

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ « ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ – ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΓΚΑΙΡΗΣ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΑΝΤΙ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Κωνσταντίνος Γ. Παπουλάκος

Αθήνα, Νοέμβριος 2024

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

Επιβλέπων: Ομ. Καθηγητής Α. Στάμου



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων

Εκτίμηση κρίσιμης βροχόπτωσης με χρήση υδρολογικών – υδροδυναμικών προσομοιώσεων και εφαρμογή στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης έναντι πλημμυρών Κωνσταντίνος Παπουλάκος



Επιβλέπων:

Αναστάσιος Στάμου, Ομ. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2024



National Technical University of Athens School of Civil Engineering Master of Science in Water Resources Science and Technology

Estimation of critical rainfall for flood early warning systems using hydrologic and hydrodynamic modeling

Konstantinos Papoulakos



Supervisor:

Anastasios Stamou, Em. Professor, NTUA

Athens, November 2024

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΩΝ – ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΓΚΑΙΡΗΣ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΝΑΝΤΙ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

 $K\Omega N\Sigma TANTINO\Sigma \Pi A\Pi OYAAKO\Sigma$

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΣΤΑΜΟΥ, ΟΜ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2024

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING

INTERDEPARTMENTAL PROGRAM OF POSTGRADUATE STUDIES "WATER RESOURCES SCIENCE AND TECHNOLOGY"

MASTER THESIS

ESTIMATION OF CRITICAL RAINFALL FOR FLOOD EARLY WARNING SYSTEMS USING HYDROLOGIC AND HYDRODYNAMIC MODELING

KONSTANTINOS PAPOULAKOS

SUPERVISOR:

ANASTASIOS STAMOU, EM. PROFESSOR, NTUA

ATHENS, NOVEMBER 2024

Copyright © Κωνσταντίνος Παπουλάκος, 2024 Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας από το ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του.

Copyright © Konstantinos Papoulakos, 2024 All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this master thesis by the Interdepartmental Program of Postgraduate Studies Water Resources Science and Technology of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organization.



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <u>http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/</u> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

Konstantinos Papoulakos, 2024

Cover: Alfred Sisley, 'Flood at Port-Marly', 1872. Artist: Alfred Sisley, 1839 - 1899. Collection of Mr. and Mrs. Paul Mellon, Accession Number 1985.64.38, oil on canvas. Image Use: This image is in the public domain.

Minor changes were made. Link to the license: https://www.nga.gov/collection/art-object-page.66436.html

Ευχαριστίες / (Acknowledgments in Greek)

Με την περάτωση της παρούσας εργασίας ολοκληρώνεται ο κύκλος των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο αντικείμενο της Επιστήμης και Τεχνολογίας Υδατικών Πόρων. Οι ακαδημαϊκές και τεχνικές εμπειρίες που αποκόμισα είμαι σίγουρος ότι θα με συνοδεύουν καθ' όλη τη διάρκεια της επαγγελματικής μου πορείας (και όχι μόνο) και για το λόγο αυτό είμαι ευγνώμων σε όλους τους καθηγητές, διδάσκοντες, συμφοιτητές και συναδέλφους με τους οποίους μοιράστηκα αυτό το ταξίδι.

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου εκτίμηση και τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα της εργασίας μου, Ομότιμο Καθηγητή ΕΜΠ κ. Αναστάσιο Στάμου, καθώς και τον συν-επιβλέποντα της, Καθηγητή ΕΜΠ κ. Ευάγγελο Μπαλτά για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος ερευνητικού αντικειμένου. Καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εν λόγω εργασίας, ο χρόνος που μου αφιέρωσαν, οι συζητήσεις που πραγματοποιήσαμε καθώς και οι συμβουλές που μοιράστηκαν μαζί μου, σε ακαδημαϊκό αλλά και προσωπικό επίπεδο, ήταν ανεκτίμητες και τους ευχαριστώ βαθύτατα γι' αυτό. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το τρίτο μέλος της εξεταστικής επιτροπής της εργασίας, Επίκουρο Καθηγητή ΕΜΠ κ. Μιχαήλ Χονδρό, για τα δόκιμα σχόλια και παρατηρήσεις του επί του τελικού κειμένου. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον Γεώργιο Μητσόπουλο, διδάκτωρ ΕΜΠ, και την Αιμιλία Θεοχάρη, υποψήφια διδάκτωρ ΕΜΠ, καθώς η συνεισφορά τους στην αντιμετώπιση καίριων ζητημάτων που προέκυψαν κατά την εκπόνησή της εργασίας αποδείχθηκαν καθοριστικής σημασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τη σύντροφό μου, Ειρήνη, που με γεμίζει καθημερινά με αγάπη, ασφάλεια και σιγουριά, καθώς και την οικογένειά μου, για την αστείρευτη υποστήριξη τους στην κατάκτηση νέων κορυφών.

