρμόζεται και για το τελικό ύψος βροχής της καταιγίδας αλλά και για ενδιάμεσες τιμές του, και έτσι προκύπτει η χρονική εξέλιξη του φαινομένου.

Η παράμετρος *S* (σε mm) συνδέεται με μια άλλη χαρακτηριστική παράμετρο της λεκάνης τον αριθμό καμπύλης απορροής (runoff curve number) CN, με τη σχέση:

$$S = 254\left(\frac{100}{\mathrm{CN}} - 1\right) \quad (2.8)$$

Η παράμετρος CN επηρεάζεται από τις χρήσεις γης, την υδατοπερατότητα και την αποστραγγιστική ικανότητα στη λεκάνη απορροής.

Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες από τις σημαντικές παραμέτρους και ορολογίες που σχετίζονται με το HEC RAS 2D:

Δισδιάστατες Περιοχές Ροής (2D Flow Area)
Είναι περιοχές ενός μοντέλου στις οποίες η ροή υπολογίζεται με τους αλγόριθμους δισδιάστατης ροής του HEC – RAS. Οι 2D Flow Areas ορίζονται με τη δημιουργία ενός πολύγωνου που αντιπροσωπεύει το εξωτερικό όριο της περιοχής ροής. Στη συνέχεια, ο χρήστης πρέπει να καθορίσει το υπολογιστικό πλέγμα. Οι 2D Flow Areas μπορούν να τοποθετηθούν στην αρχή μιας κοίτης (ως ανάντη όριο μιας κοίτης), στο τέλος μιας κοίτης (ως κατάντη όριο μιας κοίτης) ή μπορούν να τοποθετηθούν πλευρικά σε σχέση με την κοίτη. Οι 2D Flow Areas μπορούν να συνδεθούν με μια κοίτη ποταμού μέσω πλευρικής δομής σύνδεσης. Επίσης, οι 2D Flow Areas μπορούν να συνδεθούν με μια άλλη 2D Flow Area.

Η δυνατότητα δισδιάστατης μοντελοποίησης του HEC – RAS χρησιμοποιεί ένα σχήμα λύσης με Πεπερασμένους Όγκους (Finite – Volume). Αυτός ο αλγόριθμος επιτρέπει τη χρήση δομημένου ή μη δομημένου υπολογιστικού πλέγματος. Έτσι, το υπολογιστικό πλέγμα μπορεί να αποτελείται από κελιά 3, 4, 5 ή περισσότερων πλευρών (μέχρι οκτώ πλευρές). Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε ενιαία ανάλυση πλέγματος (20 x 20 και 10 x 10), και τα αυτόματα εργαλεία εντός του HEC – RAS κατασκεύασαν το υπολογιστικό πλέγμα.

Πλέγμα (Mesh)
Το πλέγμα είναι ο βασικός τρόπος με τον οποίο η δισδιάστατη ροή χωρίζεται σε μικρότερα τμήματα για να πραγματοποιηθεί η αριθμητική προσομοίωση. Στο HEC - RAS, το πλέγμα αποτελείται από τρίγωνα ή τετράγωνα στοιχεία, και κάθε στοιχείο περιέχει κόμβους (nodes), όπου υπολογίζονται οι τιμές της ροής και άλλως παραμέτρων.

Η πυκνότητα και το μέγεθος των στοιχείων του πλέγματος επηρεάζουν την ακρίβεια και την απόδοση της προσομοίωσης. Μικρότερα στοιχεία οδηγούν σε πιο ακριβή αποτελέσματα, αλλά απαιτούν περισσότερο χρόνο υπολογισμού. (Hec – Ras manual)

Διασυνοριακές Συνθήκες (Boundary Conditions)
Οι συνθήκες οριακών τιμών είναι κρίσιμες για την προσομοίωση της ροής, καθώς καθορίζουν τον τρόπο με τον οποίο η ροή εισέρχεται και εξέρχεται από την περιοχή του μοντέλου. Στο 2D HEC – RAS, υπάρχουν διάφορες συνθήκες διασυνοριακών τιμών που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε, όπως :

- **Stage Hydrograph:** Καθορίζει τη στάθμη του νερού στο όριο, ανάλογα με τον χρόνο
- **Flow Hydrograph:** Καθορίζει την παροχή νερού σε σχέση με τον χρόνο.
- **Normal Depth:** Χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η φυσική κλίση της κοίτης ενός ποταμιού ή καναλιού.
- **Rating Curve:** Χρησιμοποιείται σε σημεία εκβολών ή αποστραγγισικών συστημάτων, όπου η στάθμη του νερού είναι συνάρτηση της παροχής.

Χρονικό Βήμα (Timestep)
Το χρονικό βήμα αναφέρεται στο διάστημα του χρόνου που χρησιμοποιείται για την επίλυση των εξισώσεων ροής. Η επιλογή του χρονικού βήματος επηρεάζει την ακρίβεια και τη σταθερότητα του μοντέλου. Ένα πολύ μεγάλο χρονικό βήμα μπορεί να προκαλέσει αριθμητική αστάθεια και λάθη στην προσομοίωση, ενώ ένα πολύ μικρό χρονικό βήμα αυξάνει τον χρόνο υπολογισμού. Στην 2D προσομοίωση, το χρονικό βήμα σχετίζεται άμεσα με τον αριθμό Courant.

Υδραυλικές Κατασκευές (Hydraulic Structures)
Οι υδραυλικές κατασκευές, όπως τα φράγματα, αντλιοστάσια, και γέφυρες, είναι σημαντικές για την επίδραση που έχουν στην ροή του νερού σε μια περιοχή. Στο HEC RAS, αυτές οι κατασκευές προσομοιώνονται με βάση τις διαστάσεις τους και τον τρόπο με τον οποίο παρεμβαίνουν στην ροή.

Αποτελέσματα Προσομοίωσης (Results)
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο HEC RAS 2D περιλαμβάνουν πληροφορίες όπως η ταχύτητα ροής, το ύψος του νερού, οι παροχές, και η κατανομή των πλημμυρών σε ολόκληρη την περιοχή προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα μπορούν να απεικονιστούν σε χάρτες πλημμυρών, διαγράμματα και γραφικές παραστάσεις, δίνοντας μια σαφή εικόνα της κατάστασης της ροής και των επιπτώσεων της πλημμύρας σε διάφορα σενάρια.

Βαθμονόμηση και Επαλήθευση (Calibration and Validation)
Η βαθμονόμηση και επαλήθευση του μοντέλου είναι σημαντικά βήματα για να διασφαλιστεί ότι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι αξιόπιστα και ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα. Η βαθμονόμηση περιλαμβάνει τη ρύθμιση των παραμέτρων του μοντέλου, όπως το Manning’s n και το χρονικό βήμα, ώστε τα αποτελέσματα να ταιριάζουν με τα πραγματικά δεδομένα που συλλέγονται από

μετρήσεις πεδίου. Η επαλήθευση είναι η διαδικασία ελέγχου του μοντέλου σε νέα δεδομένα που δεν χρησιμοποιήθηκαν στη βαθμονόμηση, για να διασφαλιστεί ότι το μοντέλο μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια καταστάσεις. Στην μελέτη χρησιμοποιούμε υετούς από όμβριες καμπύλες, επομένως το μοντέλο δεν βαθμονομείται με μετρήσεις.

Εκτός από την επιλογή του υδροδυναμικού μοντέλου, για τη μοντελοποίηση αστικών πλημμυρών σημαντική είναι και η κατάλληλη τεχνική αναπαράστασης κτιρίων.

Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκε αρχικά η μέθοδος αναπαράστασης κτιρίων Building Hole, όπου αναπαριστά τα κτίρια ως κενό χώρο όπου τα κελιά εντός του κτιρίου αφαιρούνται από το υπολογιστικό πλέγμα. Το επιφανειακό νερό δεν μπορεί να εισέλθει στα κενά του κτιρίου, οπότε το νερό ρέει γύρω από τα όρια του κτιρίου (Bertsch, 2019). Επιπλέον, η μείωση του χρόνου προσομοίωσης από μικρότερο αριθμό υπολογιστικών κελιών αποτελεί πλεονέκτημα, ιδίως για πυκνά δομημένες περιοχές. Ωστόσο στο HEC RAS 2D, δεν υπάρχει η δυνατότητα απενεργοποίησης κυψέλης και κυψελών ή συμπερίληψης οπών εντός της περιοχής ροής 2D, γι'αυτό και δεν μπορεί να εφαρμοστεί αυτή η τεχνική(Mustafa & Szydłowski, 2021). Ως εκ τούτου, επιλέχθηκε και εφαρμόστηκε η τεχνική Χαμηλό Κτιριακό Εμπόδιο (Stubby Building (SB)), όπου τα κτίρια αντιπροσωπεύονται αυξάνοντας το DEM εντός του αποτυπώματος των κτιρίων κατά (συνήθως) 30cm, αποφεύγοντας έτσι μεγάλες υψομετρικές διαφορές μεταξύ γειτονικών κυψελών.

Η δεύτερη τεχνική αναπαράστασης κτιρίων που χρησιμοποιήθηκε για την διπλωματική είναι η Αντίσταση Κτιρίων (Building – Resistance Technique (BR). Σε αυτή την μέθοδο, εισάγουμε διαφορετικές τιμές Manning στο μοντέλο. Μια υψηλή τιμή του συντελεστή Manning ορίζεται στις περιοχές προσομοιωμένων κτιρίων, για να αυξηθεί τεχνητά η αντίσταση των κτιρίων στη ροή του νερού. Έτσι το νερό ρέει αργά πάνω από τα κτίρια, και συμπεριφέρεται σαν να υπάρχει εμπόδιο, εξαιτίας του υψηλού συντελεστή Manning. Για τις υπόλοιπες προσομοιωμένες περιοχές, ορίζεται μια χαμηλή τιμή που αντιπροσωπεύει την πραγματική κάλυψη εδάφους.

Σκοπός της διπλωματικής είναι να εξετάσει αυτές τις τεχνικές Stubby Building και Building Resistance ώστε να γίνει σύγκριση αυτών βάσει των αποτελεσμάτων που θα μας δώσει το Hec – Ras.

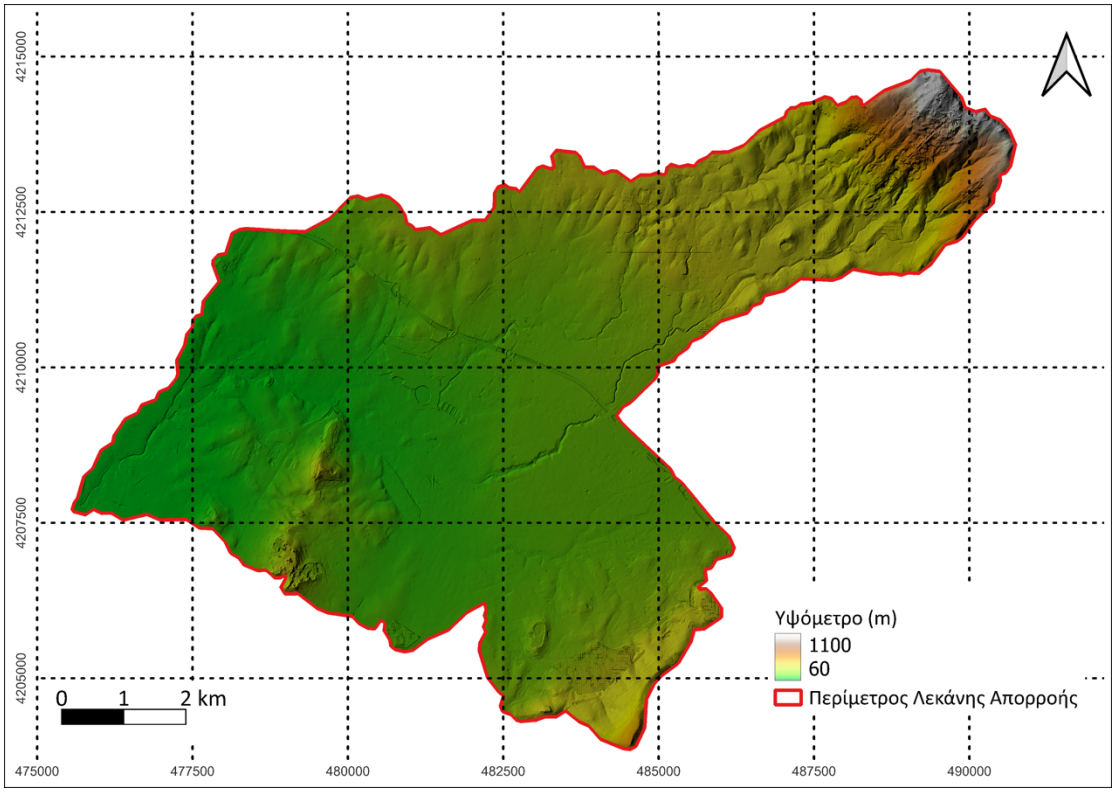
3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Ο Ποδονίφτης είναι ένας παραπόταμος του Κηφισού Ποταμού, με μήκος περίπου 15 km, και διασχίζει το Χαλάνδρι, την Φιλοθέη, την Νέα Ιωνία, την Νέα Φιλαδέλφεια – Νέα Χαλκηδόνα, τα Πατήσια και τους Άγιους Ανάργυρους. Το ρέμα πηγάζει από τις νοτιοδυτικές πλαγιές του Πεντελικού Όρους και εκβάλλει στον Κηφισό στην περιοχή των Πατησίων. Αρχικά ο Ποδονίφτης είχε ελεύθερη ροή, ωστόσο, με την αστική ανάπτυξη και τις πλημμυρικές απειλές, τμήματά του έχουν εγκιβωτιστεί για λόγους αντιπλημμυρικής προστασίας. Έργα διευθέτησης έχουν πραγματοποιηθεί κατά μήκος της κοίτης του, με σκοπό τη διασύνδεση των υπαρχόντων έργων και την αύξηση της παροχετευτικότητας του ποταμού.

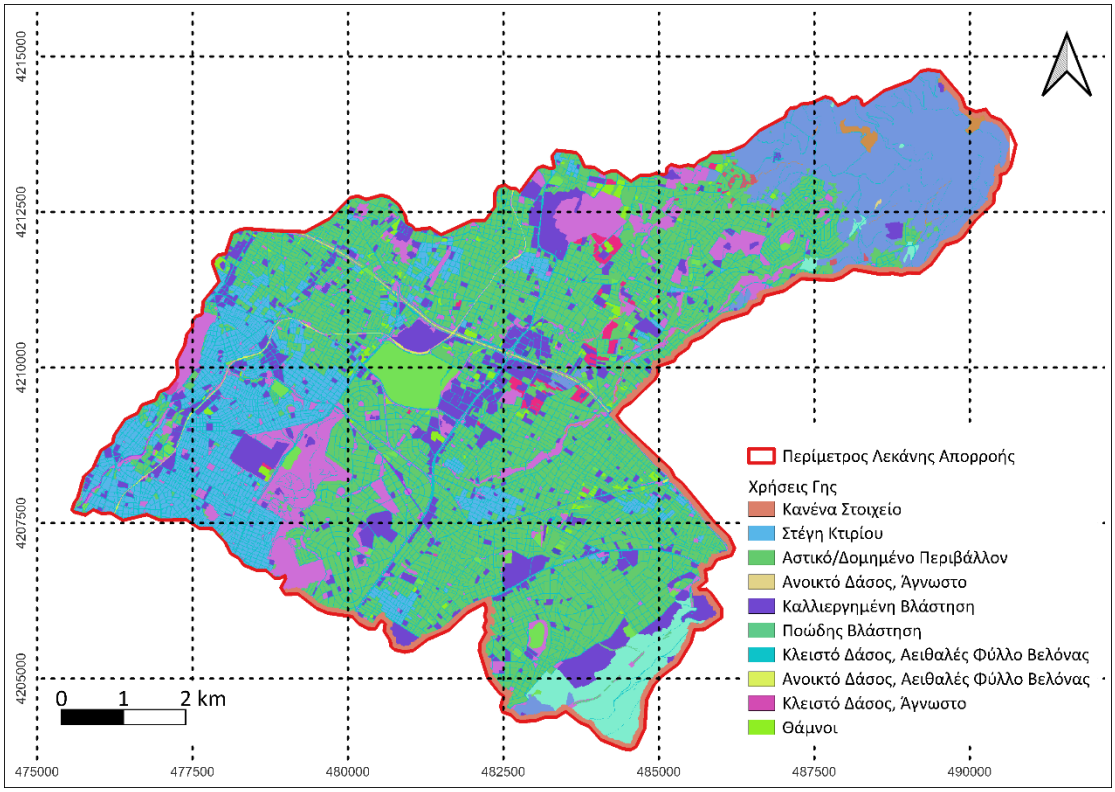
Η λεκάνη απορροής του ρέματος Ποδονίφτη καλύπτει ένα εκτεταμένο και έντονα αστικοποιημένο τμήμα της Αττικής και έχει συνολική έκταση 79.7 km². Περιλαμβάνει τα επιμέρους ρέματα και τις περιοχές απορροής, και επηρεάζεται σημαντικά από την αστική ανάπτυξη και τις μεταβολές στις χρήσεις γης.

Ο χάρτης της Εικόνα 1 παρουσιάζει το τοπογραφικό ανάγλυφο της λεκάνης απορροής του Ποδονίφτη, δείχνοντας τις περιοχές μεγάλου και χαμηλού υψομέτρου. Τα υψηλότερα υψόμετρα παρατηρούνται στις νοτιοδυτικές πλαγιές του Πεντελικού Όρους, από όπου πηγάζει το ρέμα.

Ενώ ο χάρτης της Εικόνα 2 απεικονίζει τις χρήσεις γης της λεκάνης απορροής του Ποδονίφτη, συμπεριλαμβανομένων των αστικών περιοχών, των ζώνων πρασίνου και των εμπορικών και βιομηχανικών ζωνών.



Εικόνα 1: Χάρτης Μεγίστου - Ελαχίστου Υψομέτρου Ποδονίφτη



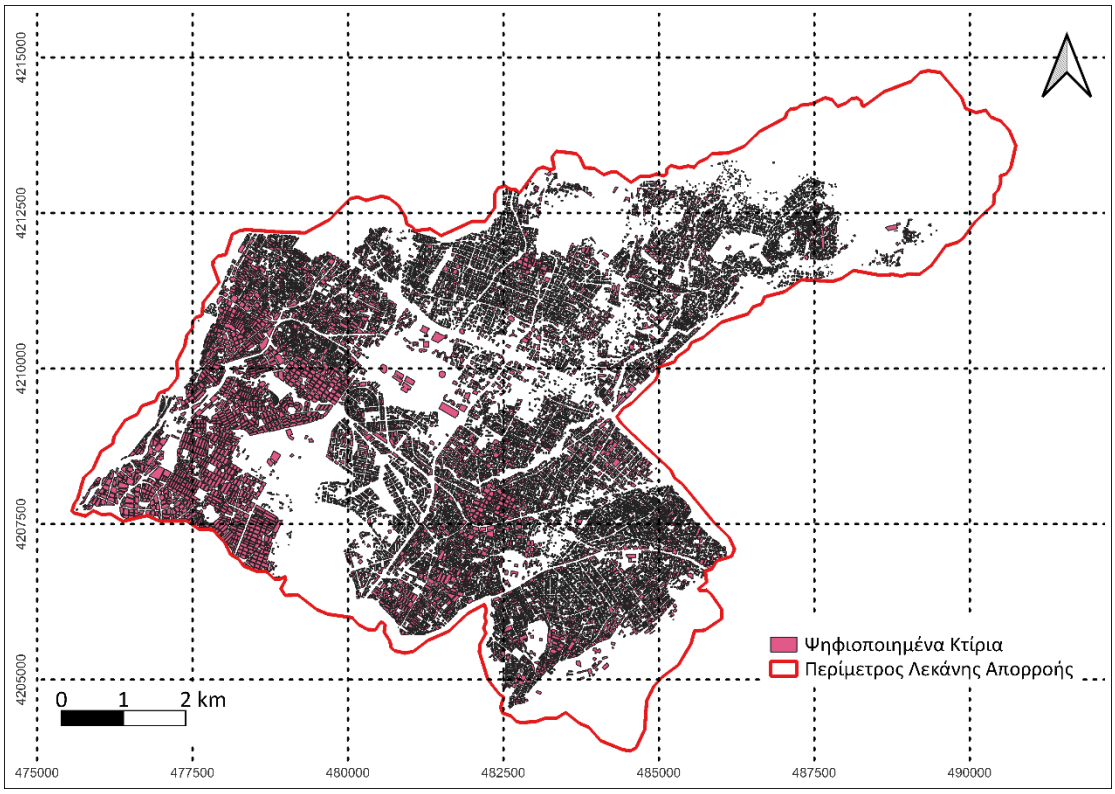
Εικόνα 2: Χάρτης Χρήσεις Γης Ποδονίφτη

Ο Ποδονίφτης φιλοξενεί βιοποικιλότητα, με παράκτιους υγροτόπους και χλωρίδα και πανίδα, παρά το γεγονός ότι μεγάλα τμήματα του έχουν υποβαθμιστεί λόγω της αστικής ανάπτυξης και ρύπανσης. Ορισμένες περιοχές κοντά στην κοίτη έχουν υποστεί σοβαρή παραμέληση, με αυθαίρετες κατασκευές. Επιστημονικές προτάσεις έχουν διατυπωθεί για την αποκατάσταση των φυσικών τμημάτων του ρέματος, καθώς και για την ανάδειξη περιπατητικών διαδρομών και πράσινων ζωνών κατά μήκος της κοίτη. Μια σημαντική πλημμύρα του ρέματος Ποδονίφτη, σημειώθηκε τον Οκτώβριο του 1994. Αυτή η πλημμύρα προκάλεσε μεγάλες ζημιές σε κτίρια και υποδομές στην περιοχή, με αποτέλεσμα την αναγκαιότητα έργων διευθέτησης για την αποτροπή μελλοντικών πλημμυρικών φαινομένων. Ένα από τα βασικά προβλήματα του Ποδονίφτη είναι η έντονη αστικοποίηση των περιοχών από τις οποίες διέρχεται. Αυτό έχει αυξήσει της απορροή όμβριων υδάτων και έχει μειώσει την ικανότητα του ρέματος να αποστραγγίζει την περιοχή, με αποτέλεσμα συχνά πλημμυρικά επεισόδια.

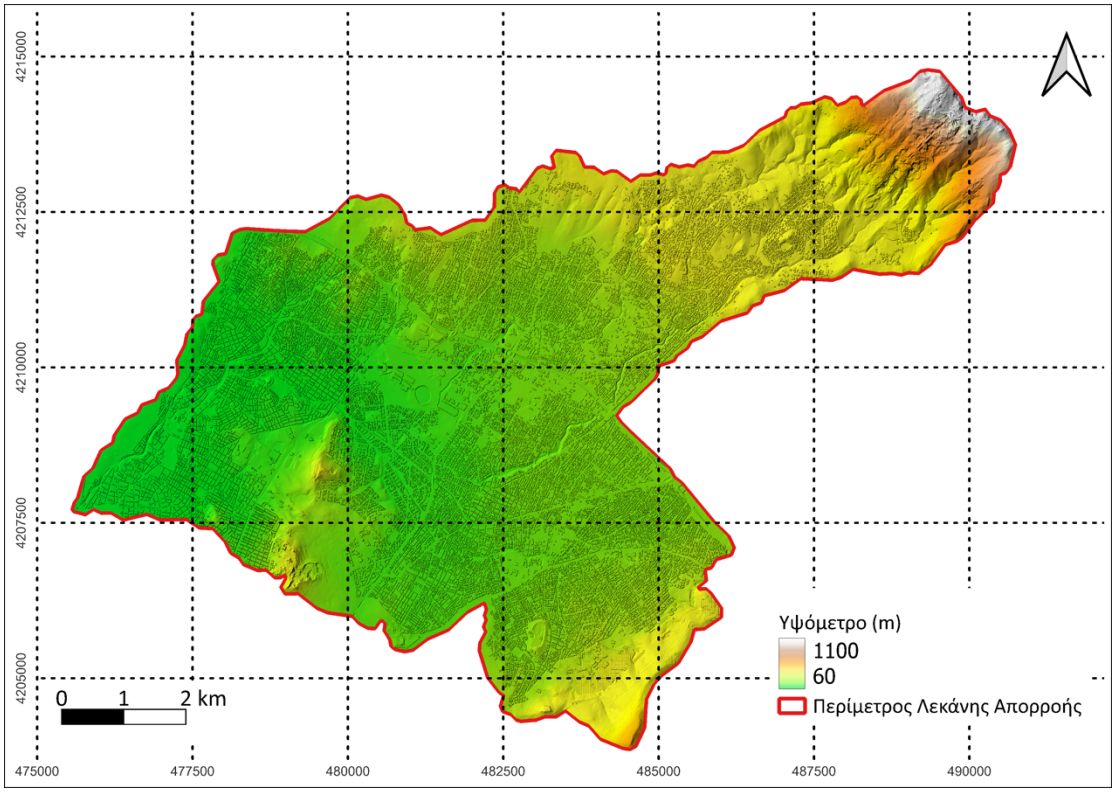
4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Αρχικά, το DEM εισήχθη στο λογισμικό QGIS, όπου αναγνωρίστηκαν οι περιοχές στις οποίες βρίσκονται τα κτίρια. Για την αποτύπωση αυτών των περιοχών, δημιουργήθηκαν συνολικά 19800 πολύγωνα, τα οποία αντιστοιχούν σε μεμονωμένα ή ομάδες κτιρίων που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης .

Στην Εικόνα 3 απεικονίζεται ο χάρτης του νέο DEM με τα ψηφιοποιημένα κτίρια των 12m τα οποία δημιουργήθηκαν στο GIS, ενώ στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται ο χάρτης με το μέγιστο και ελάχιστο υψόμετρου του νέου DEM με τα κτίρια των 12m.



Εικόνα 3: Χάρτης Ψηφιοποιημένων Κτιρίων Ποδονίφτη



Εικόνα 4: Υψόμετρο με τα ψηφιοποιημένα κτίρια του Ποδονίφτη

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν νέα DEM με ύψη κτιρίων 5 m, και 12 m, τα οποία εισήχθησαν στο Hec – Ras και εξετάστηκε η ροή των υδάτων υπό συγκεκριμένες συνθήκες βροχοπτώσεων. Οι προσομοιώσεις αυτές έχουν ως στόχο την ανάλυση της συμπεριφοράς της ροής, σε σχέση με τις μορφολογικές αλλαγές που προκλήθηκαν από την ανύψωση του DEM και την επίδραση των κτιριακών πολυγώνων.

Μέσω αυτής της μεθοδολογίας παρήχθησαν αποτελέσματα, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη σύγκριση της επίδρασης της παρουσίας κτιρίων, μέθοδος Stubby Building, σε περίπτωση επερχόμενης πλημμύρας, σε σχέση με την απουσία τους αλλά και οι διαφορές τους με την μέθοδο Building Resistance. Θα ληφθεί υπόψη η διεισδυτικότητα του εδάφους και, συγκεκριμένα, η τροποποίηση της τιμής του συντελεστή τραχύτητας Manning και του Curve Number (CN).

Συντελεστής τραχύτητας Manning (n): Ο συντελεστής τραχύτητας Manning αντιπροσωπεύει την αντίσταση στη ροή του νερού λόγω της τραχύτητας της επιφάνειας, που εξαρτάται από τη χρήση γης, την βλάστηση και το βάθος του νερού. Σε συνθήκες πλημμύρας, ένας υψηλός συντελεστής Manning (π.χ., σε δασικές περιοχές ή περιοχές με πυκνή βλάστηση) επιβραδύνει τη ροή, αυξάνοντας το βάθος του νερού και μειώνοντας την ταχύτητα του πλημμυρικού κύματος. Αντίθετα, χαμηλότερες τιμές (π.χ., σε αστικές περιοχές) επιτρέπουν στο νερό να κινείται ταχύτερα, οδηγώντας σε πιο αιχμηρά πλημμυρικά κύματα και ταχύτερη διάδοση των πλημμυρικών υδάτων.

Curve Number (CN): Ο CN είναι παράμετρος που χρησιμοποιείται ευρέως για την εκτίμηση του δυναμικού απορροής, βάσει της χρήσης γης, του τύπου εδάφους και των υφιστάμενων συνθηκών υγρασίας (SCS Curve Number Loss Model Basic Concepts and Equations, n.d.). Ένας υψηλός αριθμός CN υποδηλώνει μεγαλύτερο δυναμικό απορροής (π.χ., σε αδιαπέρατες επιφάνειες όπως αστικές περιοχές), ενώ ένας χαμηλότερος αριθμός CN υποδηλώνει μεγαλύτερη διείσδυση του νερού (π.χ., σε δασικές περιοχές ή εδάφη με υψηλή απορροφητικότητα). Στη διόδευση πλημμυρών, υψηλότεροι αριθμοί CN συνήθως οδηγούν σε ταχύτερες και μεγαλύτερες πλημμυρικές κορυφές, καθώς μειώνεται η διήθηση και το νερό κινείται πιο γρήγορα.

Οι συντελεστές τροποποιούνται μέσω του χάρτη χρήσεις γης (Landcover) και της διήθησης (infiltration) στο HEC RAS. Συγκεκριμένα, ο χάρτης χρήσεων γης αναφέρεται στη χρήση γης και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας μιας περιοχής, όπως αν αυτή καλύπτεται από φυτική βλάστηση, δομημένες αστικές περιοχές, δρόμους ή κτίρια. Περιοχές με βλάστηση έχουν υψηλότερη τραχύτητα και αντιστέκονται περισσότερο στη ροή από ό,τι οι περιοχές με δομημένες επιφάνειες ή δρόμους.

Η Διήθηση είναι η διαδικασία κατά την οποία το νερό από την επιφάνεια του εδάφους εισέρχεται στο υπέδαφος. Στο HEC – RAS, η διήθηση μοντελοποιείται μέσω παραμέτρων όπως το CN, που υπολογίζει πόσο εύκολα διεισδύει το νερό στο έδαφος ή, αντίθετα πόσο είναι η επιφανειακή απορροή. Ένας χαμηλός CN υποδηλώνει ότι το έδαφος απορροφά μεγάλο ποσοστό του νερού, ενώ ένας υψηλός αριθμός αριθμός CN (όπως 100) σημαίνει ότι σχεδόν όλο το νερό απορρέει επιφανειακά, όπως συμβαίνει σε αστικοποιημένες περιοχές ή περιοχές με αδιαπέρατο έδαφος (π.χ. κτίρια, δρόμους)

Για να απαντηθούν τα ζητήματα που εξετάζει η διπλωματική, πραγματοποιήθηκαν έντεκα διαφορετικά Προσομοιώσεις προσομοίωσης πλημμύρας, με σκοπό να εξετάσουμε την επίδραση του πλέγματος, την ύπαρξη κτιρίων με διαφορετικά ύψη και την μη ύπαρξη αυτών, στην συμπεριφορά του νερού σε συνθήκες πλημμύρες. Ο μέσος υπολογιστικός χρόνος των πειραμάτων ήταν 16 ώρες για το κάθε πείραμα, με εξαίρεση το πρώτο Προσομοίωση που αφορούσε το πλέγμα 20 m και διήρκησε 8 ώρες.