Κωνσταντίνος Παπουλάκος Αθήνα, Οκτώβριος 2024

Περιεχόμενα

Περίληψη	εργασίας	i
Extended	abstract (Εκτεταμένη περίληψη στην Αγγλική)	ii
1. Εισ	αγωγή	1
1.1.	Αντικείμενο εργασίας	1
1.2.	Σημεία καινοτομίας	1
1.3.	Διάρθρωση εργασίας	2
2. Φυ	σικές καταστροφές και διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου	4
2.1.	Συνιστώσες εκτίμησης της ευαλωτότητας έναντι πλημμυρών	4
2.2.	Συνιστώσες εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου	5
2.3.	Ολοκληρωμένη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου	7
3. Βαα (ΣΕΠΠ)	σικές αρχές σχεδιασμού Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης έναντι Πλημμυ	ιρών 9
3.1.	Εισαγωγή	9
3.2.	Υδρομετεωρολογικό δίκτυο παρακολούθησης	11
3.2.1.	Δίκτυα μετρήσεων βροχόπτωσης, στάθμης και παροχής	
3.2.2. 3.2.3.	Δικτυα ρανταρ καιρου Δίκτυο δορυφόρων	
3.3.	Υποδομή τηλεπικοινωνιακών δικτύων	14
3.4.	Χρήση κατάλληλων λογισμικών και υλικοτεχνικής υποδομής	15
3.5.	Διαδικασία έκδοσης προειδοποιήσεων ενός ΣΕΠΠ	16
3.5.1.	Η μέθοδος «Ready, Set, Go»	16
3.5.2.	Διαχείριση αβεβαιότητας σε επιχειρησιακό πλαίσιο	17
4. Χρή διαμοιρασ	ήση νέων τεχνολογιών στα ΣΕΠΠ: Εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης και εθελοντ σμού δεδομένων	ιικού 19
4.1.	Λογική βάση και κύριες έννοιες	20
4.2.	Τεχνολογικές καινοτομίες	21
4.3. 4.3.1. αντλο 4.3.2.	Εφαρμογές στο πεδίο των πλημμυρών Παρακολούθηση αστικής πλημμύρας με χρήση υπερ-αναλυτικών δεδομένων ούνται από τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης και άλλες πηγές crowdsourcing Απεικόνιση έκτασης πλημμύρας και σύγκριση δορυφορικών δεδομένων με	22 που 22
αντίσ	τοιχα από πηγές crowdsourcing	25