Γεωμετρία και Διάσταση Πλέγματος (20 m πλέγμα χωρίς κτίρια – 10 m πλέγμα χωρίς κτίρια)

Στην πρώτη προσομοίωση, χρησιμοποιήθηκε γεωμετρία με πλέγμα 20 μέτρων για την περιοχή μελέτης. Σε αυτή την περίπτωση, τα κτίρια δεν συμπεριλήφθηκαν στο DEM. Η τραχύτητα της επιφάνειας μοντελοποιήθηκε με τιμή Manning ίση με 0.02 (Πίνακας 2) και τιμή CN ίση με 80 (Πίνακας 1), δηλαδή το νερό απορρέει κατά 80% στις περιοχές όπου κανονικά υπάρχουν τα κτίρια, επιτρέποντας κάποια απορρόφηση του νερού. Στο δεύτερο πείραμα, οι διαστάσεις του πλέγματος μειώθηκαν στα 10 μέτρα, με τις υπόλοιπες παραμέτρους να παραμένουν ίδιες. Η αλλαγή αυτή έγινε για να εξεταστεί η επίδραση του μεγέθους του πλέγματος στα αποτελέσματα.

Διείσδυση Νερού και παροχή (CN 100)
Στην τρίτη προσομοίωση, διατηρήθηκε το πλέγμα των 10 μέτρων, και οι κτιριακές δομές δεν συμπεριλήφθηκαν στο μοντέλο εδάφους. Η τιμή του Manning παρέμεινε ίση με 0.02 (Πίνακας 2), αλλά η τιμή CN αυξήθηκε στο 100 (Πίνακας 3) , όπου είναι η μέγιστη δυνατή απορροή, στις περιοχές όπου υπάρχουν κτίρια. Αυτή η τροποποίηση έγινε γιατί θεωρείται ότι με CN100 το 100% του νερού απορρέει επιφανειακά.

Επίδραση των Κτιρίων ως Εμπόδια στη Ροή (5 m ύψος κτιρίων – 12 m ύψος κτιρίων)
Στην τέταρτη προσομοίωση, διατηρήθηκε το πλέγμα των 10 μέτρων και οι τιμές του Manning και του CN παρέμειναν ίδιες (Manning 0.02, CN 100). Εδώ ξεκινάει και η μέθοδος μοντελοποίησης κτιρίων SB όπου αρχικά χρησιμοποιήθηκε το DEM με ύψος 5 μέτρων κτιρίων, προκειμένου να μελετηθεί η επίδρασή τους ως φυσικό εμπόδιο στη ροή του νερού, ενώ έγινε η παραδοχή για το ύψος πολυκατοικίας τεσσάρων ορόφων. Στην πέμπτη προσομοίωση, ακολουθήθηκε η ίδια λογική, αλλά τα κτίρια υψώθηκαν στα 12 μέτρα. Αυτή η αλλαγή στο ύψος έγινε για να διερευνηθεί η επίδραση που έχει η διαφοροποίηση του ύψους των εμποδίων στη ροή και στις πλημμυρικές ζώνες.

Ακραία Τραχύτητα και Αστικές Δομές (Manning 10)
Τέλος, στην έκτη προσομοίωση, χρησιμοποιήθηκε πάλι πλέγμα 10 μέτρων με σκοπό την μελέτη της μεθόδου μοντελοποίησης κτιρίων BR. Στο χάρτη χρήσεις γης εφαρμόστηκε τιμή Manning ίση με 10 (Πίνακας 4) στα σημεία όπου βρίσκονται τα κτίρια, προσομοιώνοντας μια ακραία τραχύτητα, ενώ η τιμή του CN διατηρήθηκε στο 100 (Πίνακας 3).

Επίδραση Υψηλότερης Περιόδου Επαναφοράς Υψηλό CN (T1000, CN 100)
Στην έβδομη προσομοίωση, χρησιμοποιήθηκε περίοδος επαναφοράς T=1000, με το υπόλοιπο μοντέλο να παραμένει ίδιο με την τρίτη προσομοίωση. Συγκεκριμένα, το πλέγμα διατηρήθηκε στα 10 μέτρα, οι κτιριακές δομές δεν συμπεριλήφθηκαν στο DEM, η τιμή Manning ίση με 0.02, ενώ το CN αυξήθηκε στο 100 στις περιοχές όπου υπάρχουν κτίρια. Στόχος είναι να μελετηθεί η απορροή σε περίπτωση ακραίου πλημμυρικού φαινομένου με μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς, όπου η διείσδυση του νερού από τις στέγες θεωρείται μηδενική.

Επίδραση Υψηλότερης Περιόδου Επαναφοράς Ύψος 5m (T1000, 5 m ύψος κτιρίων)
Στην όγδοη προσομοίωση, διατηρήθηκαν οι ίδιες τιμές και το ίδιο πλέγμα των 10 μέτρων με την τέταρτη προσομοίωση, αλλά η περίοδος επαναφοράς αυξήθηκε στα T=1000. Τα κτίρια συμπεριλήφθηκαν στο DEM με ύψος 5 μέτρων, ενώ οι τιμές του Manning και CN παρέμειναν σταθερές (Manning 0.02, CN 100). Αυτή η προσομοίωση έγινε για να μελετηθεί η επίδραση των κτιρίων ως φυσικών εμποδίων στη ροή του νερού κατά την ακραία πλημμύρα με μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς.

Επίδραση Υψηλότερης Περιόδου Επαναφοράς Ύψος 12m (T1000, 12 m ύψος κτιρίων)
Στην ένατη προσομοίωση, ακολουθήθηκε η ίδια προσέγγιση με την πέμπτη προσομοίωση, αλλά με περίοδο επαναφοράς T=1000. Το πλέγμα παρέμεινε στα 10 μέτρα, η τιμή του Manning ίση με 0.02 και το CN 100, ενώ τα κτίρια συμπεριλήφθηκαν

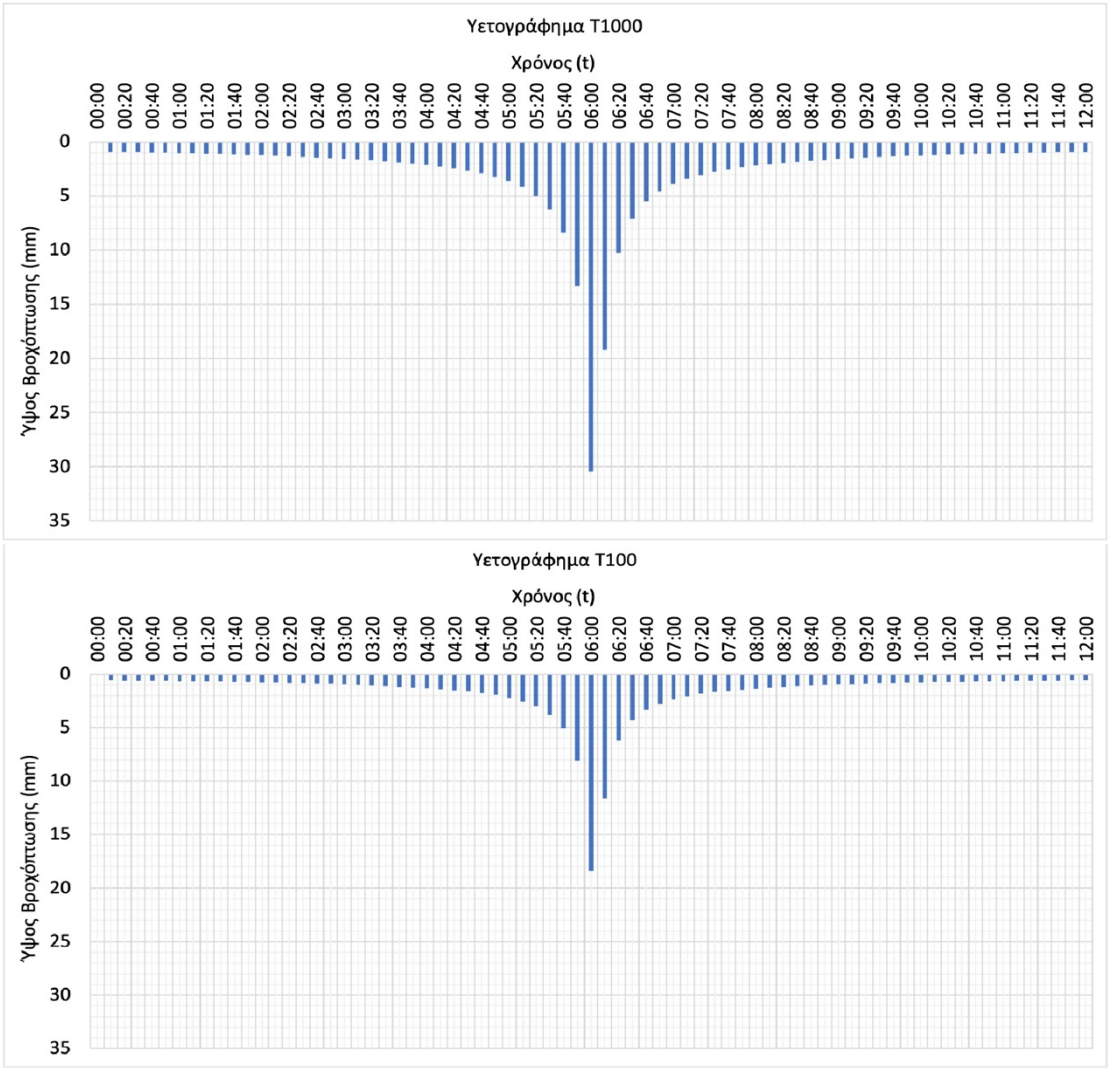
στο μοντέλο με ύψος 12 μέτρων. Αυτή η διαφοροποίηση στο ύψος των κτιρίων, έγινε για να μελετηθεί η επίδραση των διαφορετικών υψών εμποδίων στη ροή κατά τη διάρκεια ακραίων πλημμυρικών γεγονότων.

Υψηλή Τραχύτητα και Περίοδος Επαναφοράς (T=1000, Manning 1)

Στην δέκατη προσομοίωση, χρησιμοποιήθηκε πλέγμα 10 μέτρων χωρίς κτίρια στο DEM, όπως στην έκτη προσομοίωση. Ωστόσο η τιμή του Manning αυξήθηκε στο 1 (Πίνακας 5) για τις περιοχές με κτίρια, ενώ η τιμή CN διατηρήθηκε στο 100, και η περίοδος επαναφοράς T=1000. Σκοπός του πειράματος είναι η ανάλυση της μεθόδου Manning σε μια περίοδο επαναφοράς T=1000.

Υψηλή Τραχύτητα και Περίοδος Επαναφοράς (Manning 1, T1000)

Στην ενδέκατη προσομοίωση, διατηρήθηκαν οι ίδιες παράμετροι όπως στην δέκατη προσομοίωση, με την τιμή του Manning να είναι 1 (Πίνακας 5) και την περίοδο επαναφοράς να διαφοροποιείται στα T=100. Όπως και στην έκτη, τα κτίρια δεν συμπεριλήφθηκαν στο DEM, ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι παραμένουν ίδιες.

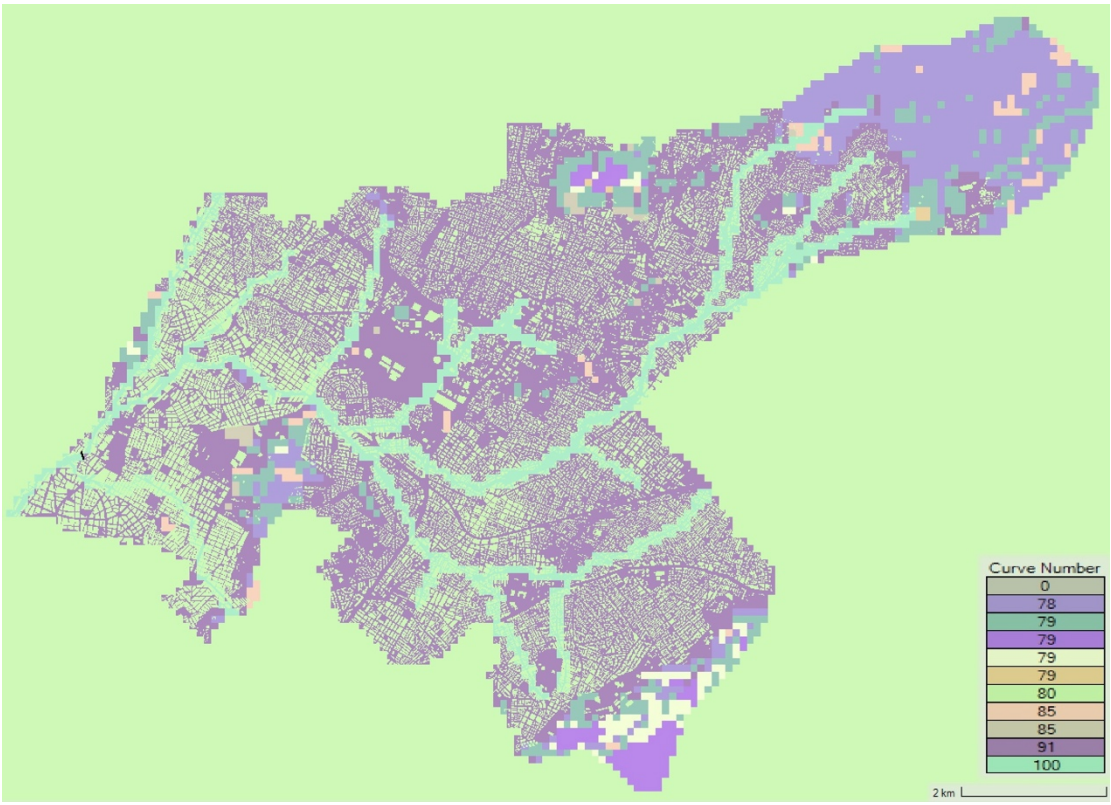


Εικόνα 5: Υετογραφήματα για T100- T1000

Σκοπός αυτών των προσομοιώσεων είναι να εξεταστεί η συμπεριφορά συγκεκριμένων ομάδων πειραμάτων και να γίνει σύγκριση μεταξύ τους. Ειδικότερα, για την περίοδο επαναφοράς Τ100, αναλύονται οι προσομοιώσεις 01 και 02 (20 m πλέγμα χωρίς κτίρια – 10 m πλέγμα χωρίς κτίρια), προκειμένου να αξιολογηθεί η επίδραση της διάστασης του πλέγματος στα αποτελέσματα. Ακολουθεί η σύγκριση των προσομοιώσεων 02 και 03 (10 m πλέγμα χωρίς κτίρια – CN 100 χωρίς κτίρια), με στόχο την εκτίμηση του τρόπου με τον οποίο διαφοροποιείται η απορροή του νερού σε ταράτσες και οροφές, μεταβάλλοντας τον αριθμό CN. Επιπλέον, οι προσομοιώσεις 04 και 05 (5 m ύψος κτιρίων – 12 m ύψος κτιρίων) συγκρίνονται για να διερευνηθεί η επίδραση του διαφορετικού ύψους των κτιρίων στην προσομοίωση, καθώς και η πιθανότητα εμφάνισης αριθμητικής αστάθειας, μέσω της μεθόδου Stubby Building. Η σύγκριση των πειραμάτων 06 και 10 (Manning 10 – Manning 1), επικεντρώνεται στις δυο διαφορετικές τιμές του συντελεστή τραχύτητας Manning, μέθοδος Building Reststance. Τέλος, η σύγκριση των προσομοιώσεων 03, 05 και 10 (CN 100 – 12 m κτίρια – Manning 1), εξετάζει τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων, της Building Resistance και Stubby Building για την εκτίμηση της συμπεριφοράς της ροής γύρω από τις κτιριακές δομές.

Για την περίοδο επαναφοράς Τ1000, επαναλαμβάνουμε τις προσομοιώσεις 04 – 05 όπου αλλάζει η περίοδος επαναφοράς και προκύπτουν οι νέες προσομοιώσεις 08 – 09 και 11 αντίστοιχα. Επίσης επαναλαμβάνουμε τα Προσομοιώσεις 03 – 05 – 10 αλλάζοντας την περίοδο επαναφοράς όπου προκύπτουν οι νέες προσομοιώσεις 07 – 09 – 11 ώστε να μελετήσουμε το πως συμπεριφέρονται οι τρείς μέθοδοι για μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς. Το ρέμα του Ποδονίφτη διατήρησε σταθερή την τιμή του συντελεστή Manning ίση με 0.035, γιατί έτσι επιτυγχάνεται μια πιο ρεαλιστική παροχή.

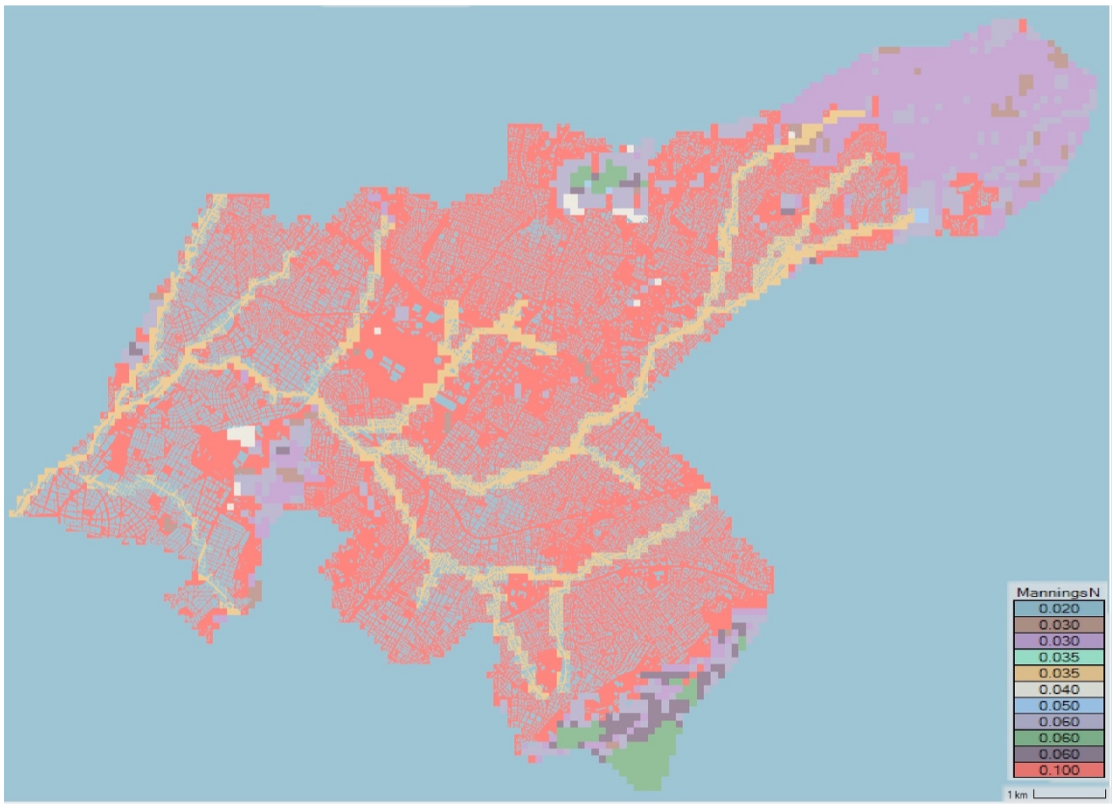
Παρακάτω παρατίθενται, οι χάρτες διήθησης με CN 80 (Εικόνα 6) και CN 100 (Εικόνα 8) στα σημεία του χάρτη όπου υπάρχουν κτίρια, με τους αντίστοιχους πίνακες (Πίνακας 1,Πίνακας 3), και οι χάρτες χρήσεις γης με τιμή Manning 0.02 (Εικόνα 7) και Manning 10 (Εικόνα 9) όπου υπάρχουν κτίρια με τους αντίστοιχους πίνακες (Πίνακας 2,Πίνακας 4).



Εικόνα 6: Χάρτης Διήθησης με CN 80 στα Κτίρια

Πίνακας 1: Curve Number

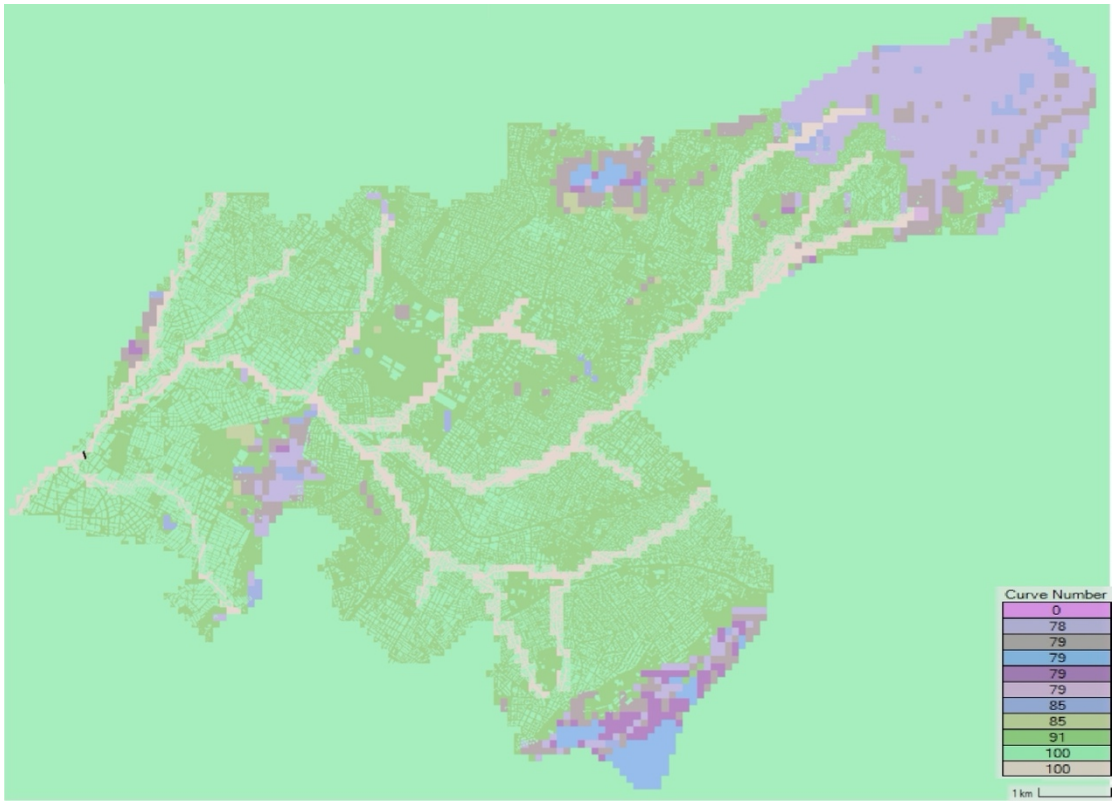
Τυπολογία	Curve Number	Ποσοστό Αρχικών Απωλειών (%)
Κανένα στοιχείο	0	0.1
Ρέμα	100	0.1
Στέγη κτιρίου	80	0.1
Αστικό/Δομημένο περιβάλλον	91	0.1
Ανοικτό δάσος, Άγνωστο	79	0.1
Καλλιεργημένη βλάστηση	85	0.1
Ποώδης βλάστηση	85	0.1
Κλειστό δάσος, αειθαλές φύλλο βελόνας	79	0.1
Ανοικτό δάσος, αειθαλές φύλλο βελόνας	79	0.1
Κλειστό δάσος, άγνωστο	79	0.1
Θάμνοι	78	0.1



Εικόνα 7: Χάρτης Χρήσεις γης με Manning 0.02 στα Κτίρια

Πίνακας 2: Αριθμός Manning

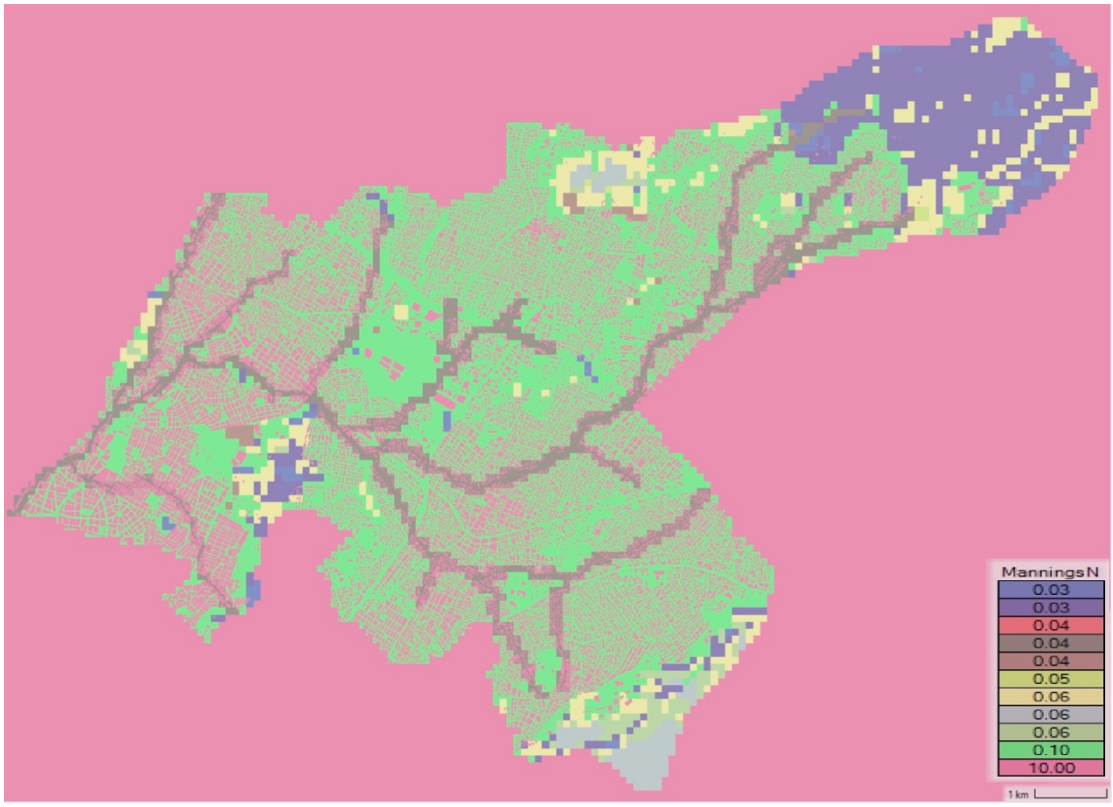
Τυπολογία	ManningsN
Κανένα στοιχείο	10
Ρέμα	0.035
Στέγη κτιρίου	0.02
Αστικό/Δομημένο περιβάλλον	0.1
Ανοικτό δάσος, Άγνωστο	0.06
Καλλιεργημένη βλάστηση	0.04
Ποώδης βλάστηση	0.03
Κλειστό δάσος, αειθαλές φύλλο βελόνας	0.06
Ανοικτό δάσος, αειθαλές φύλλο βελόνας	0.05
Κλειστό δάσος, άγνωστο	0.06
Θάμνοι	0.03



Εικόνα 8: Χάρτης Διήθησης με CN 100 στα Κτίρια

Πίνακας 3: Curve Number

Τυπολογία (%)	Curve Number	Ποσοστό Αρχικών Απωλειών
Κανένα στοιχείο	0	0.1
Ρέμα	100	0.1
Στέγη κτιρίου	100	0.1
Αστικό/Δομημένο περιβάλλον	91	0.1
Ανοικτό δάσος, Άγνωστο	79	0.1
Καλλιεργημένη βλάστηση	85	0.1
Ποώδης βλάστηση	85	0.1
Κλειστό δάσος, αειθαλές φύλλο βελόνας	79	0.1
Ανοικτό δάσος, αειθαλές φύλλο βελόνας	79	0.1
Κλειστό δάσος, άγνωστο	79	0.1
Θάμνοι	78	0.1



Εικόνα 9: Χάρτης Χρήσεις γης με Manning 10 στα Κτίρια

Πίνακας 4: Αριθμός Manning

Τυπολογία	ManningsN
Κανένα στοιχείο	10
Ρέμα	0.035
Στέγη κτιρίου	10
Αστικό/Δομημένο περιβάλλον	0.1
Ανοικτό δάσος, Άγνωστο	0.06
Καλλιεργημένη βλάστηση	0.04
Ποώδης βλάστηση	0.03
Κλειστό δάσος, αειθαλές φύλλο βελόνας	0.06
Ανοικτό δάσος, αειθαλές φύλλο βελόνας	0.05
Κλειστό δάσος, άγνωστο	0.06
Θάμνοι	0.03

Πίνακας 5: Αριθμός Manning

Τυπολογία	ManningsN
Κανένα στοιχείο	10
Ρέμα	0.035
Στέγη κτιρίου	1
Αστικό/Δομημένο περιβάλλον	0.1
Ανοικτό δάσος, Άγνωστο	0.06
Καλλιεργημένη βλάστηση	0.04
Ποώδης βλάστηση	0.03
Κλειστό δάσος, αειθαλές φύλλο βελόνας	0.06
Ανοικτό δάσος, αειθαλές φύλλο βελόνας	0.05
Κλειστό δάσος, άγνωστο	0.06
Θάμνοι	0.03

Όσον αφορά τον αριθμητικό έλεγχο σταθερότητας και ακρίβειας των υπολογισμών για τις προσομοιώσεις ροής, παρακάτω γίνεται αναφορά σε όρους που σχετίζονται με αυτόν:

Αριθμός Courant (Courant Number)

Ο αριθμός Courant (CFL) είναι μια διάσταση χωρίς μονάδες που δείχνει τη σταθερότητα και την ακρίβεια της αριθμητικής προσομοίωσης. Ορίζεται ώς:

$$\mathrm{CFL} = \frac{\mathrm{u} \cdot \Delta \mathrm{t}}{\Delta \chi}$$

Όπου:

- V είναι η ταχύτητα ροής,
- Δt είναι το χρονικό βήμα,
- Δχ είναι το μήκος του υπολογιστικού πλέγματος.