	4.3.3. πλημι	Βαθμονόμηση υδροδυναμικών μοντέλων και εκτίμηση πραγματικού χρόνου αιχμή μιοονοαφάματος	ις 26
	4.3.4.	Σχεδιασμός και χρήση εφαρμονής android για σκοπούς άντλησης δεδομένων	20
	crowd	sourcing με σκοπό τη θωράκιση έναντι πλημμυρικών φαινομένων	28
5.	Ηε	τιστήμη των πλημμυρών ταχείας απόκρισης	31
-	5 1		21
	5.1.		21
	5.2.	Χαρακτηριστικές εδαφικές διεργασίες και υδρολογικά μεγέθη που υπεισέρχοντ 	ται
(5 2 1	τολογισμους	31 31
	5.2.2.	Επιρροή των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής	33
1	5 3		25
•	5.3.1.	Τοπικό Σύστημα Προειδοποίησης Πλημμυρών (Local Flood Warning System, LFWS) 36)
	5.3.2.	Η μέθοδος Flash Flood Guidance (FFG)	38
_			
6.	δ3Δ	ομένα	42
(5.1.	Περιοχή μελέτης	42
(5.2.	Υδρολογικά και γεωχωρικά δεδομένα	46
7.	Με	θοδολογία	48
7.	Με(7.1.	θοδολογία Όμβριες καμπύλες	48 48
7.	Με(7.1. 7.2.	Ͽοδολογία Όμβριες καμπύλες Υπολογισμός υετογραφήματος σχεδιασμού	48 48 49
7.	Με(7.1. 7.2. 7.3.	Θοδολογία Όμβριες καμπύλες Υπολογισμός υετογραφήματος σχεδιασμού Υπολογισμός υδρολογικών απωλειών και ενεργού βροχόπτωσης	48 48 49 50
7.	Με(7.1. 7.2. 7.3. 7.4.	Θοδολογία Όμβριες καμπύλες Υπολογισμός υετογραφήματος σχεδιασμού Υπολογισμός υδρολογικών απωλειών και ενεργού βροχόπτωσης Υδροδυναμική προσομοίωση	48 49 50 52
7.	Με(7.1. 7.2. 7.3. 7.4. 7.5.	Θοδολογία Όμβριες καμπύλες Υπολογισμός υετογραφήματος σχεδιασμού Υπολογισμός υδρολογικών απωλειών και ενεργού βροχόπτωσης Υδροδυναμική προσομοίωση Υπολογισμός δείκτη κινδύνου	48 49 50 52 55
7.	Με(7.1. 7.2. 7.3. 7.4. 7.5. 7.6.	Θοδολογία Όμβριες καμπύλες Υπολογισμός υετογραφήματος σχεδιασμού Υπολογισμός υδρολογικών απωλειών και ενεργού βροχόπτωσης Υδροδυναμική προσομοίωση Υπολογισμός δείκτη κινδύνου Σενάρια συνδυασμών διάρκειας βροχόπτωσης, συνολικής βροχόπτωσης και εδαφικ	48 49 50 52 55