Για να διασφαλιστεί η σταθερότητα, ο αριθμός Courant πρέπει να παραμείνει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο, συνήθως μικρότερο από 1, ανάλογα με την μέθοδο υπολογισμού. Ένας αριθμός Courant μικρότερος από 1 δείχνει ότι το νερό δεν μπορεί να ταξιδέψει παραπάνω από το μήκος του πλέγματος κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος.

Μέγιστος αριθμός Courant (Maximum Courant)

Ο μέγιστος αριθμός Courant είναι το ανώτατο αποδεκτό όριο για τον αριθμό Courant που το σύστημα μπορεί να δεχτεί προτού προκληθεί αστάθεια ή υπερβολική ανακρίβεια στη λύση. Εάν ο αριθμός Courant ξεπεράσει αυτό το όριο, το λογισμικό μπορεί να μειώσει το χρονικό βήμα για να παραμείνει σταθερή η προσομοίωση.

Ελάχιστος αριθμός Courant (Minimum Courant)

Ο ελάχιστος αριθμός Courant αναφέρεται στο κατώτατο όριο για τον αριθμό Courant που απαιτείται ώστε η προσομοίωση να είναι αποδεκτή. Εάν ο αριθμός Courant πέσει κάτω από αυτό το όριο, ενδέχεται να αυξηθεί το χρονικό βήμα για να εξασφαλιστεί η επάρκεια του χρονικού βήματος.

Αριθμός βημάτων κάτω από το ελάχιστο πριν το διπλασιασμό (Number of steps below Minimum before doubling)

Αυτός ο όρος αναφέρεται στον αριθμό των συνεχόμενων υπολογιστικών βημάτων όπου ο αριθμός Courant είναι κάτω από το ελάχιστο επιτρεπτό όριο, προτού το λογισμικό αποφασίσει να διπλασιάσει το χρονικό βήμα. Ο διπλασιασμός του χρονικού βήματος γίνεται για να μειωθεί ο αριθμός των υπολογισμών όταν οι συνθήκες ροής είναι αρκετά ήπιες ώστε να μην απαιτούν λεπτομερή αριθμητική ανάλυση.

Μέγιστος αριθμός διπλασιασμού του βασικού χρονικού βήματος (Maximum number of doubling base time step)

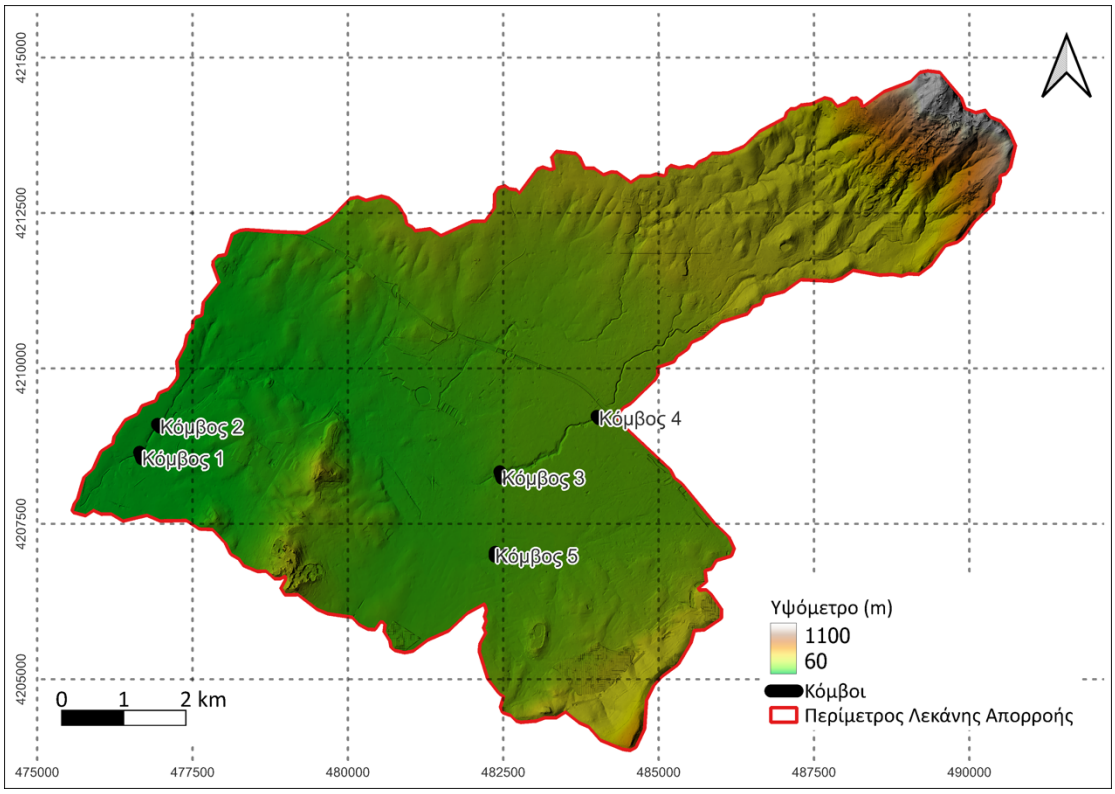
Αυτός ο παράγοντας θέτει το όριο στον αριθμό των φορών που το χρονικό βήμα μπορεί να διπλασιαστεί. Ο έλεγχος αυτός υπάρχει για να αποτραπεί το υπερβολικό μεγάλωμα του χρονικού βήματος, που θα μπορούσε να οδηγήσει σε σημαντική απώλεια της ακρίβειας προσομοίωσης.

Μέγιστος αριθμός μείωσης του βασικού χρονικού βήματος (Maximum number of having base time step)

Αυτός ο όρος ορίζει τον μέγιστο αριθμό φορών που το χρονικό βήμα μπορεί να μειωθεί στο μισό (ή περισσότερο) κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Η μείωση αυτή γίνεται για να διασφαλιστεί η σταθερότητα όταν ο αριθμός Courant υπερβαίνει το ανώτατο όριο.

5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η Εικόνα 10, παρουσιάζει τους πέντε κόμβους που εισήχθησαν στην λεκάνη του Ποδονίφτη ώστε να συγκρίνουμε τις παροχές αιχμής των προσομοιώσεων.

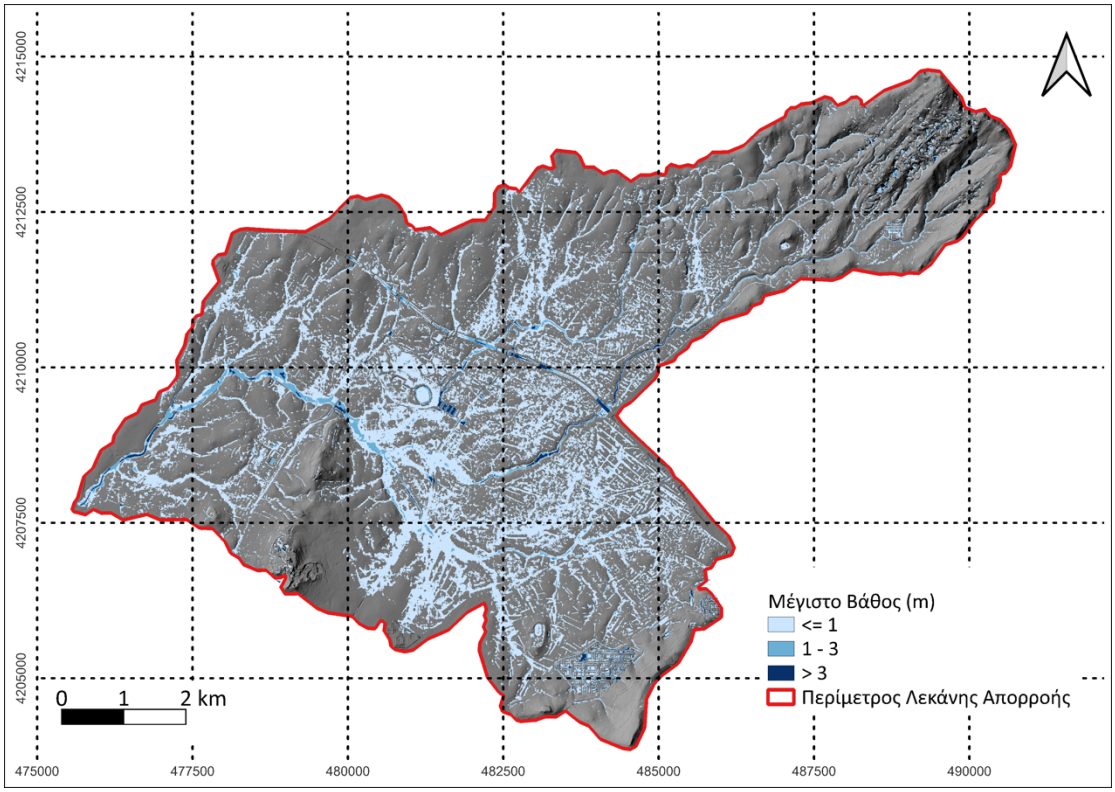


Εικόνα 10: Χάρτης Κόμβων

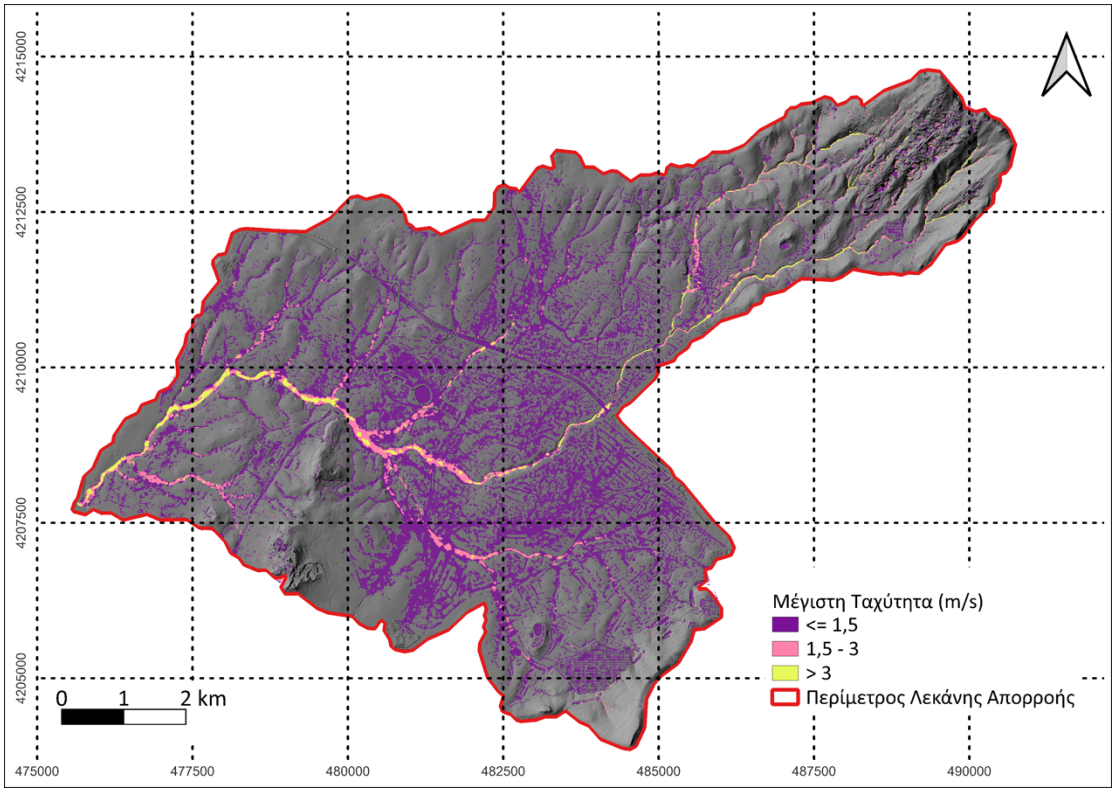
5.1 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων (T100)

5.1.1 Σύγκριση Πλέγματος (Προσομοιώσεις 20 m πλέγμα χωρίς κτίρια-10 m πλέγμα χωρίς κτίρια)

Η Εικόνα 11 απεικονίζει το μέγιστο βάθος πλημμυρών στην αστική λεκάνη του ποδονίφτη για την προσομοίωση 20 m πλέγμα χωρίς κτίρια. Οι αποχρώσεις του χρώματος δείχνουν τις διαφορετικές περιοχές βάθους, όπου οι πιο σκούρες αποχρώσεις αντιστοιχούν σε μεγαλύτερο βάθος. Στην Εικόνα 12, παρουσιάζεται η μέγιστη ταχύτητα ροής για την ίδια προσομοίωση (20 m πλέγμα χωρίς κτίρια). Εδώ, οι διαφορετικές αποχρώσεις αντιπροσωπεύουν τις μεταβολές στην ταχύτητα της ροής των όμβριων υδάτων.

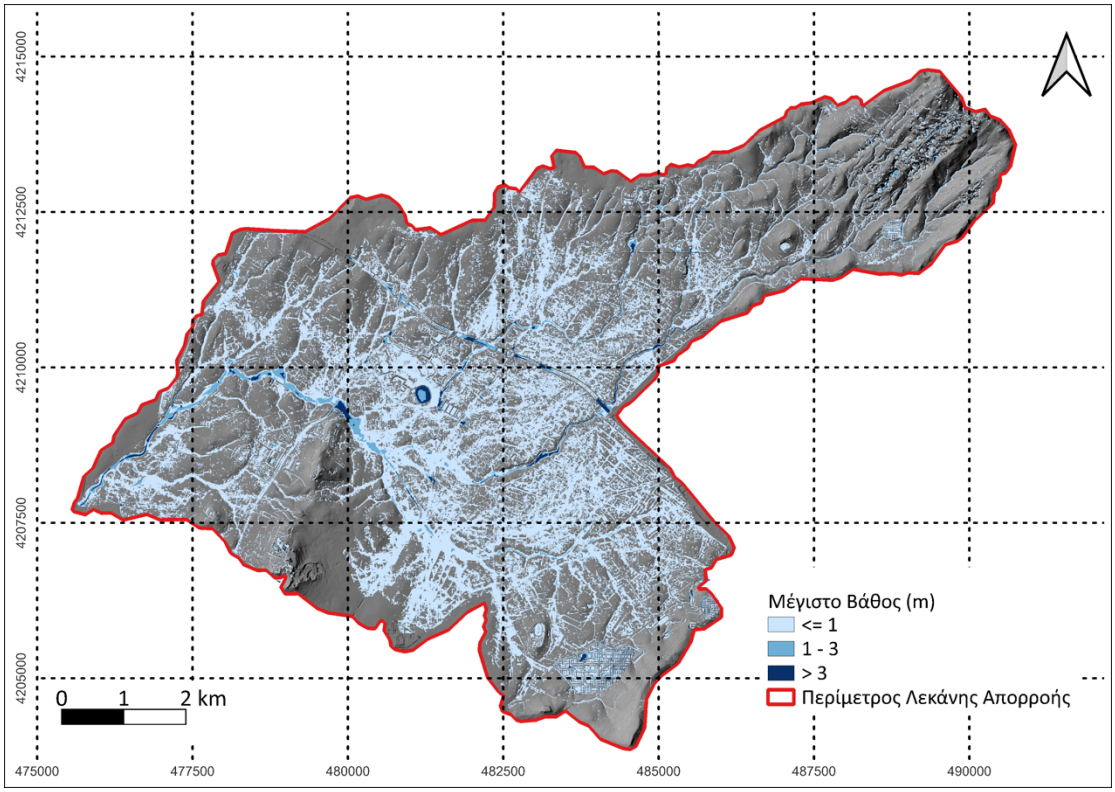


Εικόνα 11: Μέγιστο Βάθος για την προσομοίωση με πλέγμα 20 m χωρίς κτίρια

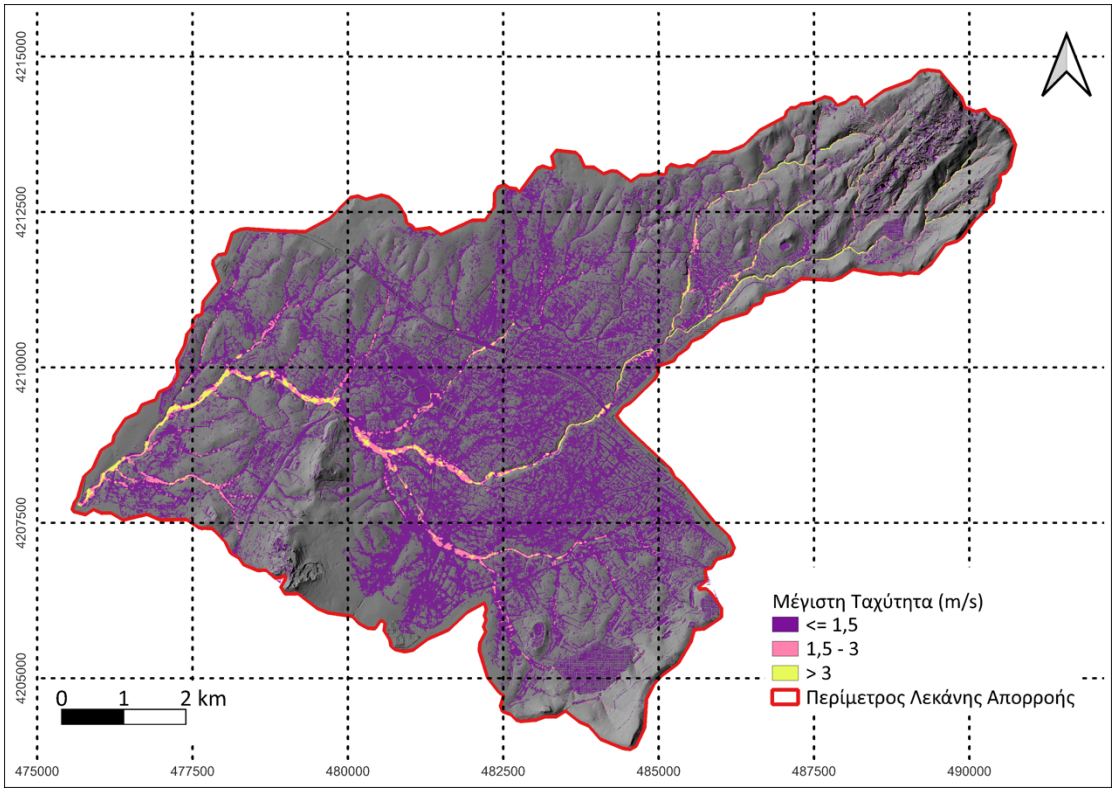


Εικόνα 12: Μέγιστη Ταχύτητα για την προσομοίωση με πλέγμα 20 m χωρίς κτίρια

Η Εικόνα 13, απεικονίζει το μέγιστο βάθος πλημμυρών στην αστική λεκάνη του ποδονίφτη για την προσομοίωση 10 m πλέγμα χωρίς κτίρια, ενώ η Εικόνα 14 δείχνει την μέγιστη ταχύτητα ροής του 10 m πλέγμα χωρίς κτίρια.

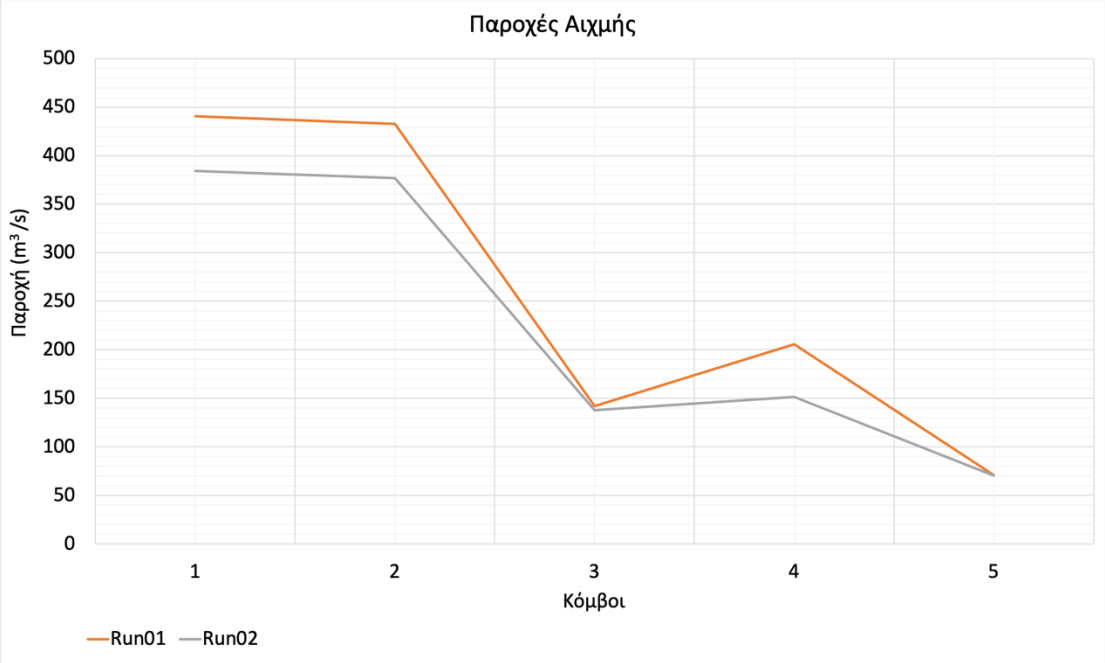


Εικόνα 13: Μέγιστο Βάθος για την προσομοίωση με πλέγμα 10 m χωρίς κτίρια

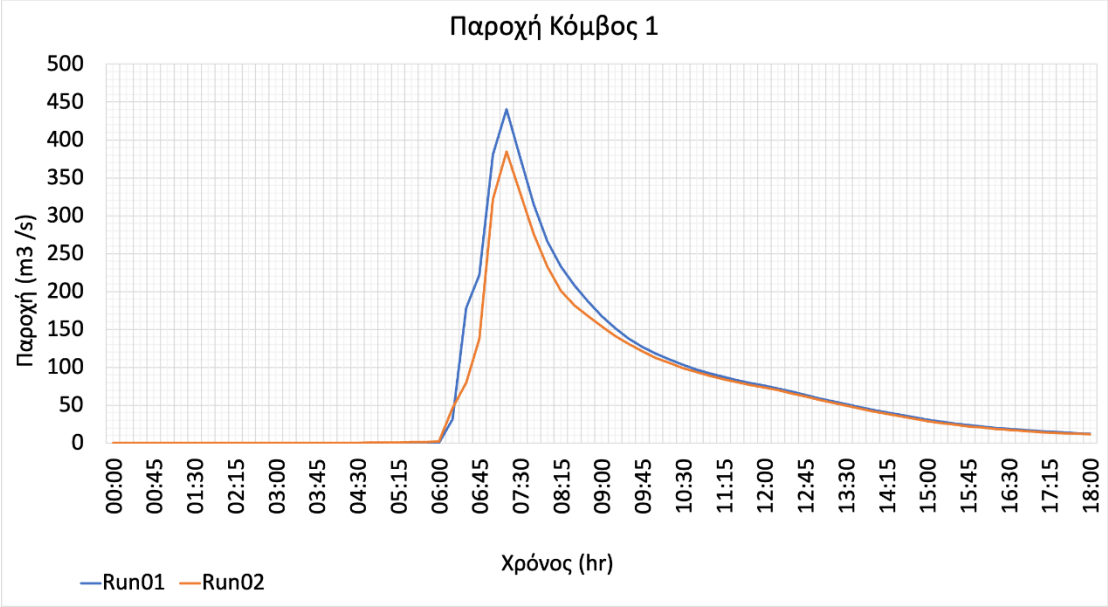


Εικόνα 14: Μέγιστη Ταχύτητα για την προσομοίωση με 10 m χωρίς κτίρια

Η Εικόνα 15 παρουσιάζει την διακύμανση της παροχής αιχμής για τις προσομοιώσεις 20 m πλέγμα χωρίς κτίρια και 10 m πλέγμα χωρίς κτίρια. Το διάγραμμα δείχνει την αλλαγή της παροχής κατά μήκος των διαφορετικών κόμβων της Εικόνα 10. Η Εικόνα 16 απεικονίζει τις παροχές του 20 m πλέγμα χωρίς κτίρια και 10 m πλέγμα χωρίς κτίρια στον κόμβο 1 της Εικόνα 10.Εικόνα 10: Χάρτης Κόμβων



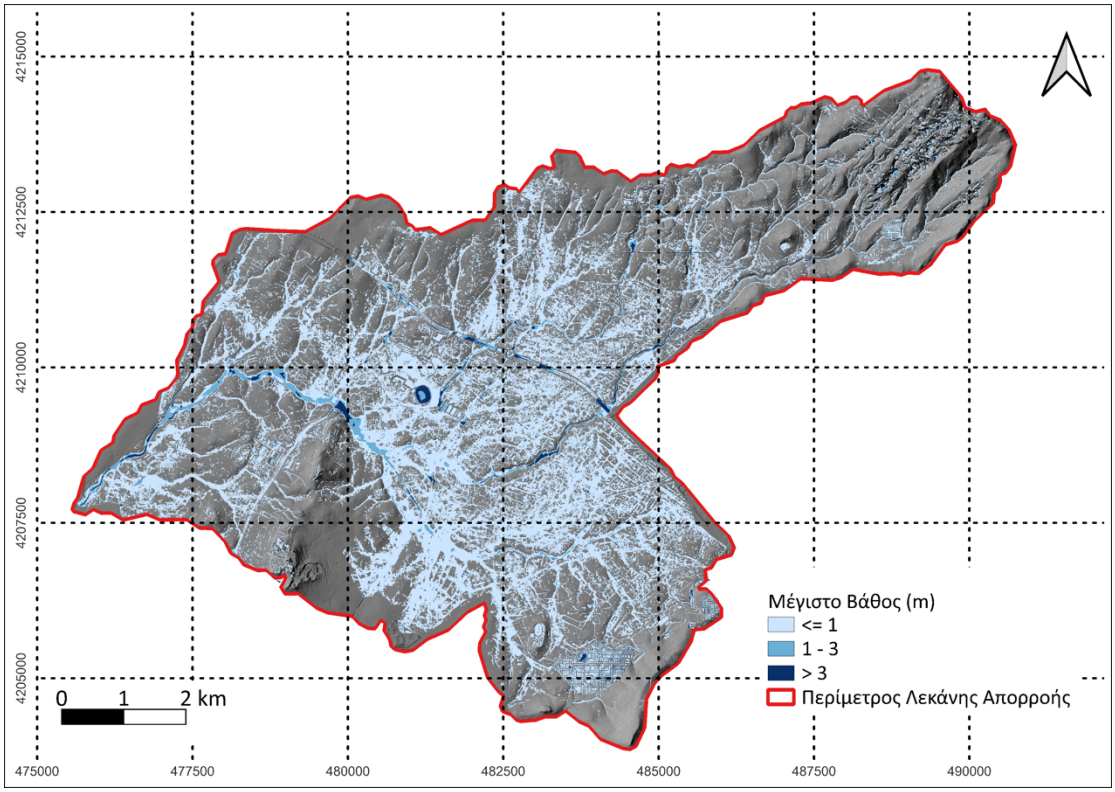
Εικόνα 15: Αιχμές Παροχής για 20 m (run01) και 10 m (run02) πλέγμα χωρίς κτίρια στους κόμβους 1-5



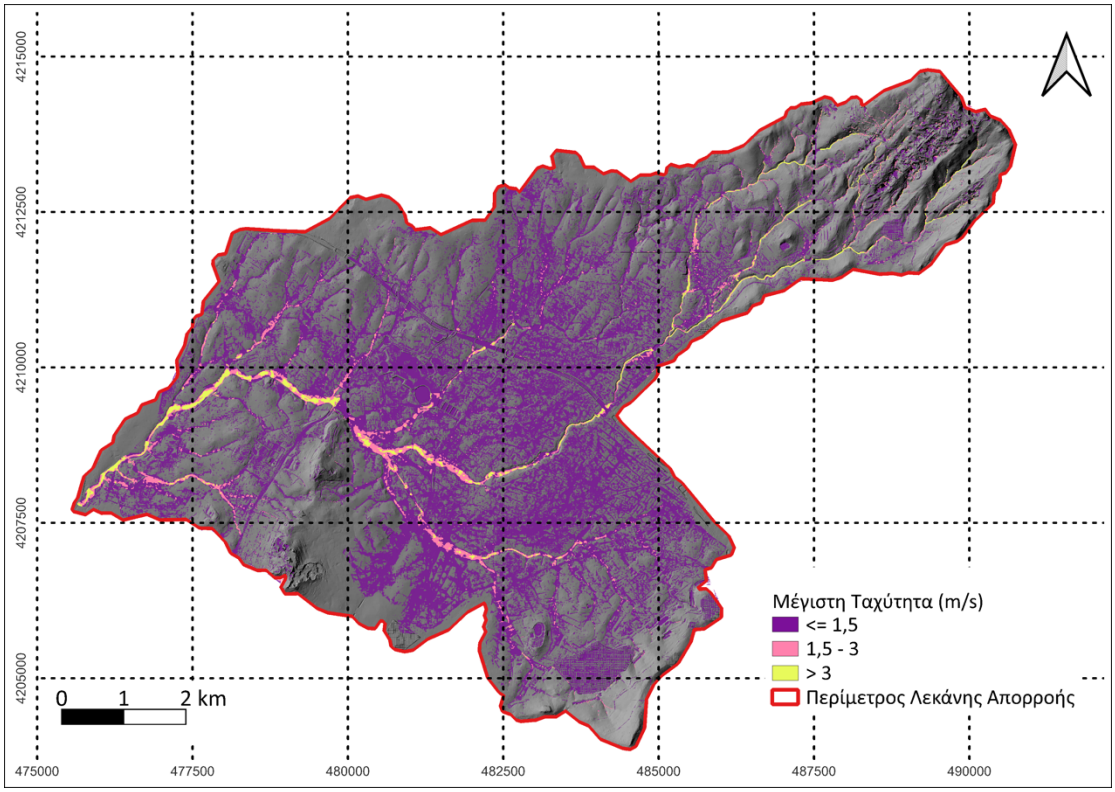
Εικόνα 16: Παροχές για 20 m (run01) και 10 m (run02) πλέγμα χωρίς κτίρια στον Κόμβο 1

5.1.2 Απορροή από Στέγες και Αύξηση του CN (Προσομοιώσεις 10 m πλέγμα χωρίς κτίρια-CN 100 χωρίς κτίρια)

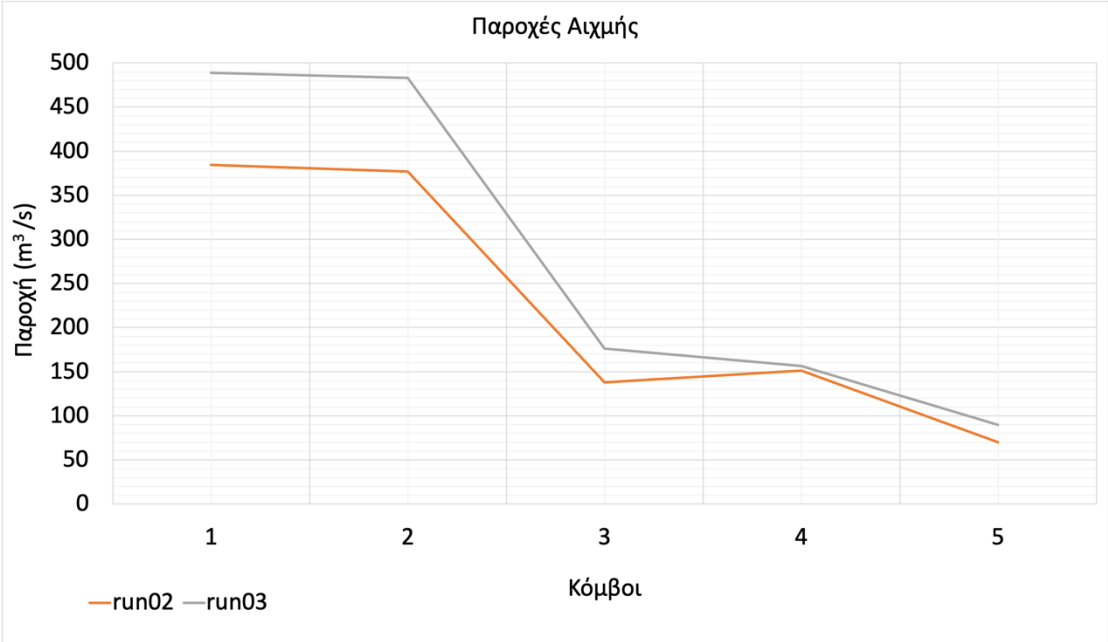
Η Εικόνα 17, απεικονίζει το μέγιστο βάθος πλημμυρών στην αστική λεκάνη απορροής του Ποδονίφτη για τη προσομοίωση CN 100 χωρίς κτίρια, ενώ η Εικόνα 18 παρουσιάζει την μέγιστη ταχύτητα ροής για την ίδια προσομοίωση (CN 100 χωρίς κτίρια). Στην Εικόνα 19 παρουσιάζεται η διακύμανση της παροχής αιχμής για τις προσομοιώσεις 10 m πλέγμα χωρίς κτίρια και CN 100 χωρίς κτίρια και τους κόμβους της Εικόνα 10. Αντίστοιχα, στην Εικόνα 20 παρουσιάζονται οι παροχές του κόμβου 1.



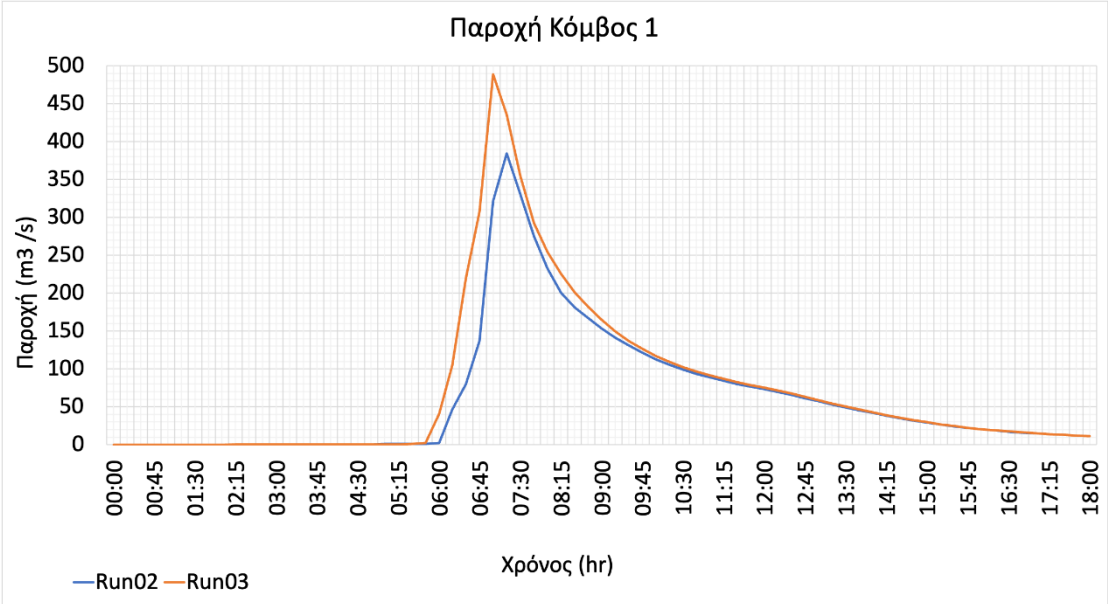
Εικόνα 17: Μέγιστο Βάθος για την προσομοίωση CN 100 χωρίς κτίρια



Εικόνα 18: Μέγιστη Ταχύτητα για την προσομοίωση CN 100 χωρίς κτίρια



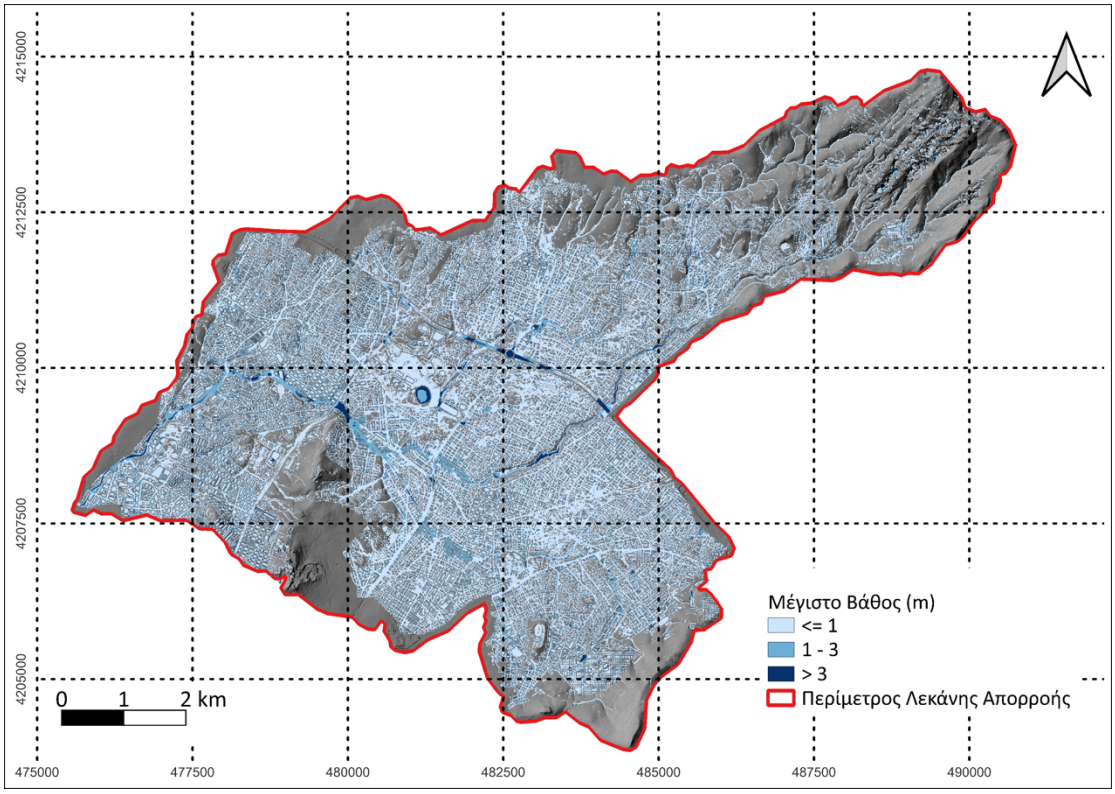
Εικόνα 19: Παροχές Αιχμής για 10 m πλέγμα χωρίς κτίρια (run02) - CN 100 (run03) χωρίς κτίρια στους κόμβους 1-5



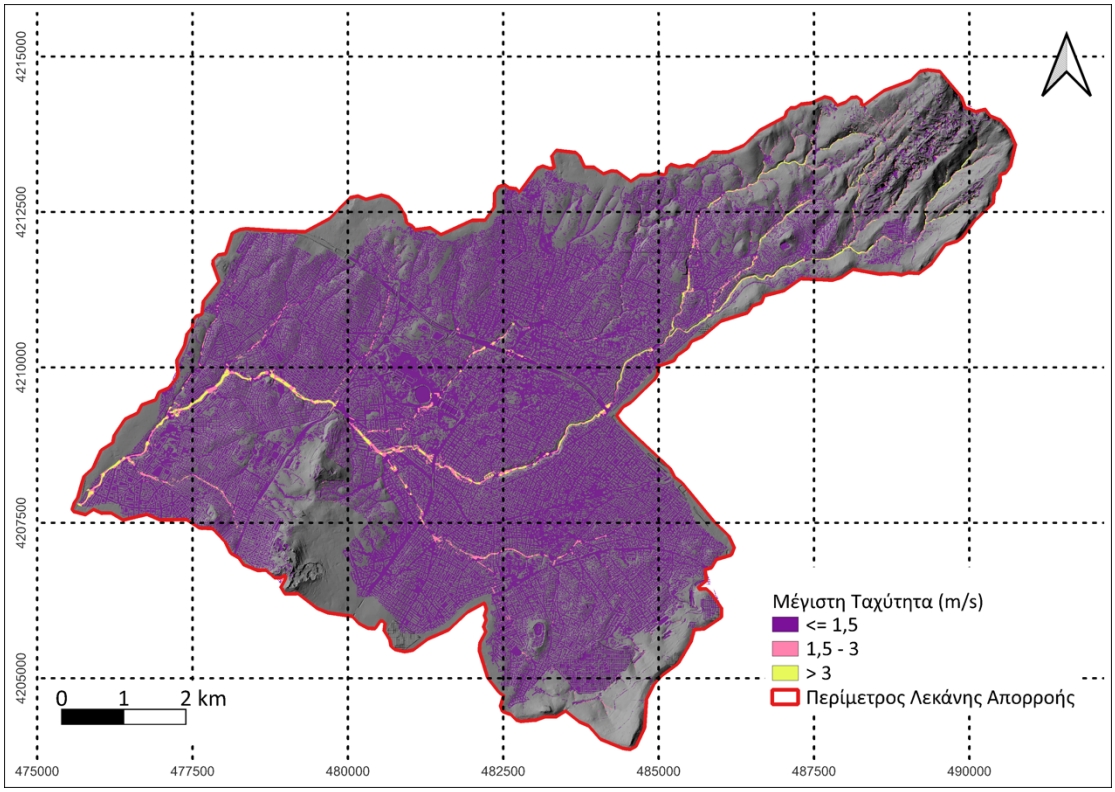
Εικόνα 20: Παροχή για 10 m πλέγμα χωρίς κτίρια (run02) - CN 100 (run03) χωρίς κτίρια στον Κόμβο 1

5.1.3 Επίδραση του Ύψους των Κτιρίων (5 m κτίρια – 12 m κτίρια)

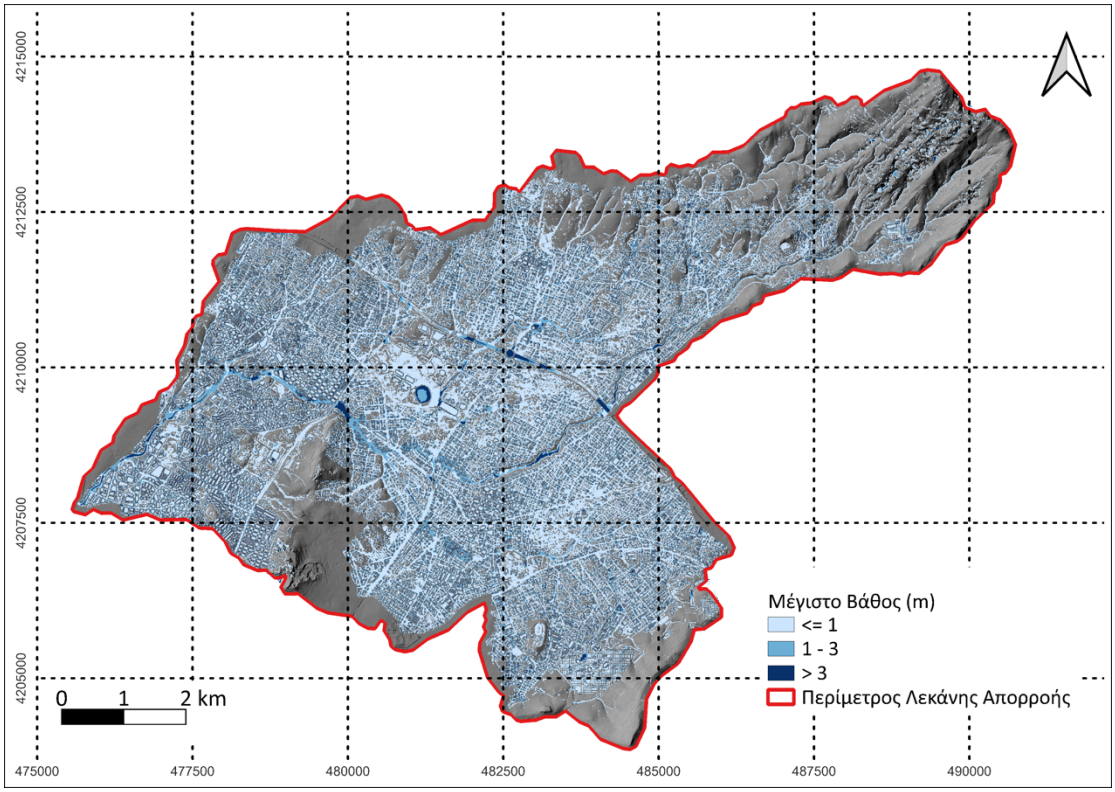
Η Εικόνα 21 και Εικόνα 23 παρουσιάζουν τα μέγιστα βάθη πλημμυρών για τα 5 m κτίρια και 12 m κτίρια αντίστοιχα. Επιπλέον, η Εικόνα 22 και η Εικόνα 24 απεικονίζουν τις μέγιστες ταχύτητες ροής για την προσομοίωση 5 m ύψους κτιρίων και 12 m ύψος κτιρίων αντίστοιχα. Στην Εικόνα 25 παρουσιάζεται η διακύμανση της παροχής αιχμής κατά μήκος διαφορετικών κόμβων για τις προσομοιώσεις 5 m ύψους κτιρίων και 12 m ύψους κτιρίων για τους κόμβους της Εικόνα 10.



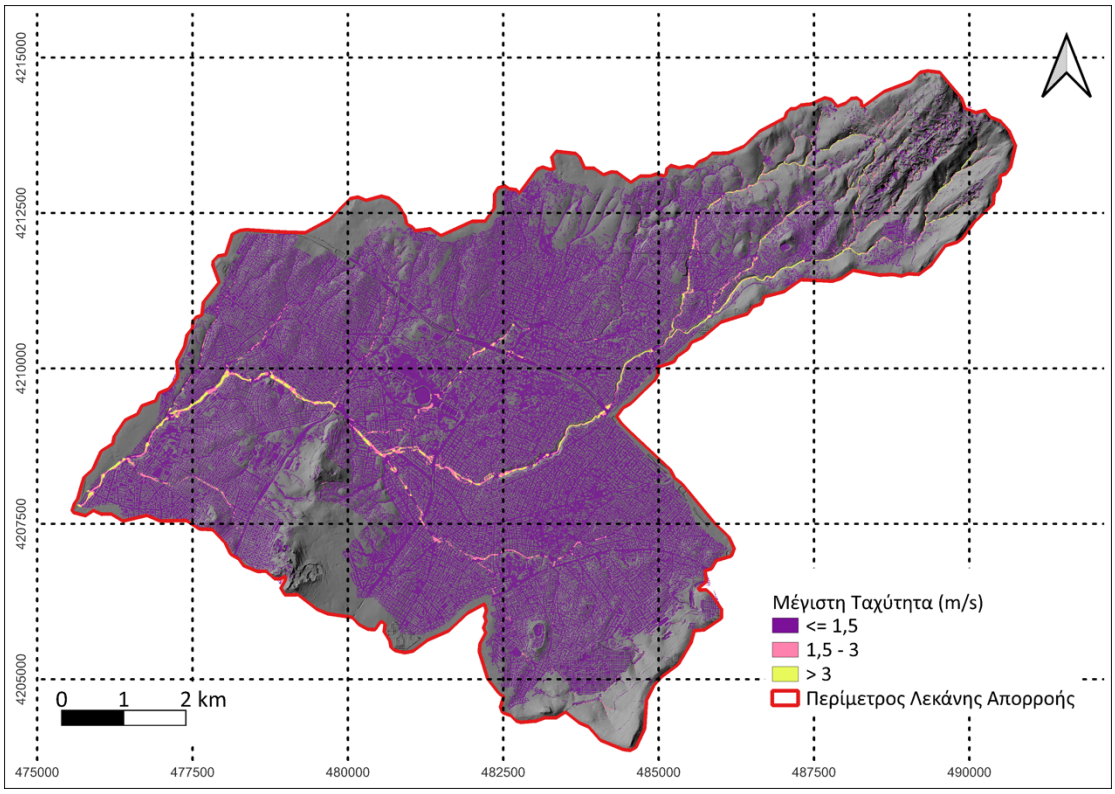
Εικόνα 21: Μέγιστο Βάθος για την προσομοίωση με ύψος κτιρίων 5 m



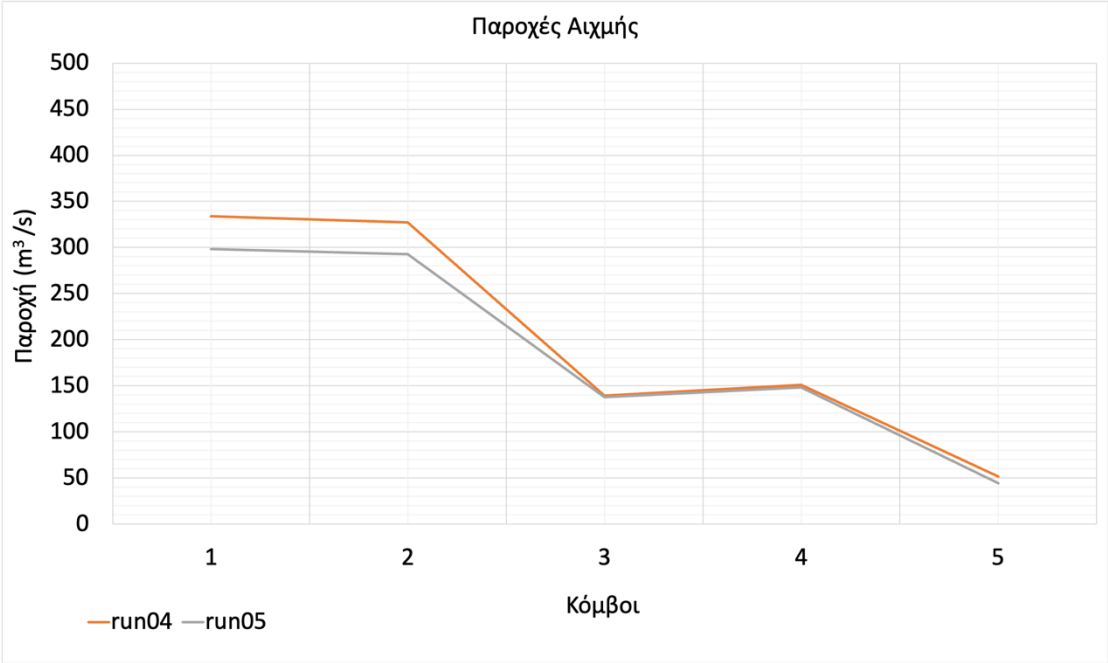
Εικόνα 22: Μέγιστη Ταχύτητα για την προσομοίωση με ύψος κτιρίων 5 m



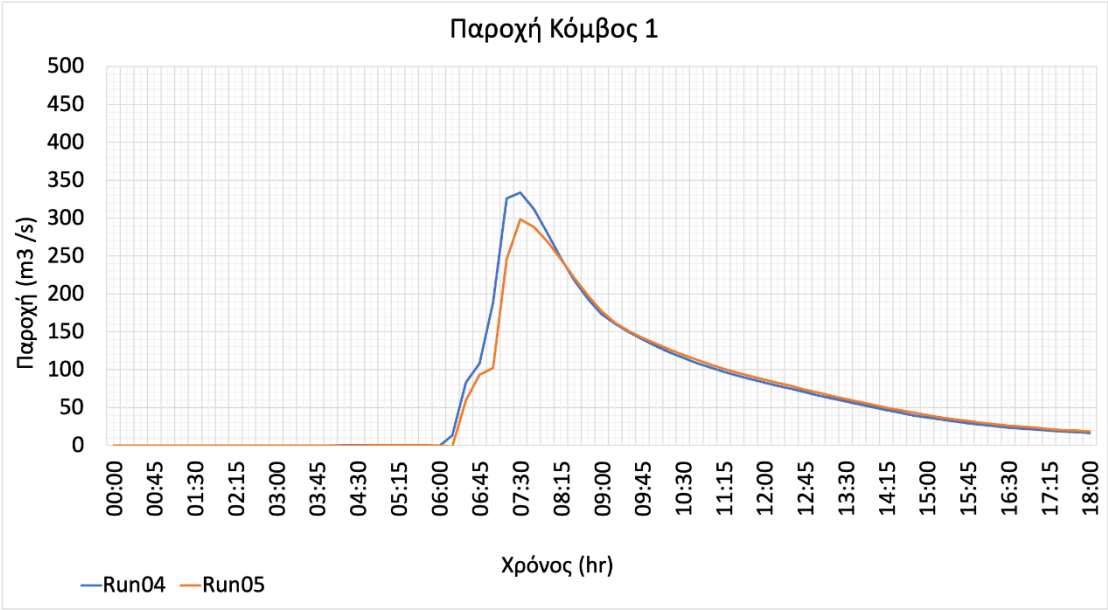
Εικόνα 23: Μέγιστο Βάθος για την προσομοίωση με ύψος κτιρίων 12 m



Εικόνα 24: Μέγιστη Ταχύτητα για την προσομοίωση με ύψος κτιρίων 12 m



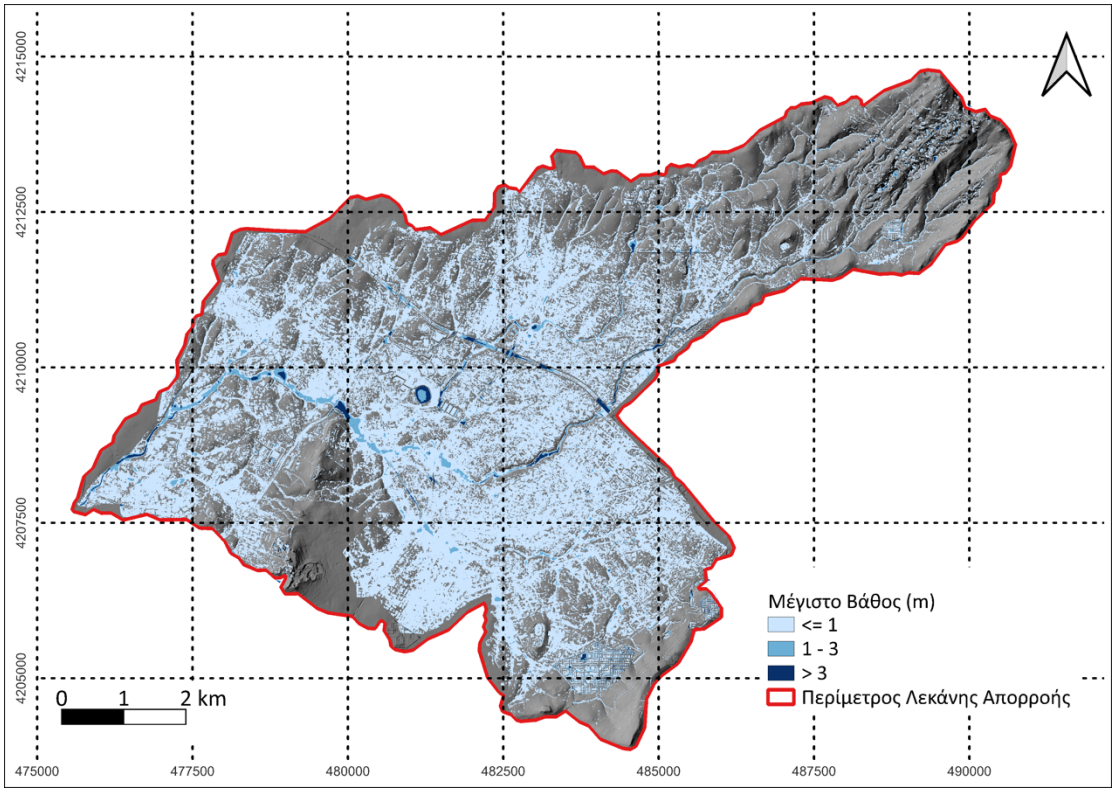
Εικόνα 25: Παροχές Αιχμής για τις προσομοιώσεις με ύψος κτιρίων 5 m (run04) - 12 m (run05) στους κόμβους 1-5



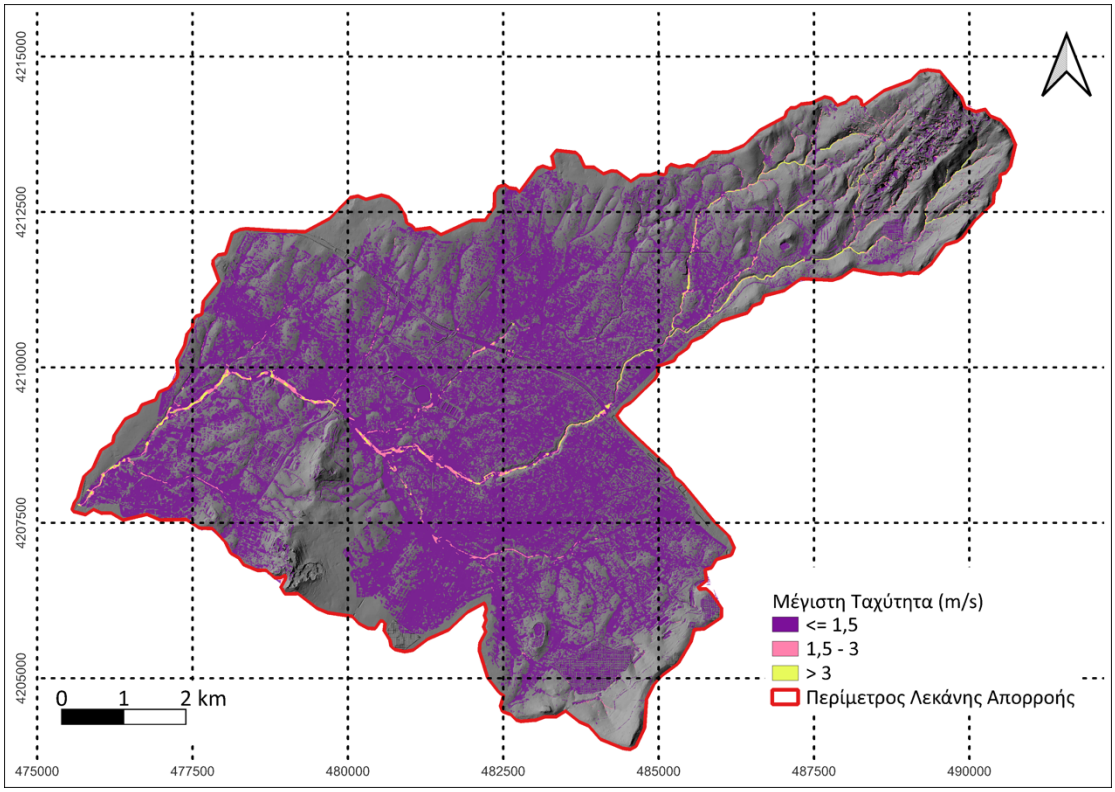
Εικόνα 26: Παροχή για τις προσομοιώσεις με ύψος κτιρίων 5 m (run04) - 12 m (run05) στον Κόμβο 1

5.1.4 Σύγκριση Τραχύτητας Manning (Manning 10 – Manning 1)

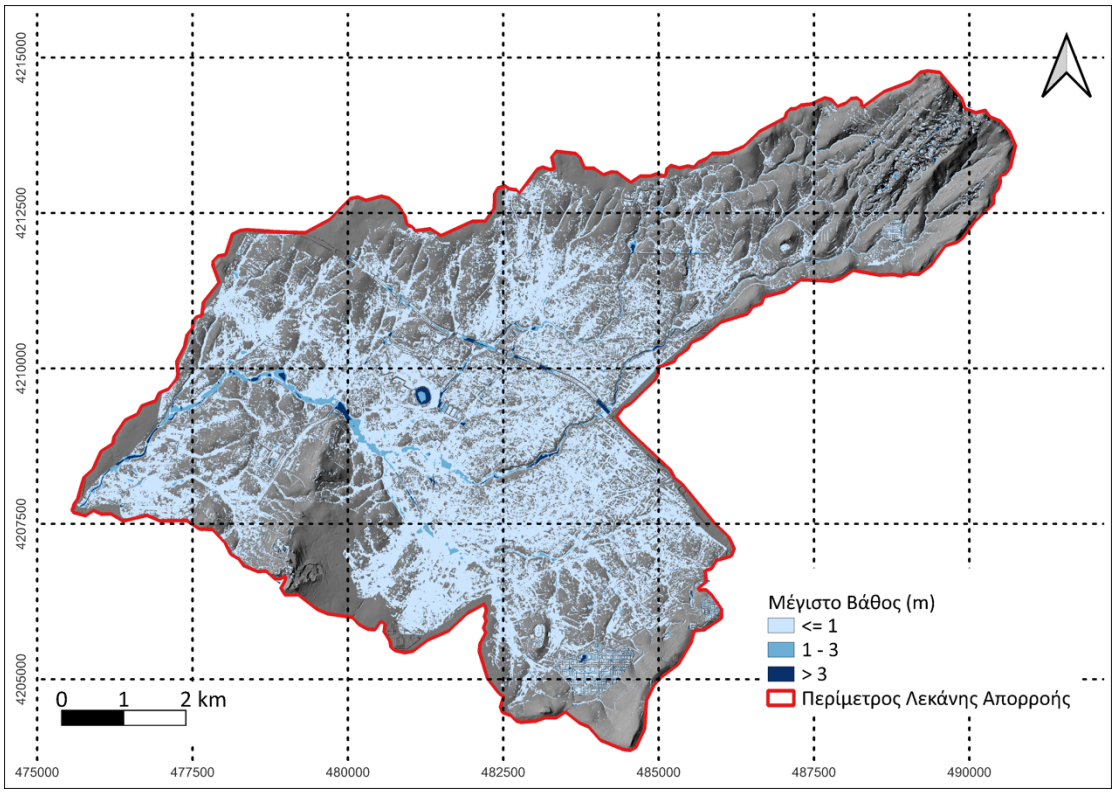
Η Εικόνα 27 και Εικόνα 29, παρουσιάζουν το μέγιστο βάθος πλημμυρών στην αστική λεκάνη του Ποδονίφτη για την προσομοίωση Manning 10 και Manning 1 αντίστοιχα. Ενώ η Εικόνα 28 και Εικόνα 30, απεικονίζουν τη μέγιστη ταχύτητα ροής για τις προσομοιώσεις Manning 10 και Manning 1, αντίστοιχα. Στην Εικόνα 31, παρουσιάζεται η διακύμανση των παροχών αιχμής των Manning 10 και Manning 1 για τους κόμβους της Εικόνα 10.