7.	Με(7.1. 7.2. 7.3. 7.4. 7.5. 7.6. υγρασία	Θοδολογία Όμβριες καμπύλες Υπολογισμός υετογραφήματος σχεδιασμού Υπολογισμός υδρολογικών απωλειών και ενεργού βροχόπτωσης Υδροδυναμική προσομοίωση Υπολογισμός δείκτη κινδύνου Σενάρια συνδυασμών διάρκειας βροχόπτωσης, συνολικής βροχόπτωσης και εδαφικ ς	48 49 50 52 55 :ής 57
7.	Με(7.1. 7.2. 7.3. 7.4. 7.5. 7.6. υγρασία 7.7.	Όμβριες καμπύλες Υπολογισμός υετογραφήματος σχεδιασμού Υπολογισμός υδρολογικών απωλειών και ενεργού βροχόπτωσης Υδροδυναμική προσομοίωση Υδροδυναμική προσομοίωση Υπολογισμός δείκτη κινδύνου Σενάρια συνδυασμών διάρκειας βροχόπτωσης, συνολικής βροχόπτωσης και εδαφικ ς Υπολογισμός κρίσιμης βροχόπτωσης	48 49 50 52 55 55 57 58
7.	Με(7.1. 7.2. 7.3. 7.4. 7.5. 7.6. υγρασία 7.7.	Ομβριες καμπύλες Υπολογισμός υετογραφήματος σχεδιασμού Υπολογισμός υδρολογικών απωλειών και ενεργού βροχόπτωσης Υδροδυναμική προσομοίωση Υπολογισμός δείκτη κινδύνου Σενάρια συνδυασμών διάρκειας βροχόπτωσης, συνολικής βροχόπτωσης και εδαφικ ς Υπολογισμός κρίσιμης βροχόπτωσης Διαγραμματική παρουσίαση του εφαρμοζόμενου ΣΕΠΠ	 48 49 50 52 55 57 58 58
7.	Με(7.1. 7.2. 7.3. 7.4. 7.5. 7.6. υγρασία 7.7. 7.8. 7.9.	Θοδολογία Υπολογισμός υετογραφήματος σχεδιασμού Υπολογισμός υδρολογικών απωλειών και ενεργού βροχόπτωσης Υδροδυναμική προσομοίωση Υπολογισμός δείκτη κινδύνου Σενάρια συνδυασμών διάρκειας βροχόπτωσης, συνολικής βροχόπτωσης και εδαφικ ς Υπολογισμός κρίσιμης βροχόπτωσης Διαγραμματική παρουσίαση του εφαρμοζόμενου ΣΕΠΠ Περιορισμοί χρήσης εφαρμοζόμενου ΣΕΠΠ	 48 49 50 52 55 57 58 58 60
7.	Με(7.1. 7.2. 7.3. 7.4. 7.5. 7.6. υγρασία 7.7. 7.8. 7.9.		 48 49 50 52 55 57 58 58 60 61
7.	Με(7.1. 7.2. 7.3. 7.4. 7.5. 7.6. υγρασία 7.7. 7.8. 7.9. 7.10. 7.10.	Ο δοδολογία	 48 49 50 52 55 57 58 58 60 61 61
7.	Με 7.1. 7.2. 7.3. 7.4. 7.5. 7.6. υγρασία 7.7. 7.8. 7.9. 7.10. 7.10.1 7.10.2	 Ασδολογία	 48 49 50 52 55 57 58 60 61 63
7.	Με 7.1. 7.2. 7.3. 7.4. 7.5. 7.6. υγρασία 7.7. 7.8. 7.9. 7.10. 7.10.1 7.10.2 7.10.3	3οδολογία Όμβριες καμπύλες	 48 49 50 52 55 57 58 60 61 63 64

8	3.1.	Παραγωγή υετογραφημάτων69
8	3.2.	Παραγωγή υδρογραφημάτων75
9.	Υδρ	οδυναμική ανάλυση92
9	9.1.	Ανάλυση ευαισθησίας βάσει αριθμού CN για d=24h και I=370mm92
0	9.2.	Ανάλυση ευαισθησίας βάσει κατάστασης εδαφικής υγρασίας για d=12h και I=300mm 94
9	9.3. του θα τ	Σύγκριση ιστορικού επεισοδίου βροχόπτωσης 8 ^{ης} Αυγούστου 2020 με το αντίστοιχο τροέκυπτε με τη μέθοδο εναλλασσόμενων μπλοκ96
9	9.4. 3ροχόπτ	Σύγκριση σεναρίων με διαφορετικές διάρκειες βροχόπτωσης αλλά ίση συνολική ωση100
<u>و</u> 	9.5. 3ροχόπτ	Σύγκριση σεναρίων ίδιας διάρκειας βροχόπτωσης αλλά διαφορετικής συνολικής ωσης
10	. Προ	ειδοποίηση έναντι πλημμύρας με εκτίμηση της κρίσιμης βροχόπτωσης106
	10.1.	Υπολογισμός κρίσιμης βροχόπτωσης106
-	10.2.	Παράδειγμα λειτουργίας συστήματος προειδοποίησης109
11	. Συμ	περάσματα111
-	11.1.	Δυνατότητες και προοπτικές της χρήσης νέων τεχνολογιών στα ΣΕΠΠ
	11.2.	Συμπεράσματα υδρολογικής ανάλυσης111
	11.3.	Συμπεράσματα υδραυλικής ανάλυσης113
-	11.4.	Εφαρμογή συστήματος προειδοποίησης114
	11.5.	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα115
12	. Ανα	ιφορές116
13	. Παρ	ράρτημα119
:	13.1. στην Ελλ	Πίνακας Π-1: Επικρατούντες υδρολογικοί εδαφικοί τύποι των κυριότερων πετρωμάτων ιάδα (πηγή: floods.ypeka.gr)119
: 1	13.2. του εδά	Πίνακας Π-2 Τιμές αριθμού καμπύλης απορροής CN βάσει της ομάδας διηθητικότητας φους και της φυτοκάλυψης (Πηγή: YΠΕΝ, CORINE)119
-	13.3.	Υετογραφήματα εξεταζόμενων σεναρίων121
	13.4.	Πίνακας Π-3 Μέγιστες εκτιμώμενες παροχές Qmax (m³/s) εξεταζόμενων σεναρίων.132
	13.5.	Πίνακας Π-4 Τιμές συντελεστή Manning για τον εκάστοτε κωδικό χρήσης γης