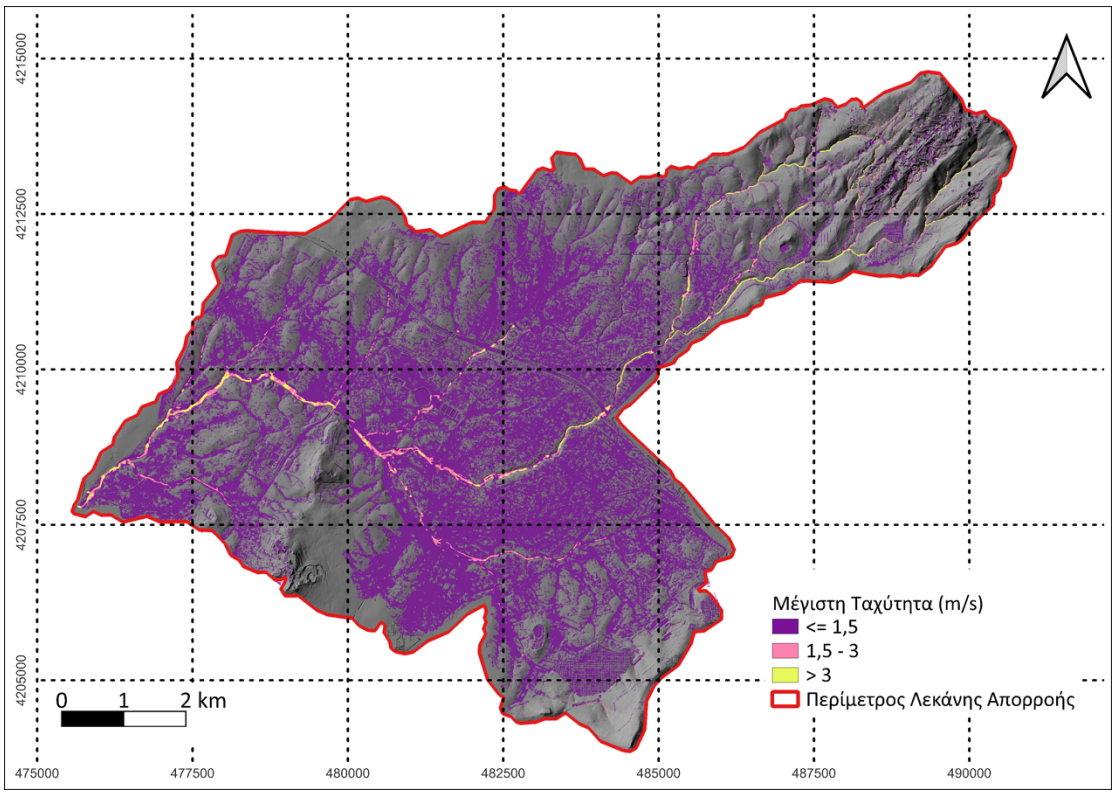
Εικόνα 27: Μέγιστο Βάθος για την προσομοίωση Manning 10



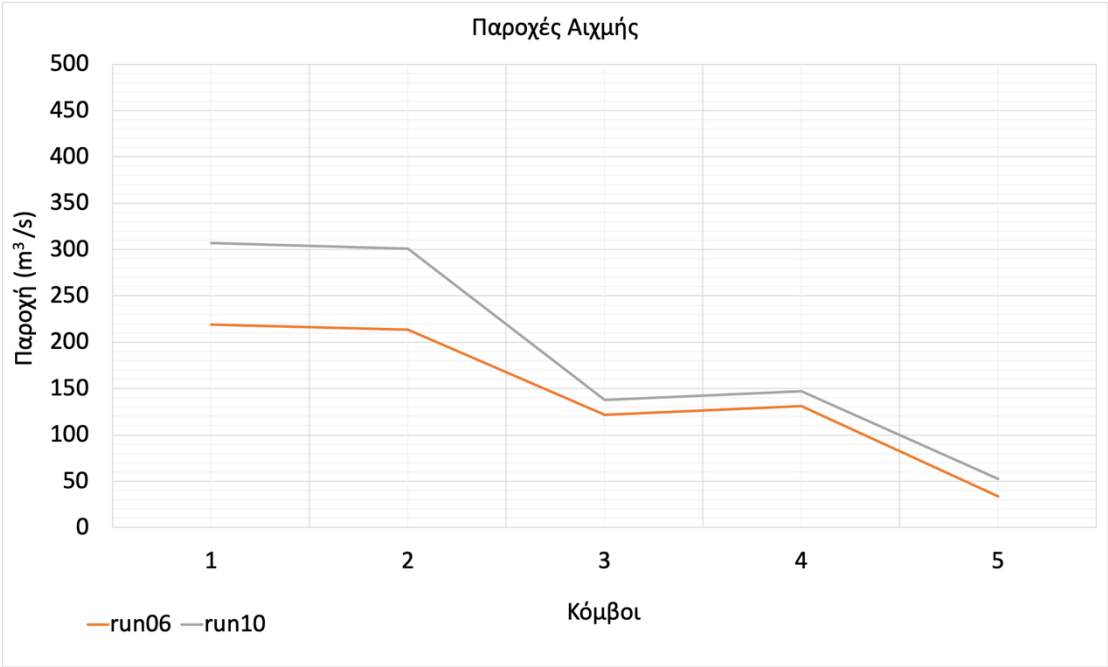
Εικόνα 28: Μέγιστη Ταχύτητα για την προσομοίωση Manning 10



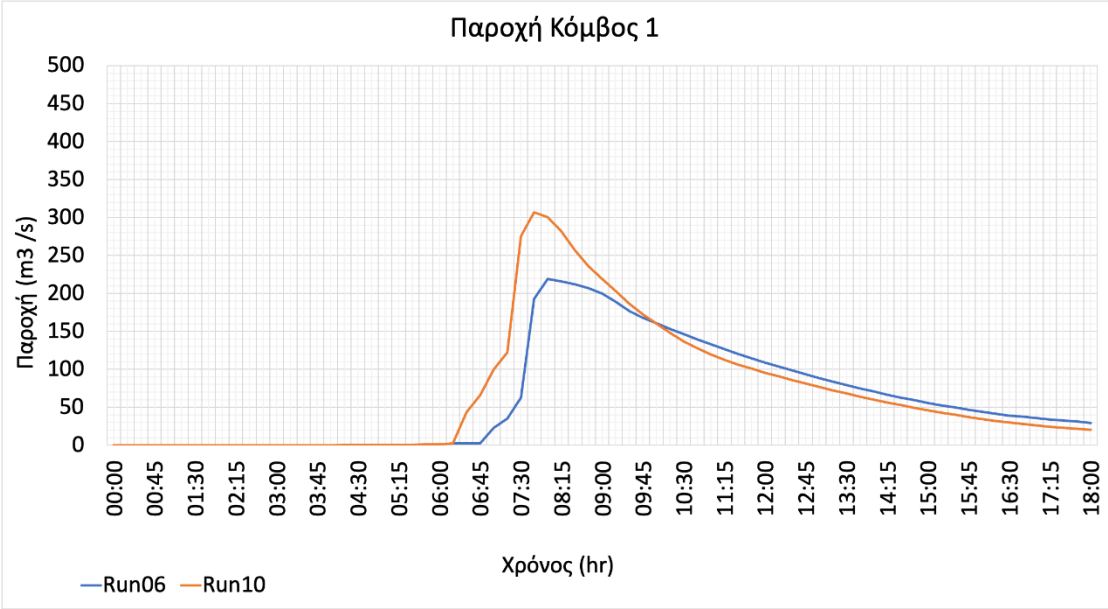
Εικόνα 29: Μέγιστο Βάθος για την προσομοίωση Manning 1



Εικόνα 30: Μέγιστη Ταχύτητα για την προσομοίωση Manning 1



Εικόνα 31: Παροχές Αιχμής για τις προσομοιώσεις Manning 10 (run06) - Manning 1 (run10) στους κόμβους 1-5

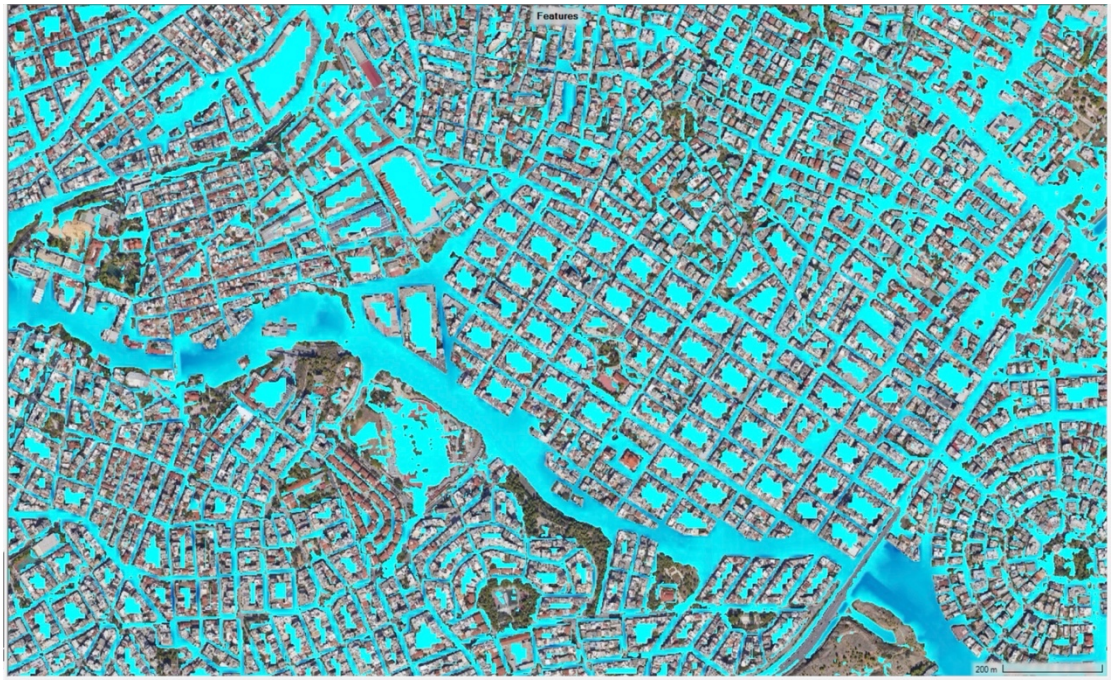


Εικόνα 32: Παροχή για τις προσομοιώσεις Manning 10 (run06) - Manning 1 (run10) στον Κόμβο 1

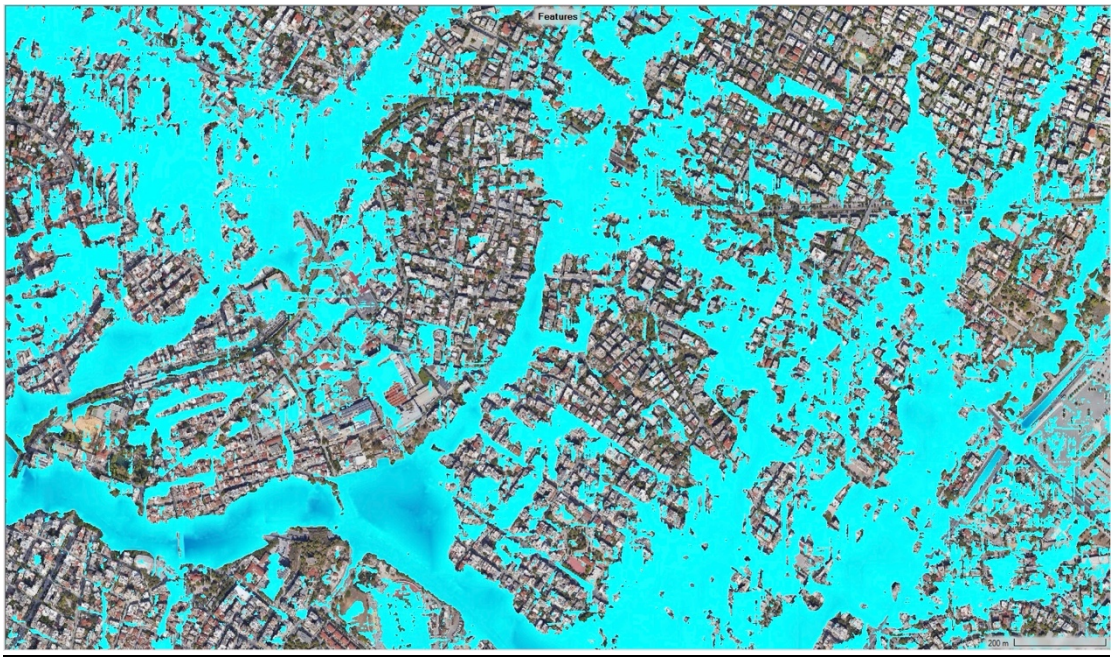
5.1.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων CN 100 χωρίς κτίρια- 12 m ύψος κτιρίων- Manning 1

Η Εικόνα 33, παρουσιάζει την διόδευση του νερού για την προσομοίωση CN 100 χωρίς κτίρια με το αστικό υπόβαθρο. Αντιστοίχως, η Εικόνα 34 και Εικόνα 35 απεικονίζουν την διόδευση του νερού για τις προσομοιώσεις 12 m κτίρια και Manning 1. Επιπλέον, στην Εικόνα 36 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις της παροχής αιχμής για τις προσομοιώσεις CN 100 χωρίς κτίρια, 12 m κτίρια και Manning 1 κατά μήκος των διαφορετικών κόμβων της Εικόνα 10.

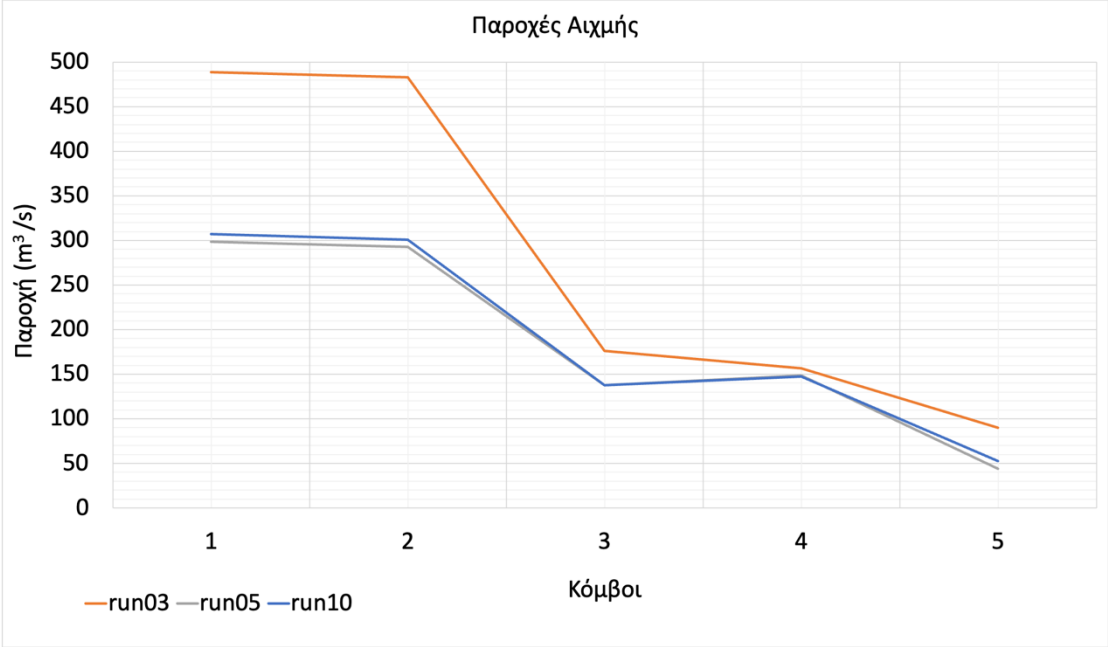
Εικόνα 33: Διόδευση νερού με CN 100 χωρίς κτίρια (Υπόβαθρο: Google Satelite)



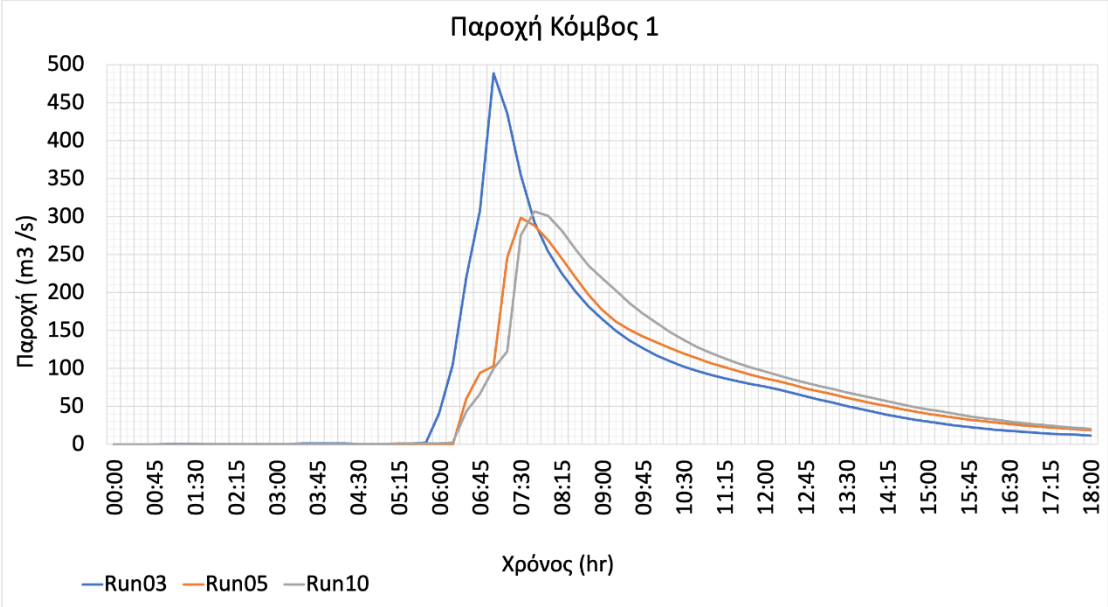
Εικόνα 34: Διόδευση Νερού για την προσομοίωση με ύψος 12 m κτιρίων (Υπόβαθρο: Google Satelite)



Εικόνα 35: Διόδευση Νερού για την προσομοίωση κτιρίων Manning 1 (Υπόβαθρο: Google Satelite)



Εικόνα 36: Παροχές Αιχμής για τις προσομοιώσεις CN 100 χωρίς κτίρια (run03)- 12 m ύψος κτιρίων (run05) - Manning 1 (run10) στους κόμβους 1-5

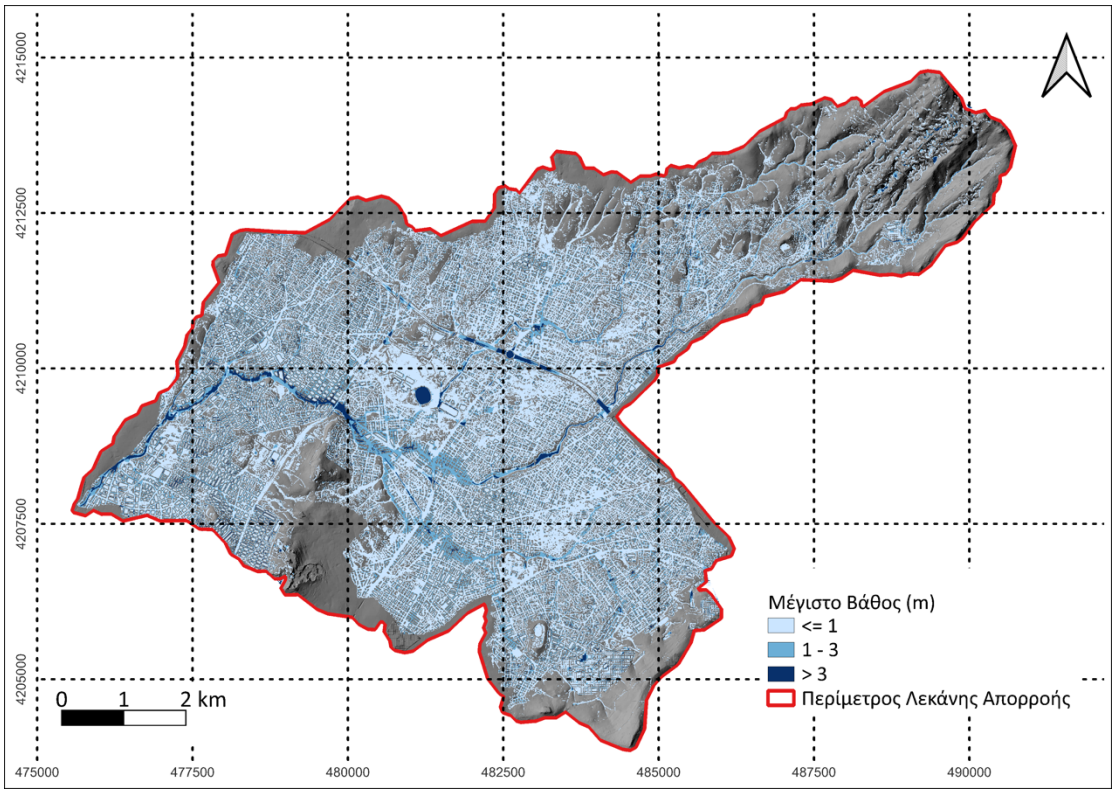


Εικόνα 37: Παροχή για τις προσομοιώσεις CN 100 χωρίς κτίρια (run03)- 12 m ύψος κτιρίων (run05) - Manning 1 (run10)στον Κόμβο 1

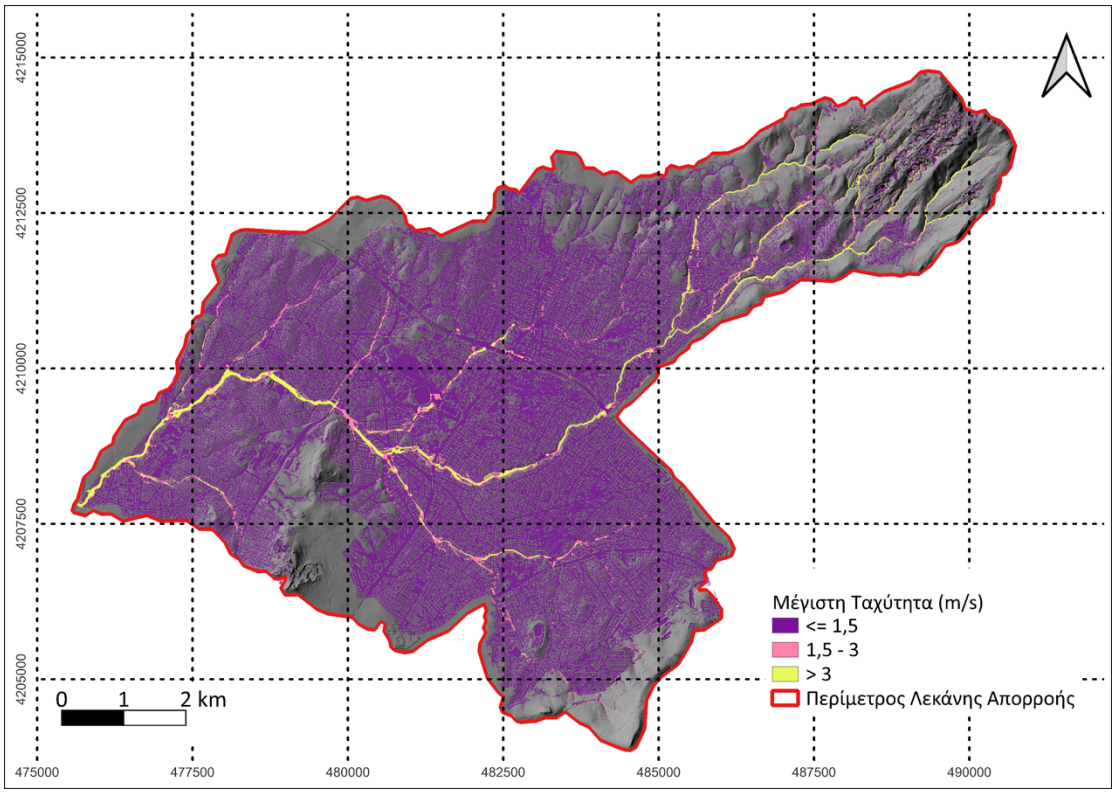
5.2 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων Τ1000

5.2.1 Σύγκριση 5 m – 12 m ύψος κτιρίων

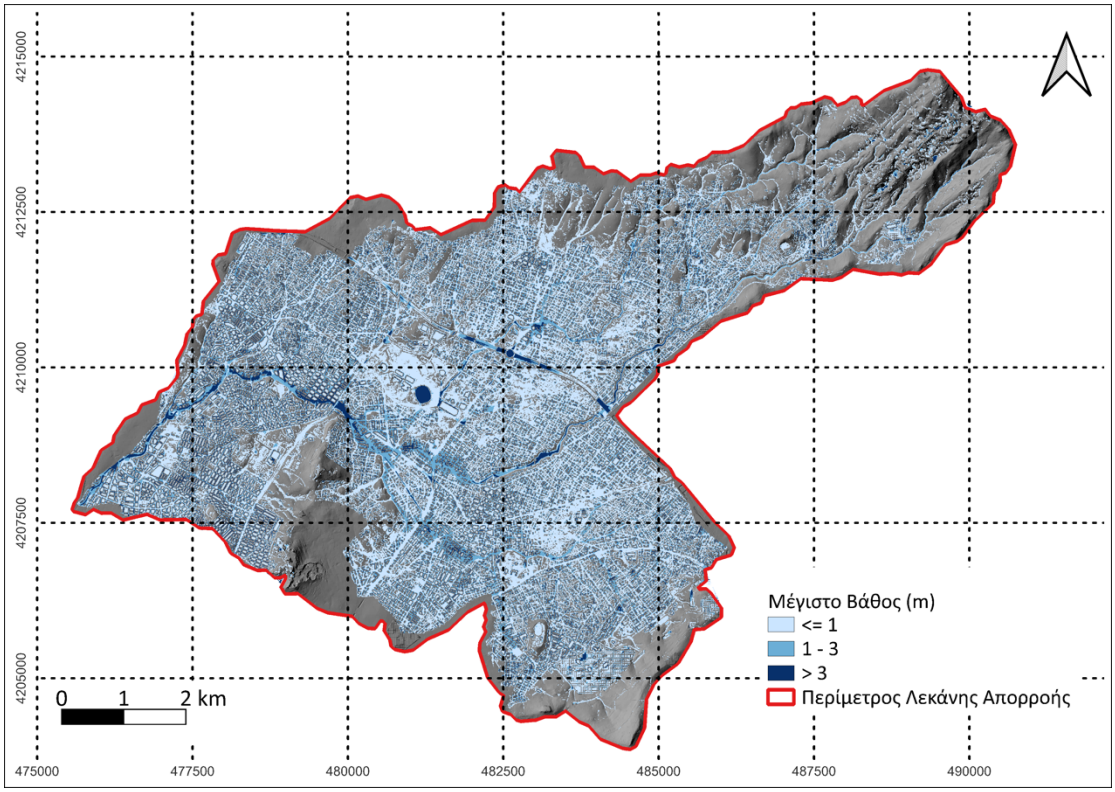
Η Εικόνα 38 και Εικόνα 40 παρουσιάζουν το μέγιστο βάθος πλημμύρας για τα 5 m κτίρια και 12 m κτίρια αντίστοιχα, για περίοδο επαναφοράς Τ1000. Ενώ η Εικόνα 39 και Εικόνα 41 απεικονίζουν τις μεταβολές της μέγιστης ταχύτητας ροής των όμβριων υδάτων σε περίοδο επαναφοράς Τ1000. Στην Εικόνα 42 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις των παροχών αιχμής για τα 5 m και 12 m ύψος κτιρίων κατά μήκος των διαφορετικών κόμβων της Εικόνα 10.



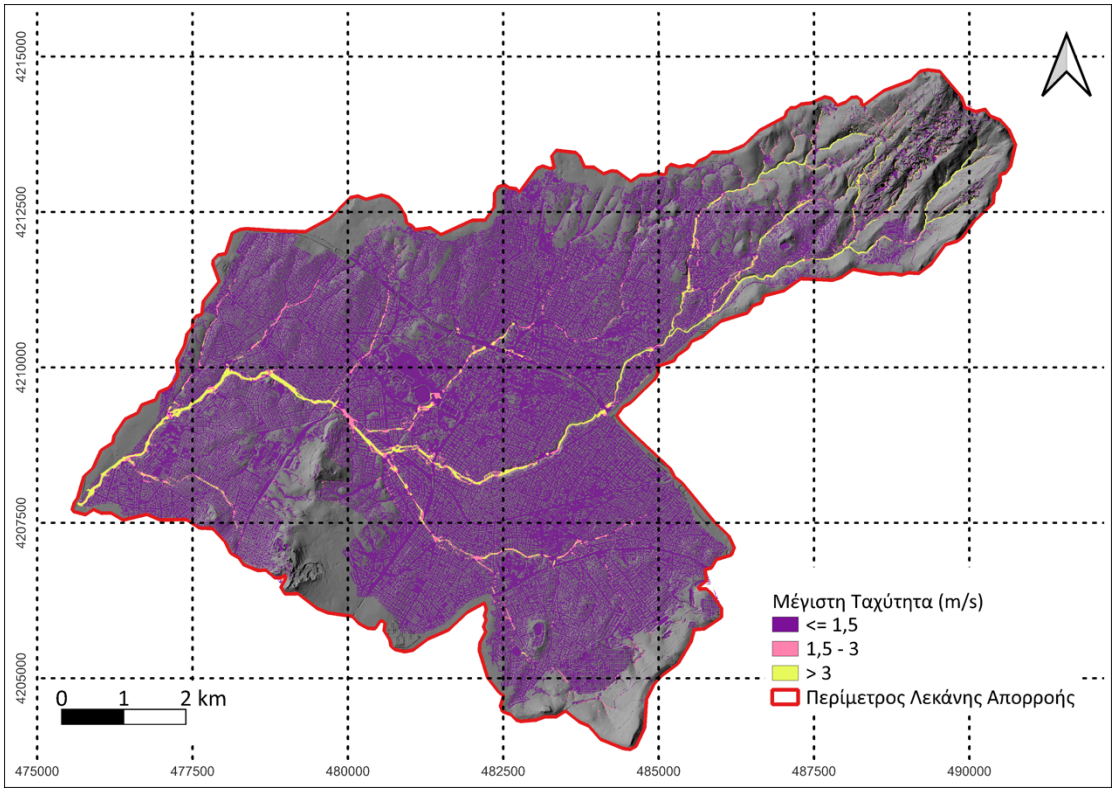
Εικόνα 38: Μέγιστο Βάθος για την προσομοίωση με ύψος κτιρίων 5 m, Τ1000



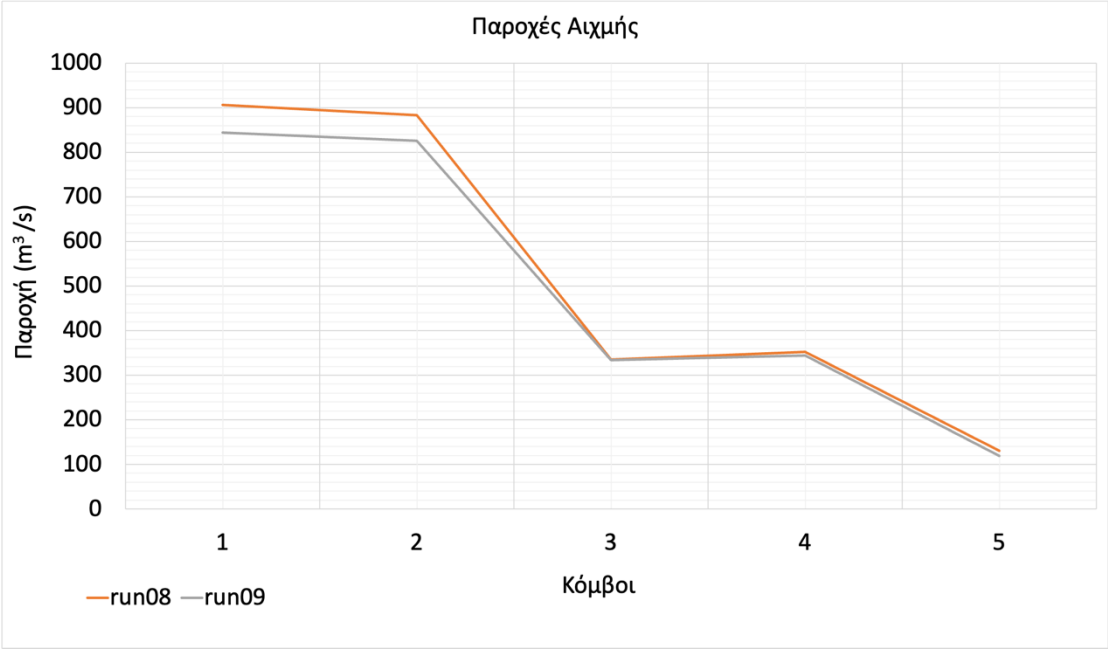
Εικόνα 39: Μέγιστη Ταχύτητα για την προσομοίωση με ύψος κτιρίων 5 m, T1000



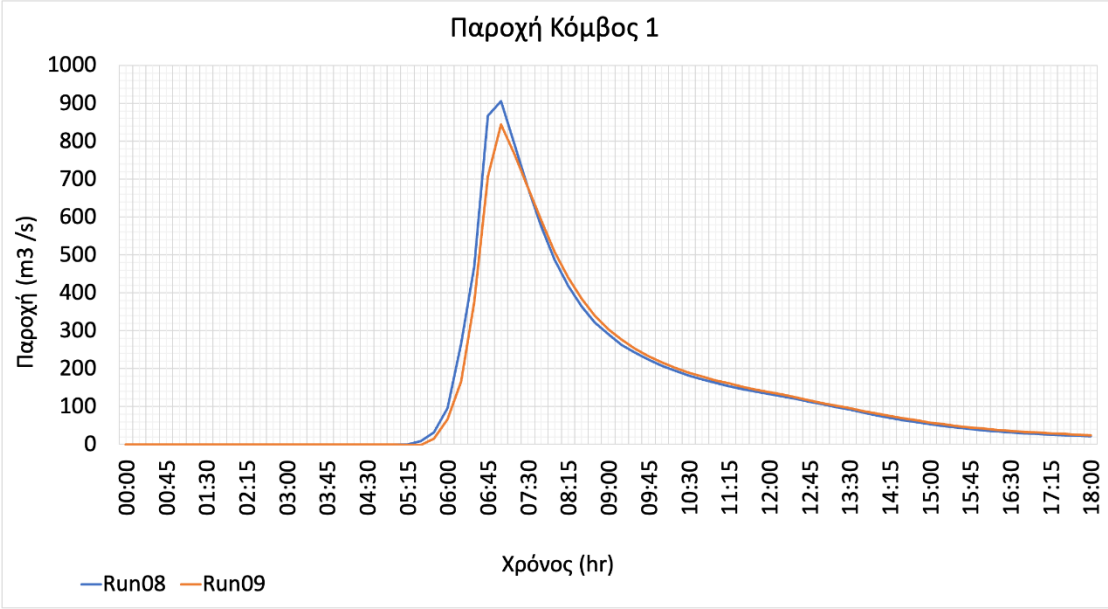
Εικόνα 40: Μέγιστο Βάθος για την προσομοίωση με ύψος κτιρίων 12 m, T1000



Εικόνα 41: Μέγιστη Ταχύτητα για την προσομοίωση με ύψος κτιρίων 12 m, T1000



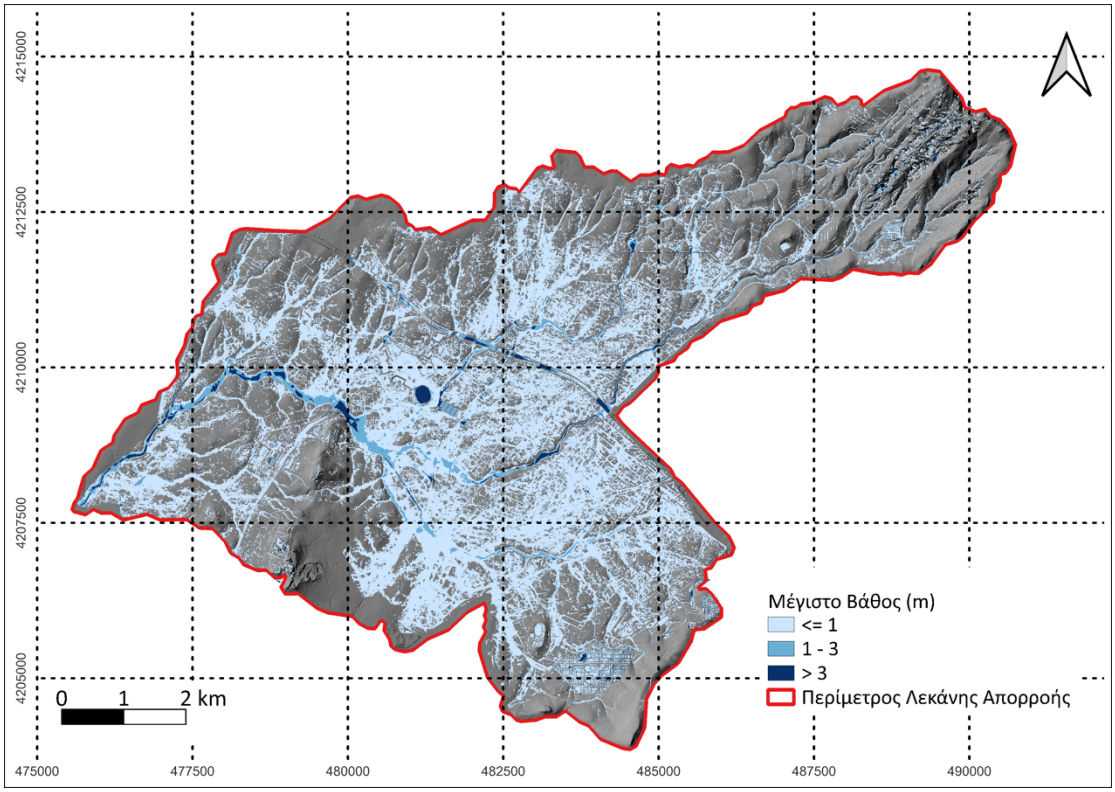
Εικόνα 42: Παροχές Αιχμής για τις προσομοιώσεις 5 m ύψους κτιρίων (run08) - 12 m ύψους κτιρίων (run09) στους κόμβους 1-5 για Τ1000



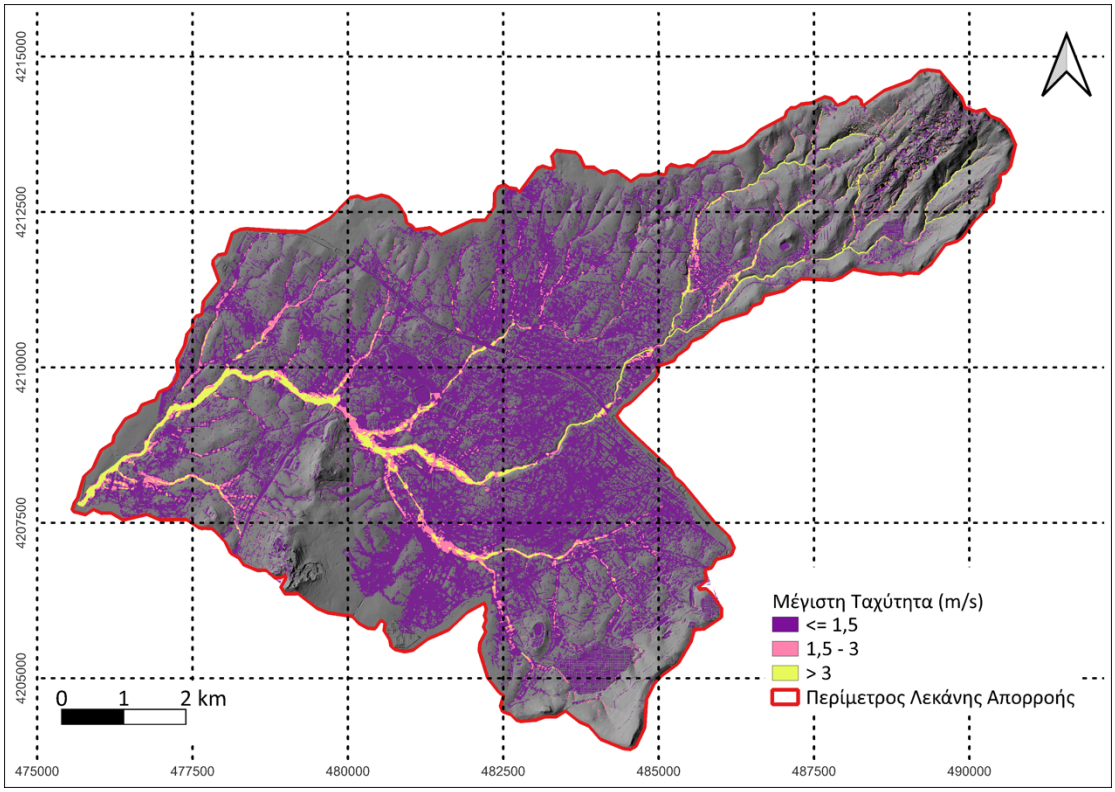
Εικόνα 43: Παροχή για τις προσομοιώσεις 5 m ύψους κτιρίων (run08) - 12 m ύψους κτιρίων (run09) στον Κόμβο 1 για Τ1000

5.2.2 Σύγκριση CN 100 – 12 m ύψους κτιρίων – Manning 1

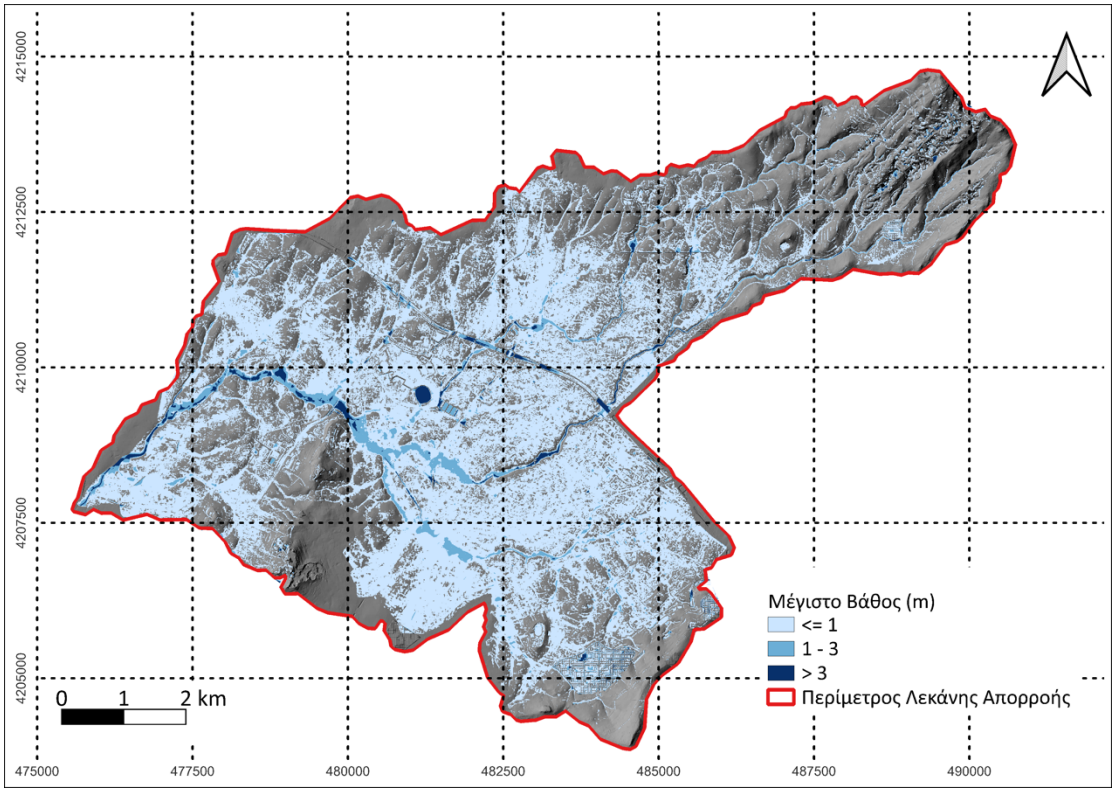
Η Εικόνα 44 και Εικόνα 46 απεικονίζουν το μέγιστο βάθος πλημμυρών στην αστική λεκάνη του Ποδονίφτη για τις προσομοιώσεις CN 100 και Manning 1. Η Εικόνα 45 και η Εικόνα 47 παρουσιάζουν τη μέγιστη ταχύτητα ροής των όμβριων υδάτων για τις προσομοιώσεις CN 100 και Manning 1 αντίστοιχα.



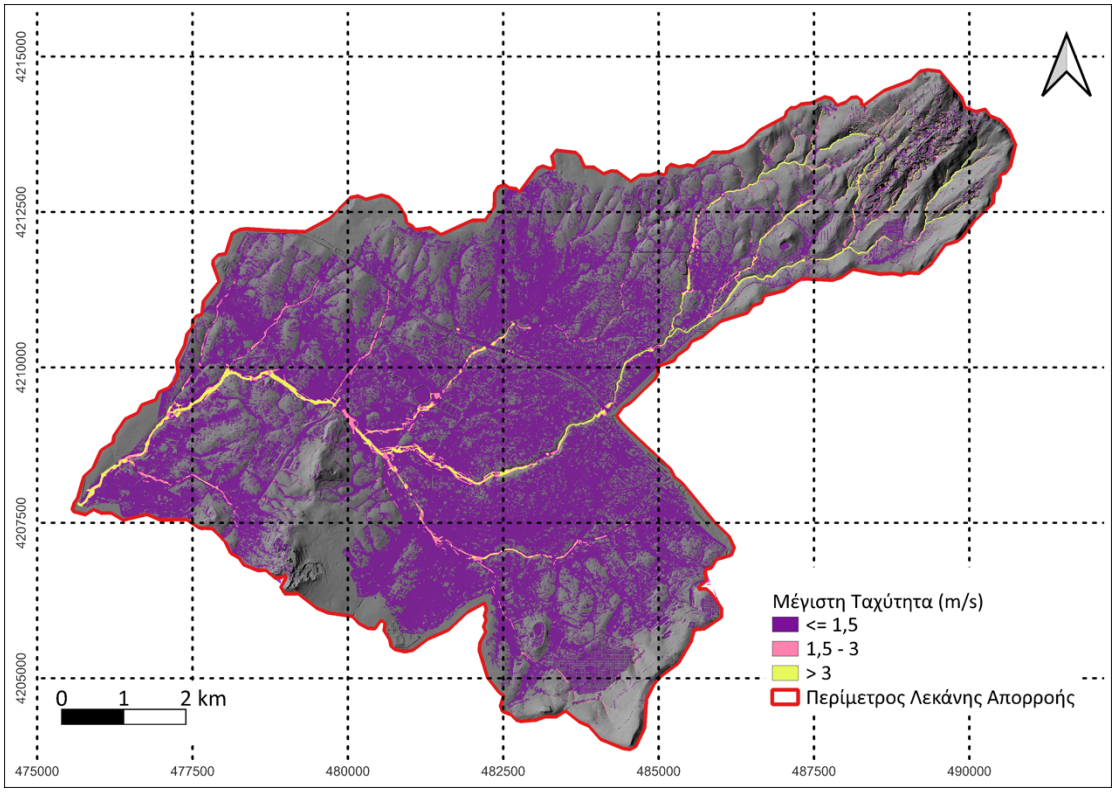
Εικόνα 44: Μέγιστο Βάθος για την προσομοίωση CN 100, T1000



Εικόνα 45: Μέγιστη Ταχύτητα για την προσομοίωση CN 100, T1000



Εικόνα 46: Μέγιστο Βάθος Manning 1, T1000

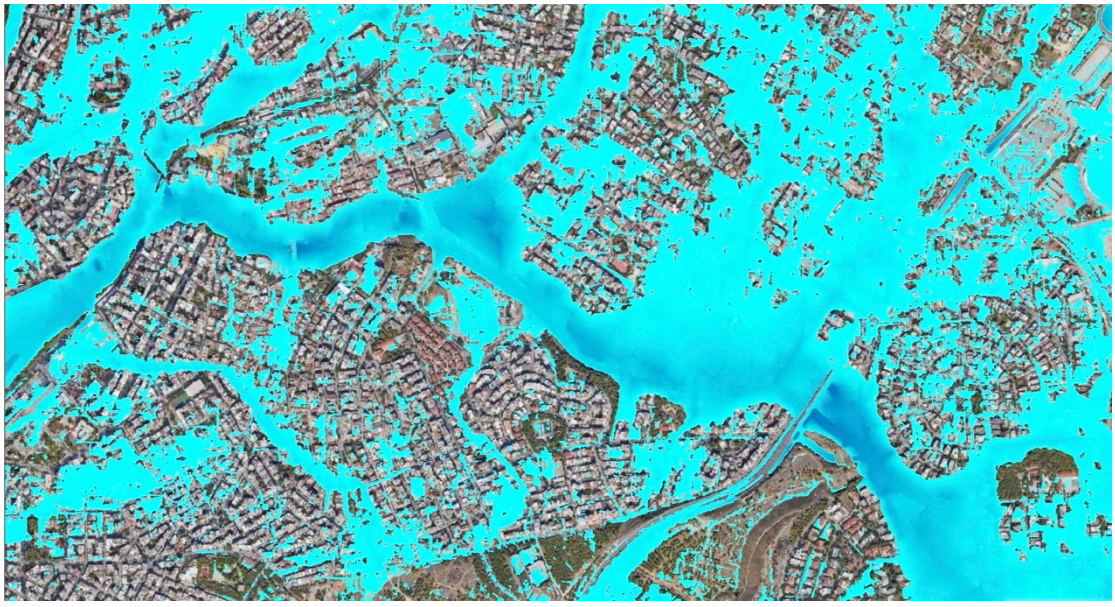


Εικόνα 47: Μέγιστη Ταχύτητα Manning 1, T1000

Η Εικόνα 48, η Εικόνα 49 και η Εικόνα 50 απεικονίζουν την διόδευση του νερού στην αστική λεκάνη του Ποδονίφτη για να εξεταστεί η συμπεριφορά του σύμφωνα με τις προσομοιώσεις CN 100 - 12 m κτίρια και Manning 1.

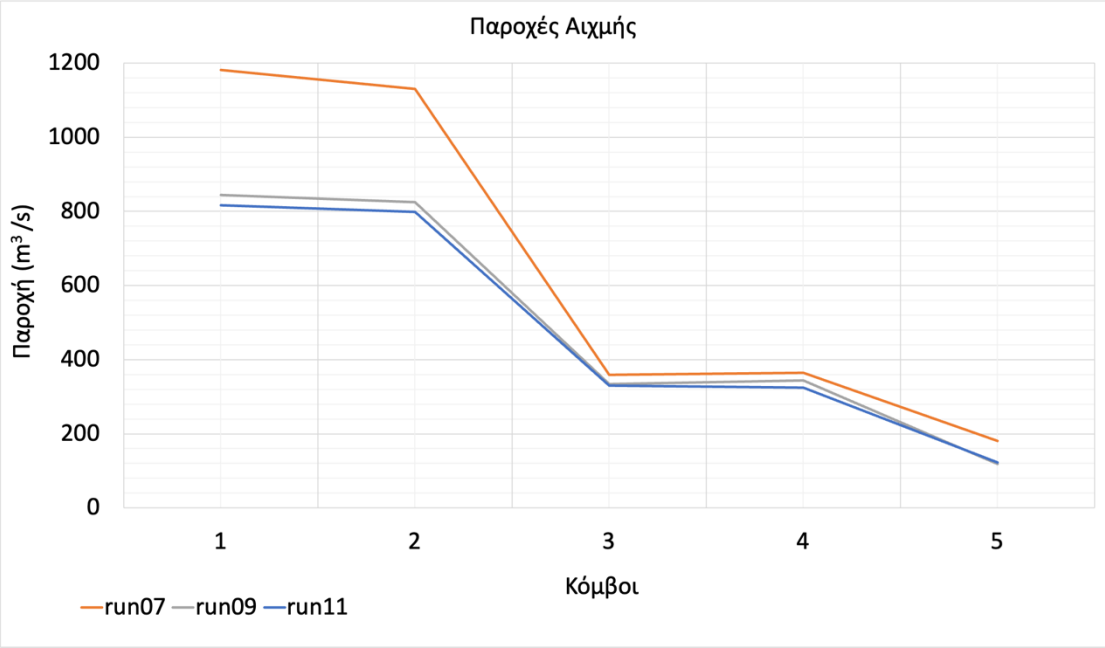
Εικόνα 48: Διόδευση Νερού για την προσομοίωση CN 100 χωρίς κτίρια για T1000 (Υπόβαθρο: Google Satelite)

Εικόνα 49: Διόδευση Νερού για την προσομοίωση με ύψος κτιρίων 12 m για T1000 (Υπόβαθρο: Google Satelite)

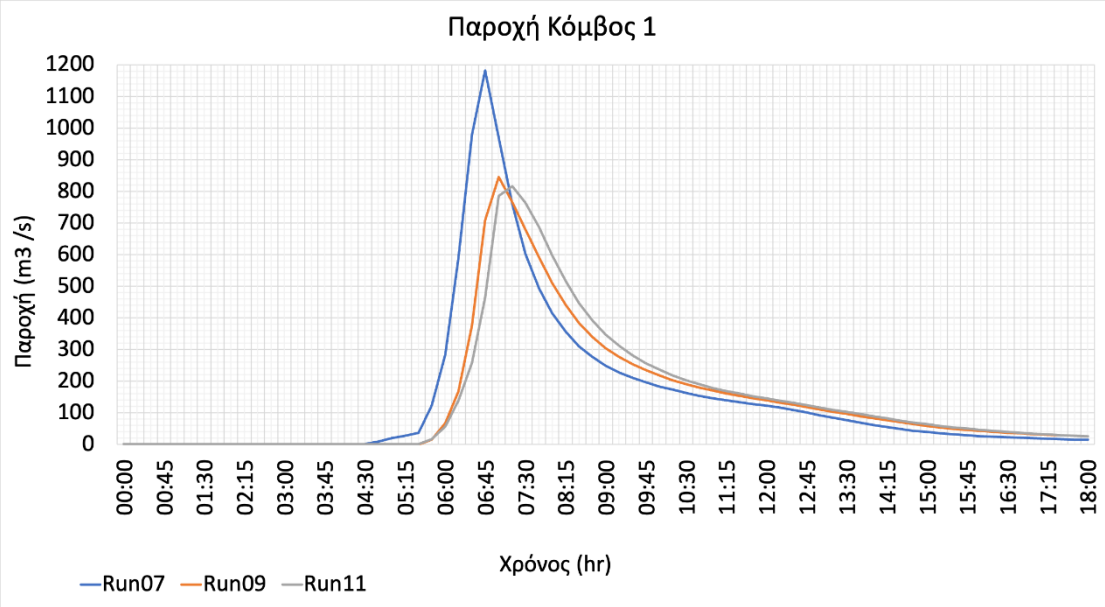


Εικόνα 50: Διόδευση Νερού για την προσομοίωση Manning 1 και T1000 (Υπόβαθρο: Google Satelite)

Η Εικόνα 51 παρουσιάζει τη διακύμανση της παροχής αιχμής για τις προσομοιώσεις CN 100 - 12 m κτίρια και Manning 1. Το διάγραμμα δείχνει την αλλαγή της παροχής κατά μήκος των διαφορετικών κόμβων που παρουσιάζονται στην Εικόνα 10.



Εικόνα 51: Παροχές Αιχμής για τις προσομοιώσεις CN 100 (run07)- 12 m ύψος κτιρίων (run09)- Manning 1 (run11) για T1000 στους κόμβους 1-5



Εικόνα 52: Παροχή για τις προσομοιώσεις CN 100 (run07)- 12 m ύψουε κτιρίων (run09)- Manning 1 (run11) για T1000 στον Κόμβο 1

6 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η παρούσα μελέτη έδειξε διαφορές στην αποτύπωση της ροής όμβριων υδάτων εντός της αστικής λεκάνης απορροής του Ποδονίφτη, για τις μεθόδους Stubby Building και Building Resistance. Από τις προσομοιώσεις προέκυψε ότι η μέθοδος Stubby Building βελτιώνει τη διόδευση της πλημμύρας ανάμεσα από τα κτίρια, δείχνοντας μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση της κατεύθυνσης της ροής και της διασποράς της σε πυκνοκατοικημένες περιοχές. Επιπλέον, η μέθοδος Stubby Building με ύψος 5 m έδειξε μεγαλύτερες παροχές σε σύγκριση με την μέθοδο Building Resistance, ενώ το ύψος 12 m έδειξε σχεδόν ίδιες παροχές με την μέθοδο Building Resistance. Αυτό συμβαίνει γιατί στα κτίρια 12 m υπάρχει μεγαλύτερη υψομετρική διαφορά σε σχέση με τα κτίρια 5 m, με αποτέλεσμα να συγκρατεί παραπάνω νερό. Ενώ στα 5 m το νερό φεύγει πιο γρήγορα και έτσι να υπάρχουν μεγαλύτερες παροχές κατάντη. Επίσης, η μέθοδος Building Resistance παρουσίασε περιορισμούς στην αποτύπωση της ροής, υποδεικνύοντας την ανάγκη βελτιώσεων για την καλύτερη προσαρμογή σε αστικούς ιστούς. Συγκεκριμένα στην μέθοδο Building Resistance, το νερό τείνει να συγκεντρώνεται περισσότερο στα σημεία όπου η τραχύτητα είναι υψηλή, αντί να ρέει.

Η μέθοδος SB, εμφανίζει αρκετά μεγαλύτερα βάθη λόγω του ότι δεν λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες από τις σχάρες στους δρόμους, οδηγώντας σε περίσσεια συσσωρευμένου νερού. Σε σύγκριση, η BR εμφανίζει αφύσικη χωρική διόδευση.

Το αυξημένο ύψος των κτιρίων εξετάστηκε αν λειτουργεί ως μεγαλύτερο εμπόδιο στη ροή του νερού, και αν παρατηρούνται αριθμητικές αστάθειες, όπως συμβαίνει σε μερικές περιπτώσεις όταν το τοπογραφικό ανάγλυφο εξυψώνεται σε μεγέθη > 1m. (Iliadis et al., 2024).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η διαφοροποίηση του ύψους των κτιρίων δεν προκαλεί αριθμητική αστάθεια στο μοντέλο, αλλά μπορεί να επηρεάσει την κατανομή της ροής στις πλημμυρικές ζώνες.