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2.1 Το εννοιολογικό μοντέλο Source-Pathway-Receptor-Consequence-Model (SPRC-Model) (ICE, 2001,
τροποποιημένο)
Εικόνα 2.2 Στάδια επιχειρησιακής λειτουργίας ενός συστήματος διαχείρισης κινδύνου (Eikenberg, 1998,
τροποποιημένο)
Εικόνα 3.1 Τα συστατικά ενός ΣΕΠ έναντι πλημμυρών (UCAR, 2010, τροποποιημένο)
Εικόνα 3.2 Οι προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή δικτύου ραντάρ σε έδαφος με υψομετρικές
διακυμάνσεις (UCAR, 2010, τροποποιημένο)
Εικόνα 4.1 Διάγραμμα όπου παρουσιάζεται ο ημερήσιος όγκος των αναρτήσεων στο Twitter που σχετίζονται με
το εξεταζόμενο πλημμυρικό φαινόμενο και ο αντίστοιχος αριθμός των αναρτήσεων με υπερ-υψηλή ανάλυση
(Wang et al., 2018, τροποποιημένο)
Εικόνα 4.2 Σύγκριση ανάμεσα στα δεδομένα crowdsourcing με τα δεδομένα κυκλοφορίας οδών της
εξεταζόμενης περιοχής (Wang et al., 2018, τροποποιημένο)
Εικόνα 4.3 Οι τέσσερις πρώτες φωτογραφίες παρουσιάζουν τα τέσσερα σημεία πλησίον της περιοχής της θέσης
3 της εικόνας 4.2, όπου λανθασμένα ο αλγόριθμος Μηχανικής Όρασης θεώρησε ότι δεν υπάρχει πλημμύρα. Η
δεξιά φωτογραφία παρουσιάζει πλημμύρα κατά την οποία ο αλγόριθμος θεώρησε λανθασμένα ότι είναι κανάλι
υδατος σε φυσιολογικες συνθηκες (Wang et al., 2018, τροποποιημενο).
Εικονα 4.4 Χρονική κατανομή των διαφορών πήγων δεδομένων που εξεταστήκαν. Τα δορυφορικά δεδομένα
απεικονιζονται ως κατακορυφά ευθυγραμμά τμημάτα, μιας και εκάστο εκφράζει μια ημερησιά τιμη (Panteras
and Cervone, 2018, $\tau \rho \sigma \pi \sigma \pi \sigma \eta \mu \epsilon v \sigma$).
εικονα 4.5 Χαρτης συσχετισης (neatmap) που εξηχθη βασει των αναρτησεών στο Twitter κατα τη οιαρκεία που
$\frac{1}{2}$
κατακλιστεί (Panteras and Cervone, 2018, τροποποιημένο)20
ποταμό Coballos στην περιοχή Pio Coballos στην Δουριτινή στις 15 Φεβρομαρίου 2015. Στην εικόνα (b) είναι
ποταμό ceballos στην περιοχή πιο ceballos στην Αργεντινή στις 15 Φερροσαρίου 2015. 2την εικονα (b) είναι
zμψανή τα σημασία που σταμορφωσηκαν στη πηφή κατα την ανακοσή της με σκοπο την εξαγωγή z
συμπερασματών σχετικά με τα συρασπικά χαρακτηριστικά της ροης (Le Coz et al., 2010, τροποποιημένο) 27 Εικόνα 4.7 Διαδογικές φωτονοαφίες όπου ευμέσως αναδεικνύεται η επίδραση του πλημιμοονοαφήματος στο
βάθος της πλημιμόρας, με συνέπεια να μπορεί να εκτιμηθεί ο χρόνος εκδήλωσης της αιχιμής (Le Coz et al. 2016)
τοοποποιομένο)
εικόνα 4.8 Μεθοδολογία και προσφερόμενες υπηρεσίες ΜΑρρΕRS: με μωβ χρώμα απεικονίζεται η ενότητα
«Έκτακτη ανάγκη και διάσωση», με μπλε η ενότητα «Crowdsourcing» και με πράσινο η ενότητα «Στάδιο
προετοιμασίας για ενδεχόμενη πλημμύρα» (Frigerio et al., 2018, τροποποιημένο)
Εικόνα 5.1 Η διαδικασία πρόβλεψης πλημμυρών (UCAR, 2010, τροποποιημένο).
Εικόνα 5.2 Η διηθητική συμπεριφορά του εδάφους, εξαρτώμενη από τη σύσταση (υφή) του (UCAR, 2010,
τροποποιημένο).
Εικόνα 5.3 Η επιρροή του βάθους στο οποίο βρίσκεται το βραχώδες υλικό κάτω από την επιφανειακή στρώση
του εδάφους είναι σημαντική στην επιφανειακή απορροή (UCAR, 2010, τροποποιημένο)
Εικόνα 5.4 Η επιρροή του μεγέθους μιας εξεταζόμενης λεκάνης στην απορροή (UCAR, 2010, τροποποιημένο). 34
Εικόνα 5.5 Η επιρροή της γεωμετρίας μιας εξεταζόμενης λεκάνης στην παροχή αιχμής (UCAR, 2010,
τροποποιημένο)
Εικόνα 5.6 Μέθοδος FFG: Καμπύλη ύψους βροχόπτωσης και απορροής για τρεις διαφορετικές διάρκειες
βροχόπτωσης (UCAR, 2010, τροποποιημένο)
Εικόνα 5.7 Υποθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα στο οποίο επισημαίνεται το στάδιο της πλημμύρας (UCAR,
2010, τροποποιημένο)
Εικόνα 5.8 Καθορισμός του ορίου απορροής (ThreshR) (UCAR, 2010, τροποποιημένο)
Εικόνα 5.9 Παράδειγμα καμπύλης βροχόπτωσης – απορροής βάσει μοντέλου απορροής (UCAR, 2010,
τροποποιημένο)
Εικόνα 6.1 Το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07) (πηγή: https://floods.ypeka.gr/)
Εικόνα 6.2 Οι επτά λεκάνες απορροής από τις οποίες αποτελείται το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς
Ελλάδας (EL07) (πηγή: https://floods.ypeka.gr/)
Εικόνα 6.3 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) της Λεκάνης Απορροής του Λήλαντα ποταμού (Μανδραβέλλος,
2022)