Συγκριση Ταχυτήτων

Η σύγκριση των ταχυτήτων για τις δυο μεθόδους δεν έδειξε ιδιαίτερες διαφορές στις μέγιστες ταχύτητες. Η μεγαλύτερες ταχύτητες εμφανίστηκαν στην προσομοίωση 07, όπου αφορούσε την περίπτωση μη μοντελοποίησης κτιρίων, CN 100 και περίοδο επαναφοράς T1000. Στις περιπτώσεις όπου έγινε σύγκριση των δυο μεθόδων μοντελοποίησης κτιρίων για T100, οι μέγιστες ταχύτητες δεν διέφεραν σημαντικά.Οι ταχύτητες για περίοδο επαναφοράς T1000 έδειξαν αυξημένες σε σχέση με τα αντίστοιχα Προσομοιώσεις των T100.

Περίοδος Επαναφοράς

Η αύξηση της περιόδου επαναφοράς σε T1000 οδήγησε σε εντονότερες πλημμυρικές ζώνες, ειδικά στην μέθοδο Building Resistance, όπου οι κτιριακές δομές ως εμπόδια στη ροή αύξαναν τις ζώνες συγκέντρωσης νερού γύρω τους. Στη μέθοδο Stubby Building, δεν προέκυψαν μεγάλες συγκεντρώσεις νερού, λόγω της καλύτερης διόδευσής του ανάμεσα από τα κτίρια

Σύγκριση Πλέγματος

Το μικρότερο πλέγμα (10 m) έδειξε μεγαλύτερες παροχές κατάντη, σε σχέση με το πλέγμα των 12 m. Ωστόσο, το μοντέλο με το 10 m πλέγμα είχε περισσότερο υπολογιστικό χρόνο (16 ώρες) σε σχέση με το 20m πλέγμα (8 ώρες).

Η σύγκριση των υδρογραφημάτων στον κόμβο που βρίσκεται κατάντη, απεικονίζει διαφορετικούς χρόνους έναρξης της βροχόπτωσης, και διαφορετικούς χρόνους στις παροχές αιμής. Αν η βροχόπτωση ξεκινά σε διαφορετικό χρόνο, οι καμπύλες ανόδου και καθόδου της παροχής δεν μπορούν να είναι απόλυτα συγκρίσιμες μεταξύ τους, με αποτέλεσμα σε κάθε μέθοδο τα έντονα πλημμυρικά συμβάντα να γίνονται σε διαφορετικούς χρόνους.

Τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας αφορούν την μέθοδο Rain-On-Grid και όχι την περίπτωση διόδευσης υδρογραφήματος.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διπλωματική εργασία μελέτησε την επίδραση των κτιριακών υποδομών στη διαμόρφωση των πλημμυρικών ζωνών στον αστικό ιστό της λεκάνης απορροής του Ποδονίφτη, με τη χρήση δυο διαφορετικών μεθόδων μοντελοποίησης κτιρίων, Χαμηλό Κτιριακό Εμπόδιο (Stubby Building) και Αντίσταση Κτιρίων (Building Resistance) στη μοντελοποίηση Βροχή στο Πλέγμα (Rain-on-Grid). Οι συγκρίσεις έδειξαν ότι η μέθοδος Stubby Building δείχνει μια πιο ακριβή αποτύπωση της ροής των όμβριων υδάτων ανάμεσα από τα κτίρια, επιτρέποντας την προσομοίωση την πλημμυρικής ροής σε συνθήκες που αναπαριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια το πραγματικό αστικό περιβάλλον. Αυτή η μέθοδος αποδείχθηκε πιο αποτελεσματική σε προσομοιώσεις αστικού περιβάλλοντος.

Αντίθετα, η μέθοδος Building Resistance, η οποία βασίζεται στην εκτίμηση της αντίστασης των κτιριακών δομών ως φυσικά εμπόδια, τείνει να υπερεκτιμά τις πλημμυρικές ζώνες περιμετρικά των κτιρίων. Αυτή η μέθοδος είναι χρήσιμη για να υπολογίζεται η αντίσταση που ασκούν οι κτιριακές δομές, αλλά υστερεί όταν απαιτείται μια πιο ρεαλιστική αποτύπωση της ροής σε πυκνά δομημένες αστικές περιοχές. Παράλληλα, η αυξημένη τιμή του Manning στην Building Resistance μέθοδο έδειξε ότι η υψηλότερη αντίσταση μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερες αποκλίσεις στην πλημμυρική κατανομή, περιορίζοντας την ακριβή αναπαράσταση της διόδευσης των όμβριων υδάτων.

Όσον αφορά τις παροχές, κυρίως κατάντη, για την μέθοδο Stubby Building το ύψος 5 m έδειξε μεγαλύτερες παροχές σε σύγκριση με την μέθοδο Building Resistance, ενώ το ύψος 12 m έδειξε σχεδόν ίδιες παροχές με την μέθοδο Building Resistance. Αυτό συμβαίνει γιατι στα 12 m τα κελιά είναι μικρότερα και το πρόγραμμα δεν βρίσκει την υψομετρική διαφορά που χρειάζεται ώστε να την υπολογίσει ώστε το νερό να κινείται, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνεται νερό στις στέγες και η παροχή κατάντη να είναι μικρότερη.

Επιπλέον, η συγκριτική ανάλυση των παραμέτρων του CN για τις τιμές CN 80 και CN 100 έδειξε ότι υψηλότερες τιμές συνδέονται με αυξημένη απορροή και ευρύτερη πλημμυρική ζώνη, καθιστώντας τις πιο αντιπροσωπευτικές σε σενάρια με χαμηλή διαπερατότητα όπως οι κτιριακές δομές. Παράλληλα, οι διαφοροποιήσεις στο μέγεθος του πλέγματος έδειξαν ότι μικρότερα πλέγματα (10 m) οδηγούν σε βελτιωμένη ακρίβεια στην προσομοίωση, ενώ η χρήση μεγαλύτερου πλέγματος (20 m) μπορεί να απλοποιεί τη ροή και να παραβλέπει λεπτομέρειες, ειδικά σε περιοχές πυκνής δόμησης.

Συμπερασματικά, η μέθοδος Stubby Building δείχνει ως καταλληλότερη επιλογή στη μοντελοποίηση RoG για προσομοιώσεις πλημμυρών σε αστικό περιβάλλον, ενώ η Building Resistance μπορεί να προσφέρει μια εκτίμηση της αντίστασης των κτιριακών δομών σε ευρύτερες περιοχές με πιο περιορισμένες απαιτήσεις ακρίβειας στη ροή.

Ωστόσο, παραμένουν περιορισμοί που αφορούν την έλλειψη τοπικών δεδομένων επαλήθευσης και την ενδεχόμενη αναγκαιότητα για ενσωμάτωση δυναμικών δεδομένων βροχοπτώσεων, ώστε να ενισχυθεί η ακρίβεια των προσομοιώσεων και η αποτελεσματικότητα της μεθοδολογίας σε πραγματικές συνθήκες πλημμύρας.

Επιπλέον, η RoG εφαρμόζεται σε ένα ενιαίο πλέγμα, χωρίς να διαφοροποιείται σε σημεία όπου μπορεί να χρειαζόταν.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alexopoulos, M. J., Dimitriadis, P., Iliopoulou, T., Bezak, N., Kobold, M., & Koutsoyiannis, D. (2024). Effects of digital elevation model resolution on rain-on-grid simulations: a case study in a Slovenian watershed. *Hydrological Sciences Journal*, *69*(11), 1468–1485. https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2378487

Costabile, P., Costanzo, C., Ferraro, D., & Barca, P. (2021). Is HEC-RAS 2D accurate enough for storm-event hazard assessment? Lessons learnt from a benchmarking study based on rain-on-grid modelling. *Journal of Hydrology*, *603*. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126962

El baida, M., Boushaba, F., Chourak, M., & Hosni, M. (2024). Real-Time Urban Flood Depth Mapping: Convolutional Neural Networks for Pluvial and Fluvial Flood Emulation. *Water Resources Management*, 1–20. https://doi.org/10.1007/S11269-024-03886-W/METRICS

Ennouini, W., Fenocchi, A., Petaccia, G., Persi, E., & Sibilla, S. (2024). A complete methodology to assess hydraulic risk in small ungauged catchments based on HEC-RAS 2D Rain-On-Grid simulations. *Natural Hazards*, *120*(8), 7381–7409. https://doi.org/10.1007/s11069-024-06515-2

Haque, M. I., & Basak, R. (2017). Land cover change detection using GIS and remote sensing techniques: A spatio-temporal study on Tanguar Haor, Sunamganj, Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *20*(2), 251–263. https://doi.org/10.1016/J.EJRS.2016.12.003

Iliadis, C., Glenis, V., & Kilsby, C. (2024). Representing buildings and urban features in hydrodynamic flood models. *Journal of Flood Risk Management*, *17*(1). https://doi.org/10.1111/jfr3.12950

Iliopoulou, T., Dimitriadis, P., & Koutsoyiannis, D. (2023). Pluvial Flood Risk Assessment in Urban Areas: A Case Study for the Archaeological Site of the Roman Agora, Athens. *Heritage*, *6*(11), 7230–7243. https://doi.org/10.3390/heritage6110379

Iliopoulou, T., Koutsoyiannis, D., Malamos, N., Koukouvinos, A., Dimitriadis, P., Mamassis, N., Tepetidis, N., & Markantonis, D. (2024). A stochastic framework for rainfall intensity–time scale–return period relationships. Part II: point modelling and regionalization over Greece. *Hydrological Sciences Journal*, *69*(8), 1092–1112. https://doi.org/10.1080/02626667.2024.2345814

Lin, J., Zhang, W., Wen, Y., & Qiu, S. (2023). Evaluating the association between morphological characteristics of urban land and pluvial floods using machine learning methods. *Sustainable Cities and Society*, *99*. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104891

Macchioli Grande, M., Kaffas, K., Verdone, M., Borga, M., Cocozza, C., Dani, A., Errico, A., Fabiani, G., Gourdol, L., Klaus, J., Manca di Villahermosa, F. S., Massari, C., Murgia, I., Pfister, L., Preti, F., Segura, C., Tailliez, C., Trucchi, P., Zuecco, G., & Penna, D. (2024). Seasonal meteorological forcing controls runoff generation at multiple scales in a Mediterranean forested mountain catchment. *Journal of Hydrology*, *639*, 131642. https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2024.131642

Mark, O., Weesakul, S., Apirumanekul, C., Aroonnet, S. B., & Djordjević, S. (2004). Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding. *Journal of Hydrology*, *299*(3–4), 284–299. https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2004.08.014

Mustafa, A., & Szydłowski, M. (2021). Application of different building representation techniques in HEC-RAS 2-D for urban flood modeling using the Toce River experimental case. *PeerJ*, *9*. https://doi.org/10.7717/peerj.11667

Natural hazards assessment using GIS-case study of Kolubara river basin, Serbia. (2016). http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11069-012-0305-3

Preye Winston Biu, Chinedu Nnamdi Nwasike, Olawe Alaba Tula, Chinedu Alex Ezeigweneme, & Joachim Osheyor Gidiagba. (2024). A review of GIS applications in public health surveillance. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, *21*(1), 030–039. https://doi.org/10.30574/WJARR.2024.21.1.2684

SCS Curve Number Loss Model Basic Concepts and Equations. (n.d.). https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1417.pdf?ver=VFC-

Trivedi, A., Gandhi, M., & Nandeha, N. (n.d.). *APPLICATION OF REMOTE SENSING AND GIS IN PRECISION AGRICULTURE*. https://www.researchgate.net/publication/375289063

Vojinovic, Z., Seyoum, S., Salum, M. H., Price, R. K., Fikri, A. K., & Abebe, Y. (2013). Modelling floods in urban areas and representation of buildings with a method based on adjusted conveyance and storage characteristics. *Journal of Hydroinformatics*, *15*(4), 1150–1168. https://doi.org/10.2166/hydro.2012.181

What is the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction? | UNDRR. (n.d.). Retrieved July 28, 2024, from https://www.undrr.org/implementing-sendai-framework/what-sendai-framework

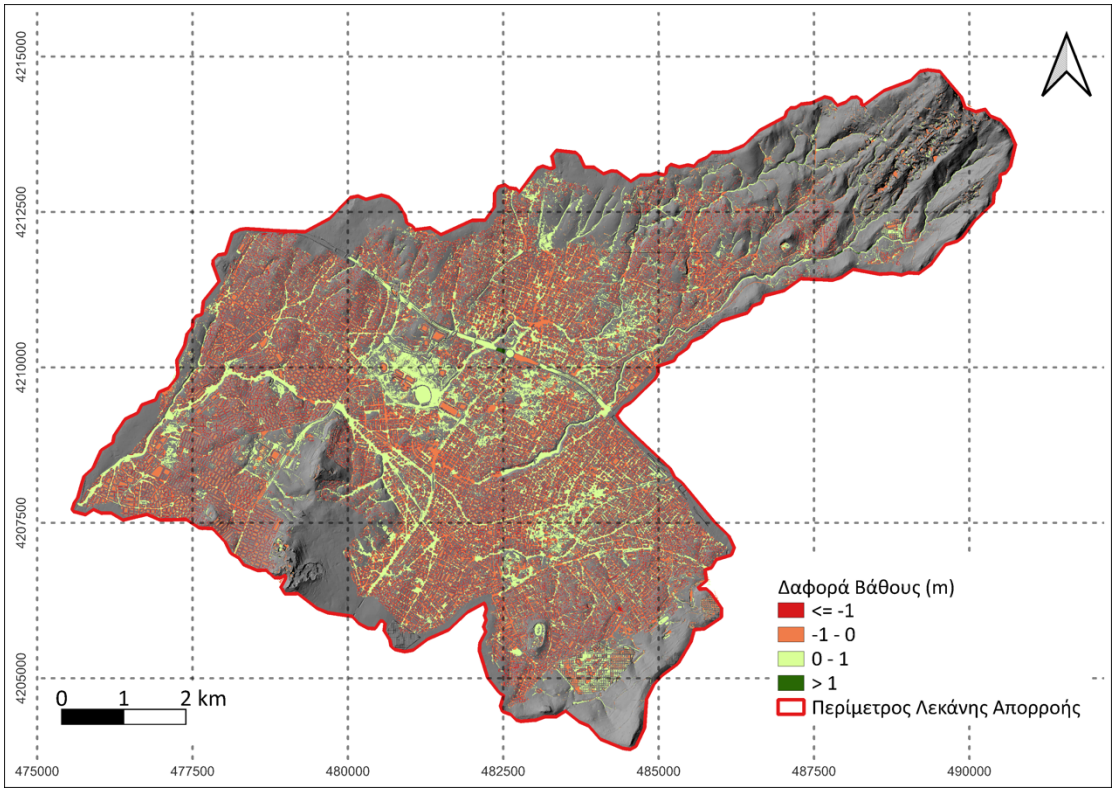
Zeiger, S. J., & Hubbart, J. A. (2021). Measuring and modeling event-based environmental flows: An assessment of HEC-RAS 2D rain-on-grid simulations. *Journal of Environmental Management*, *285*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112125

Zhang, D., Shi, X., Xu, H., Jing, Q., Pan, X., Liu, T., Wang, H., & Hou, H. (2020). A GIS-based spatial multi-index model for flood risk assessment in the Yangtze River Basin, China. *Environmental Impact Assessment Review*, *83*, 106397. https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2020.106397

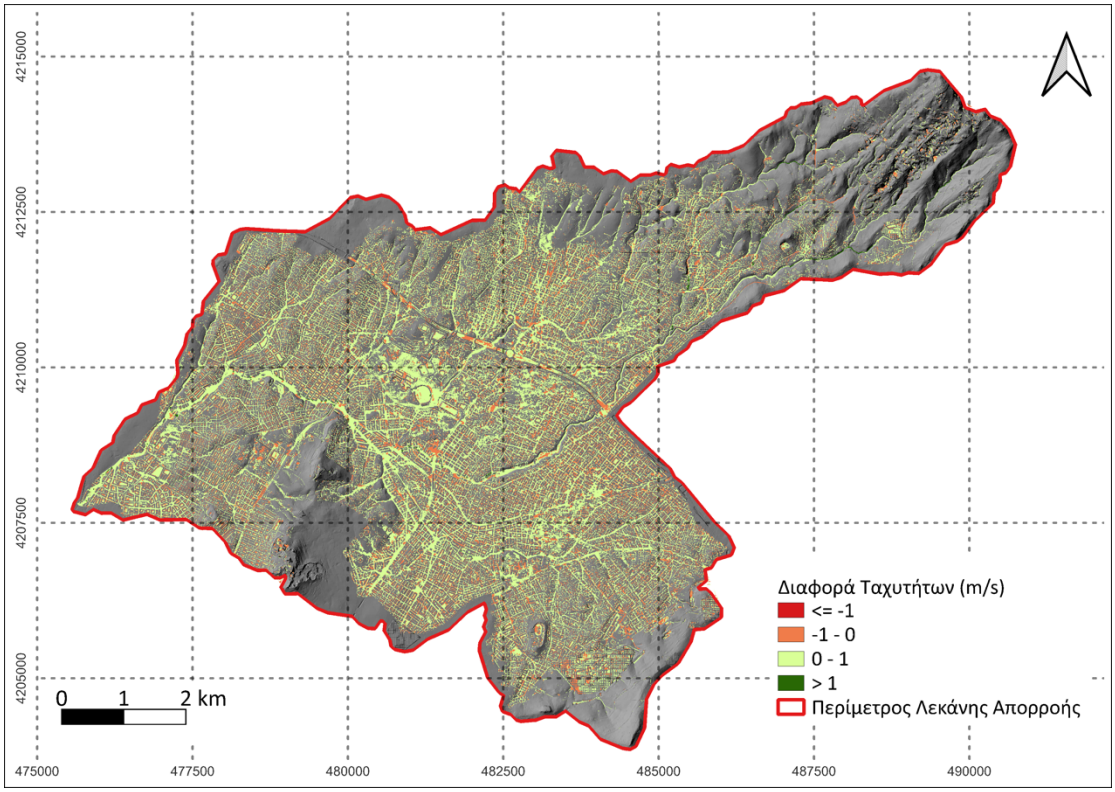
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ – Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. (n.d.). Retrieved July 28, 2024, from https://floods.ypeka.gr/consultation-procedure/

ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας. (n.d.). Retrieved September 26, 2024, from https://floods.ypeka.gr/sdkp-lap/legislation/

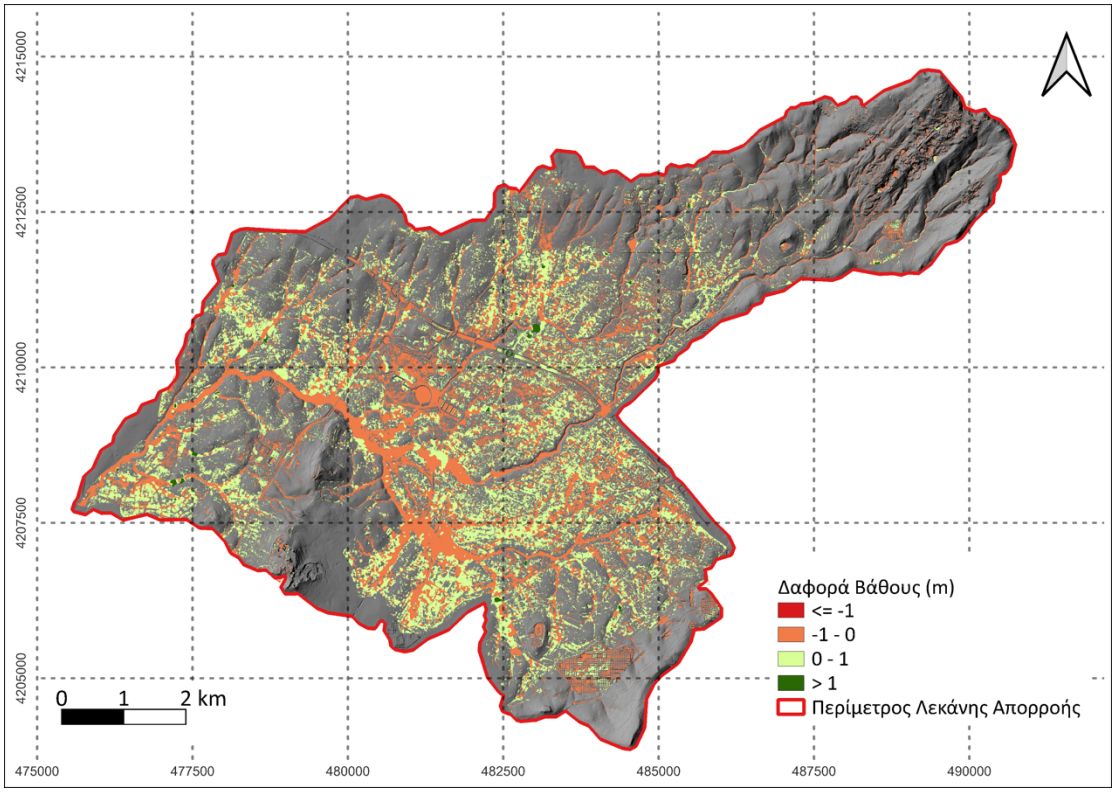
9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



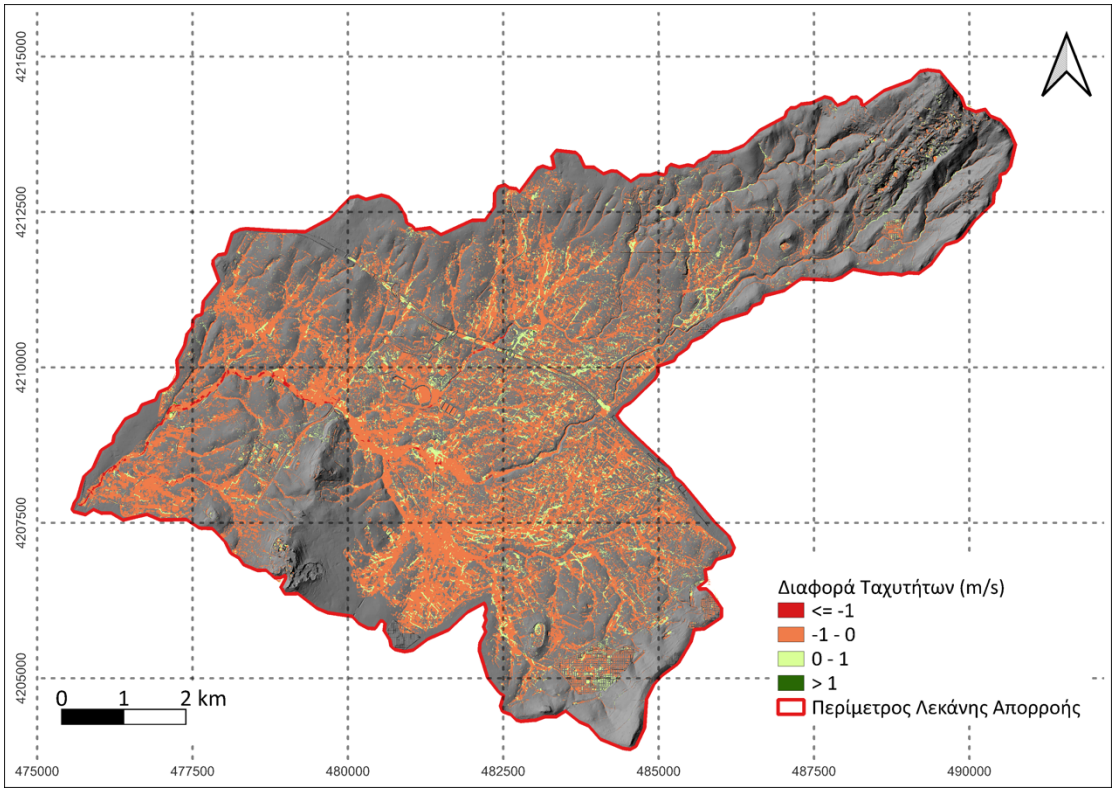
Εικόνα 53: Διαφορά Βάθους 5 m κτίρια- 12 m κτίρια



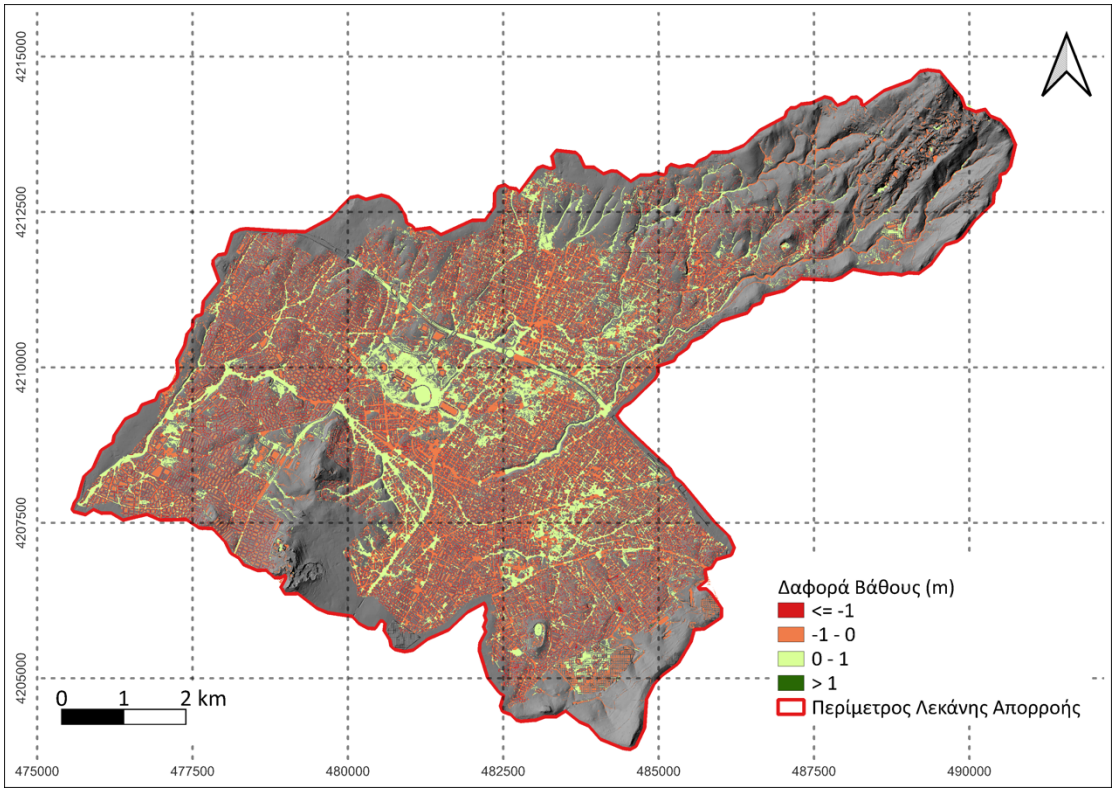
Εικόνα 54: Διαφορά Ταχυτήτων 5 m κτίρια- 12 m κτίρια



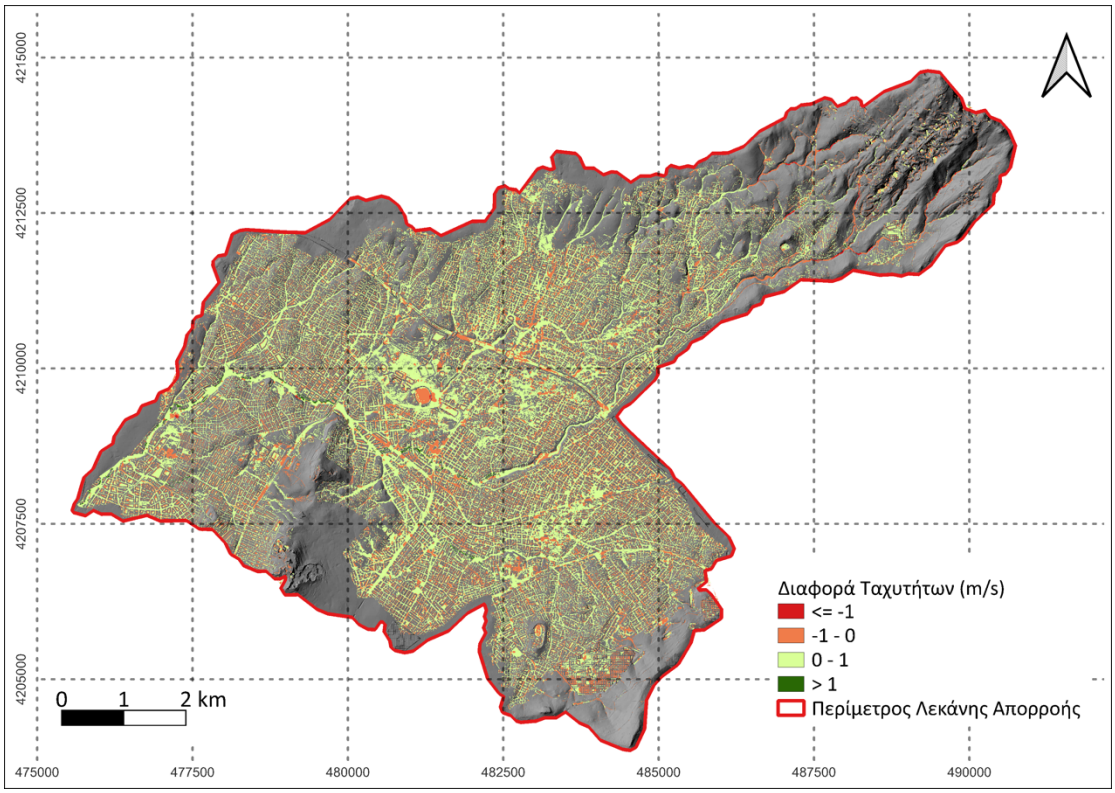
Εικόνα 55: Διαφορά Βάθους Manning 10 - Manning 1



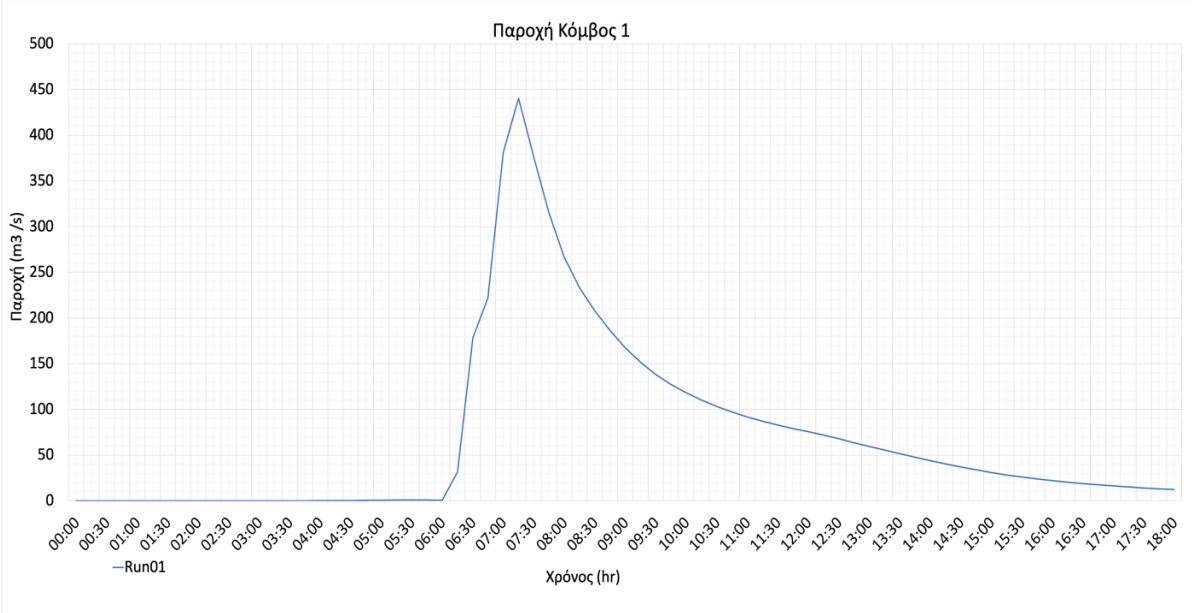
Εικόνα 56: Διαφορά Ταχυτήτων Manning 10 - Manning 1



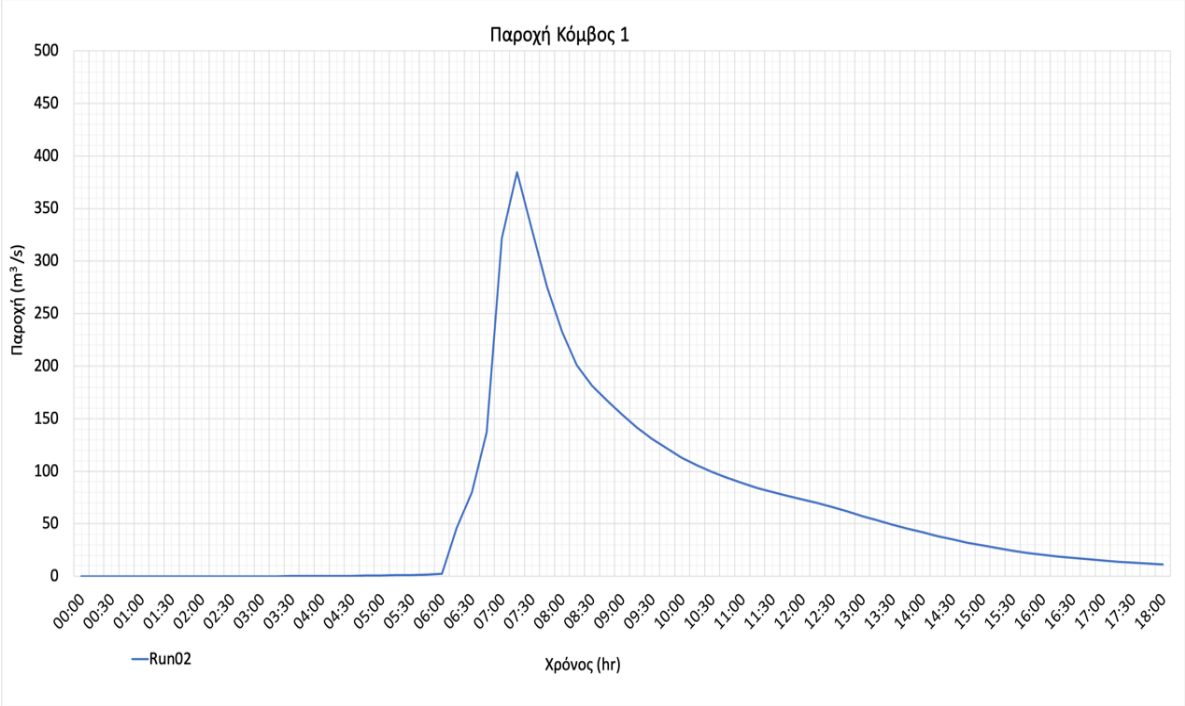
Εικόνα 57: Διαφορά Βάθους 5 m κτίρια- 12 m κτίρια για T1000



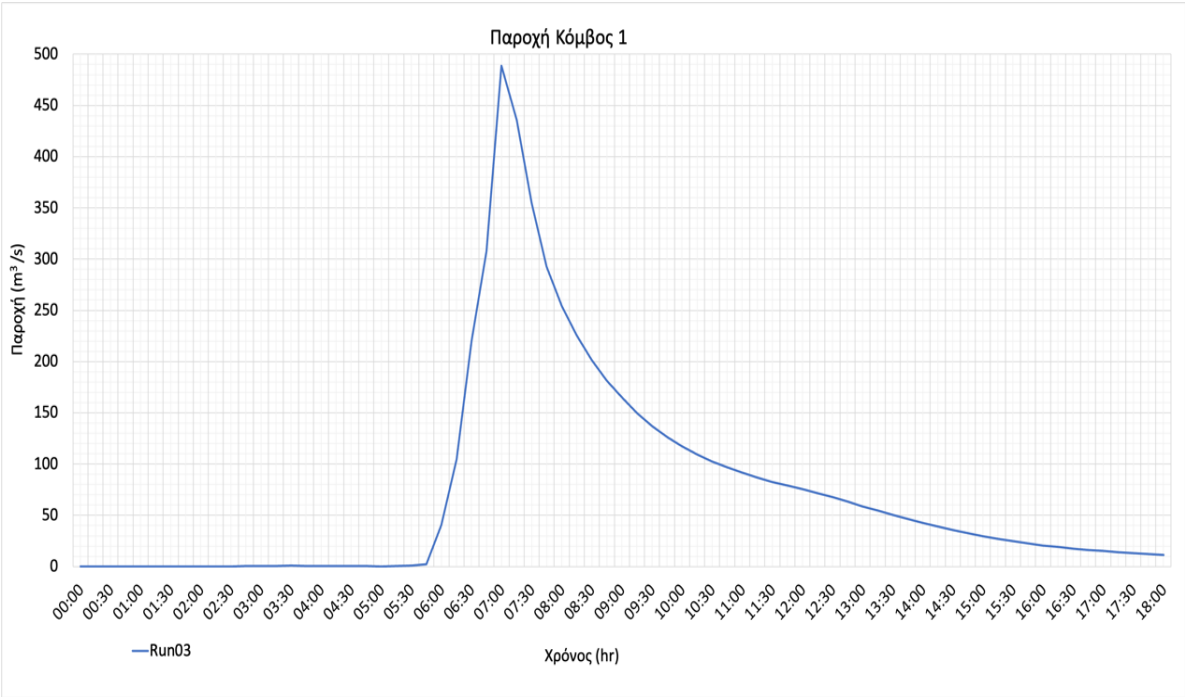
Εικόνα 58: Διαφορά Ταχυτήτων 5 m κτίρια- 12 m κτίρια για T1000



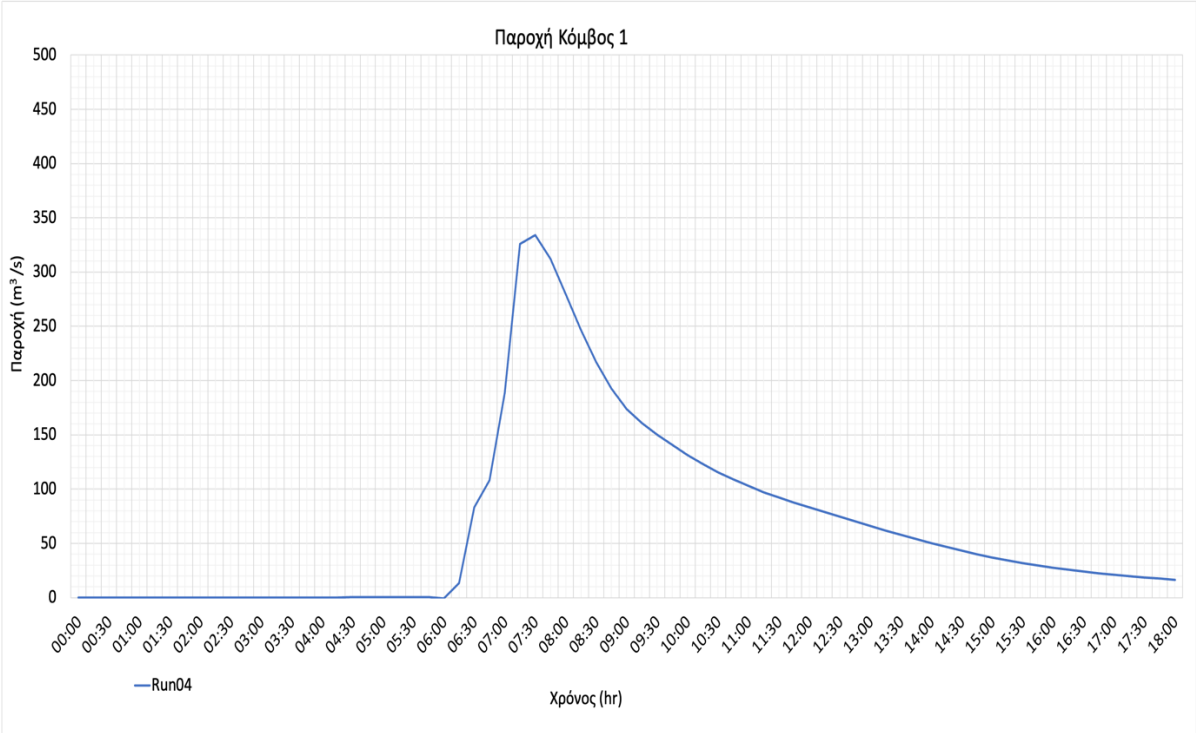
Εικόνα 59: Παροχές 20 m πλέγμα χωρίς κτίρια στον Κόμβο 1



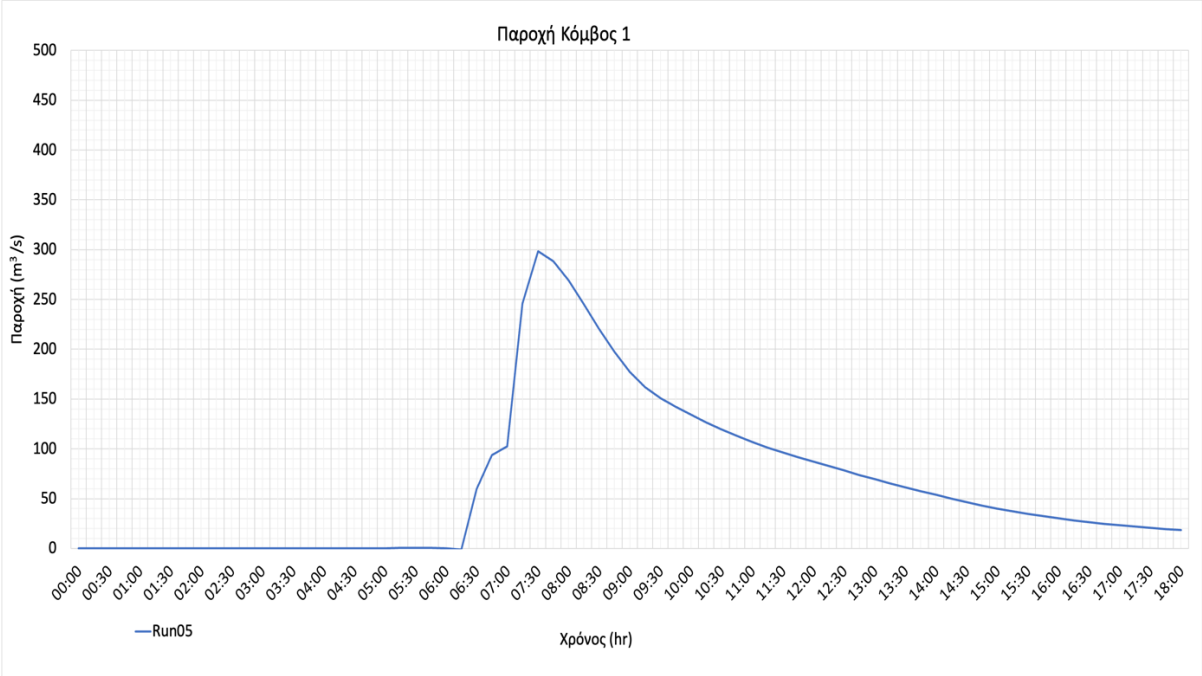
Εικόνα 60: Παροχές 10 m πλέγμα χωρίς κτίρια στον Κόμβο 1



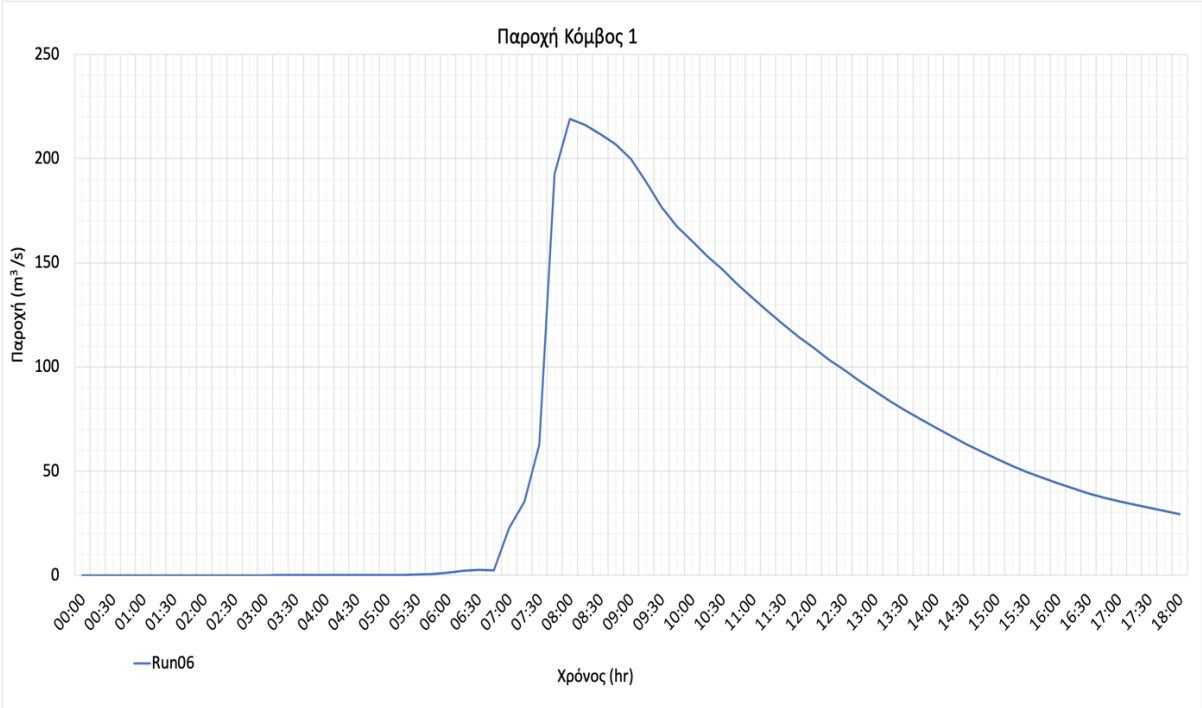
Εικόνα 61: Παροχές CN 100 χωρίς κτίρια στον Κόμβο 1



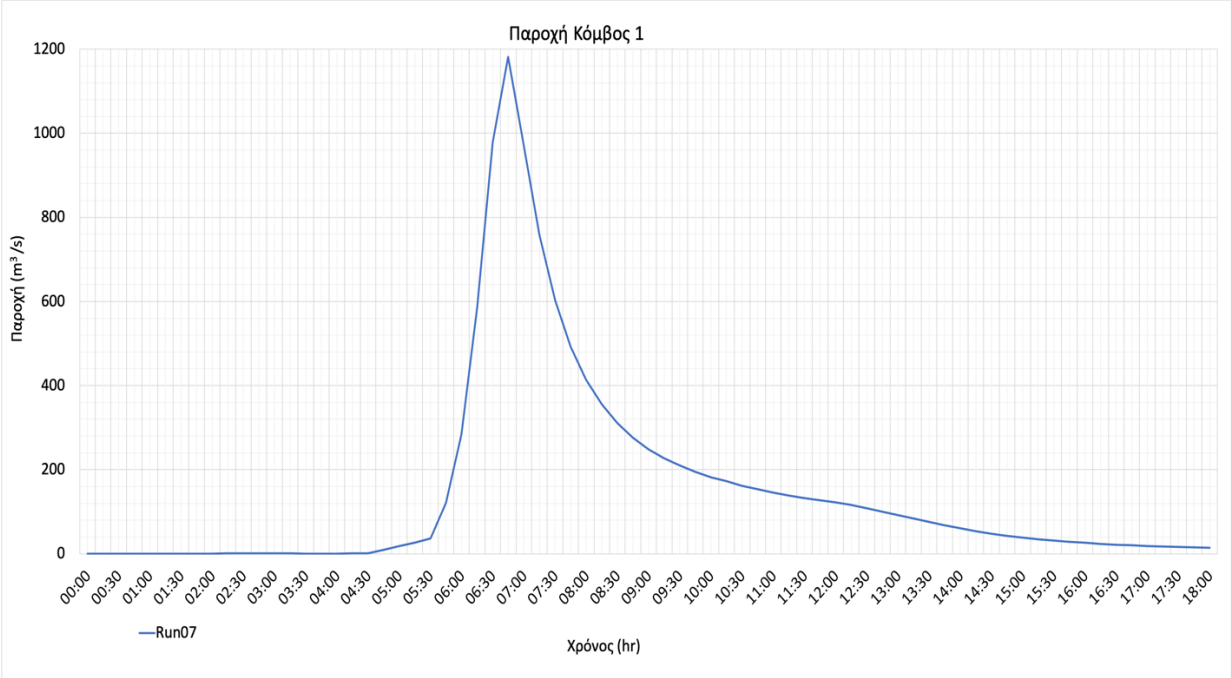
Εικόνα 62: Παροχές 5 m κτίρια στον Κόμβο 1



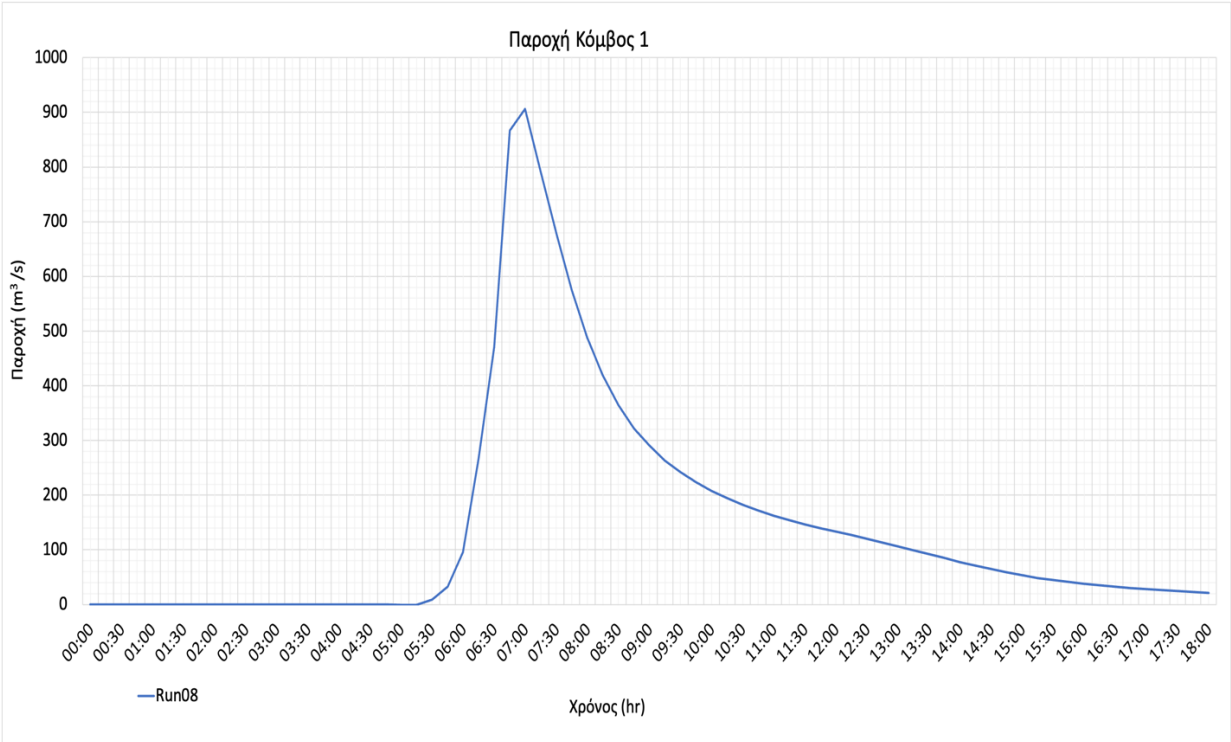
Εικόνα 63: Παροχές 12 m κτίρια στον Κόμβο 1



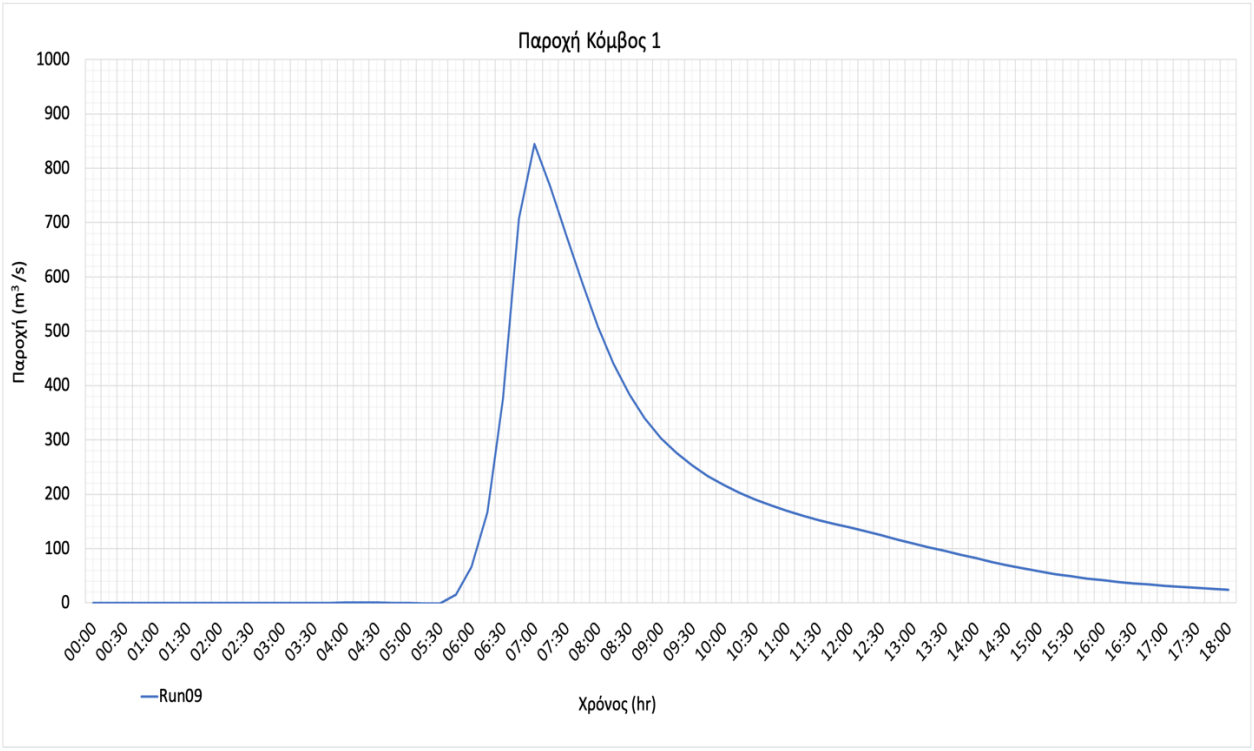
Εικόνα 64: Παροχές Manning 10 στον Κόμβο 1



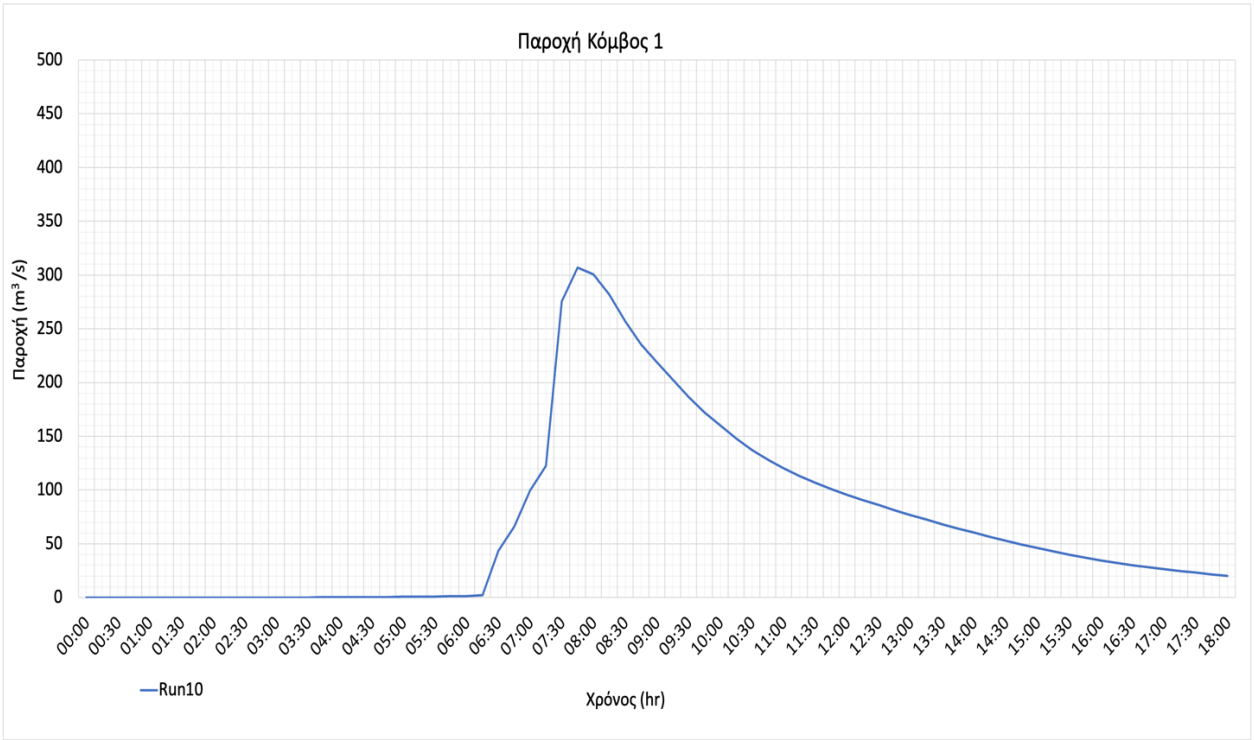
Εικόνα 65: Παροχές Τ1000, CN 100στον Κόμβο 1



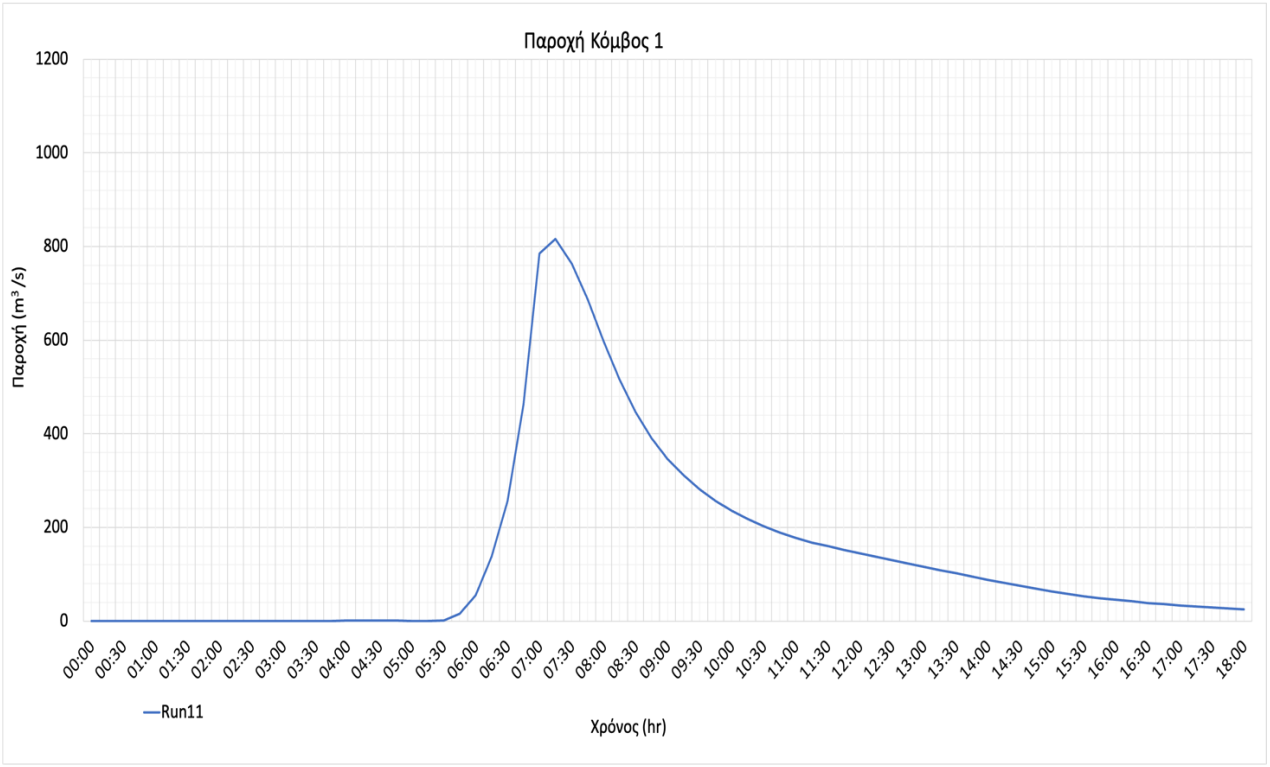
Εικόνα 66: Παροχές Τ1000, 5 m κτίρια στον Κόμβο 1



Εικόνα 67: Παροχές T1000, 12 m κτίρια στον Κόμβο 1



Εικόνα 68: Παροχές Manning 1 στον Κόμβο 1



Εικόνα 69: Παροχές Manning 1, T1000 στον Κόμβο 1