Εικόνα 6.4 Μέσες και ακραίες τιμές υετού και θερμοκρασίας για την περιοχή της Εύβοιας (πηγή: metec	blue.gr).
Εικόνα 6.5 Μέσες και ακραίες τιμές ταχύτητας ανέμου για την περιοχή της Εύβοιας (πηγή: meteoblue.g Εικόνα 6.6 Οι θέσεις των τεχνικών έργων μείζονος σημασίας στην περιοχή μελέτης (ΣΔΚΠ, 2017)	45 gr) 45 46
Εικόνα 6.7 Το Μοναδιαίο Υδρογράφημα της λεκάνης απορροής του Λήλαντα Ποταμού (Μανδραβέλλος	;, 2022). 46
 Εικόνα 6.8 Το Υετογράφημα του επεισοδίου βροχόπτωσης που εξελίχθηκε την 8 ^η Αυγούστου 2020 στην	
εξεταζόμενη περιοχή μελέτης (Μανδραβέλλος, 2022)	
Εικόνα 7.1 Διάγραμμα ροής της διαδικασίας που ακολουθείται για την έκδοση ή μη προειδοποίησης έν	/αντι
κινδύνου πλημμύρας για μία εξεταζόμενη περιοχή μελέτης (Huang et al., 2019, τροποποιημένο)	59
Εικόνα 7.2 Συστατικά στοιχεία ενός Σ.Γ.Π. (Κάβουρας κ.α., 2016)	
Εικόνα 7.3 Χάρτης χρήσεων γης κατά Corine (2018) στην εξεταζόμενη περιοχή μελέτης	
Εικόνα 7.4 Χάρτης συντελεστών Manning n στην εξεταζόμενη περιοχή μελέτης	
Εικόνα 7.5 Το διαμορφούμενο μοντέλο μέσω των εργαλείων 2D Flow Area και 2D Area Boundary Condi	tion
Lines	
Εικόνα 7.6 Οι οριακές συνθήκες που εφαρμόστηκαν σε όλα τα εξεταζόμενα σενάρια	
Εικόνα 7.7 Παράμετροι του εργαλείου Run Unsteady Flow Analysis	
Εικόνα 7.8 Το εργαλείο RASter Calculator του HEC-RAS, μέσω του οποίου υπολογίστηκε ο δείκτης κινδύ	νου ΗΙ.
Εικόνα 8.1 Παραχθέν υετογράφημα που αντιστοιχεί στο σενάριο d=6h και I=200mm	
Εικόνα 8.2 Σύγκριση παραχθέντων και εξεταζόμενων υετογραφημάτων που αντιστοιχούν σε διάρκεια	
βροχόπτωσης d=1h και συνολικού ύψους βροχόπτωσης από 40 έως 110mm	70
Εικόνα 8.3 Σύγκριση παραχθέντων και εξεταζόμενων υετογραφημάτων που αντιστοιχούν σε διάρκεια	
βροχόπτωσης d=3h και συνολικού ύψους βροχόπτωσης από 70 έως 175mm	71
Εικόνα 8.4 Σύγκριση παραχθέντων και εξεταζόμενων υετογραφημάτων που αντιστοιχούν σε διάρκεια	
βροχόπτωσης d=6h και συνολικού ύψους βροχόπτωσης από 80 έως 240mm	71
Εικόνα 8.5 Σύγκριση παραχθέντων και εξεταζόμενων υετογραφημάτων που αντιστοιχούν σε διάρκεια	
βροχόπτωσης d=8h και συνολικού ύψους βροχόπτωσης από 90 έως 310mm. Στο άνω διάγραμμα	
παρουσιάζεται όλο το χρονικό εύρος του υετογραφήματος, ενώ στο κάτω, για λόγους ευκρίνειας, έχει ε	επιλεχθεί
το χρονικό διάστημα από 2,5 έως 5,5 ώρες	72
Εικόνα 8.6 Σύγκριση παραχθέντων και εξεταζόμενων υετογραφημάτων που αντιστοιχούν σε διάρκεια	
βροχόπτωσης d=12h και συνολικού ύψους βροχόπτωσης από 120 έως 300mm. Στο άνω διάγραμμα	
παρουσιάζεται όλο το χρονικό εύρος του υετογραφήματος, ενώ στο κάτω, για λόγους ευκρίνειας, έχει ε	επιλεχθεί
το χρονικό διάστημα από 4,5 έως 7,5 ώρες	73
Εικόνα 8.7 Σύγκριση παραχθέντων και εξεταζόμενων υετογραφημάτων που αντιστοιχούν σε διάρκεια	
βροχοπτωσης d=24h και συνολικου υψους βροχοπτωσης απο 150 εως 390mm. Στο ανω διαγραμμα	/
παρουσιαζεται ολο το χρονικό ευρός του υετογραφηματός, ενώ στο κάτω, για λόγους ευκρινείας, εχει ε	επιλεχθει
το χρονικό διαστημά από 10 εως 14 ωρες	
Εικονα 8.8 Υδρογραφημα εξεταζομένου επεισοδίου βροχοπτώσης 8ης Αυγουστου 2020 για όλα τα εξετ	αζομενα
σεναρια CN και για τις τρεις πιθανες καταστασεις υγρασιας εδαφους (ξηρη, κανονικη, υγρη) Επόμειο ο ο διάστασταστά σταστασεις υγρασιας εδαφους (ξηρη, κανονική, υγρη)	
Εικονα 8.9 Διαγραμμα-στηλη μεγιστων παροχων Q _{max} για το σεναριο διαρκειας βροχοπτωσης d=8h και	
συνολικής βροχοπτώσης I=290mm για όλα τα εξετάζομενα σενάρια CN και για τις τρεις πιθάνες κατάστ	ασεις
υγρασιας εσαφους (ξηρη, κανονική, υγρη)	
Εικονα 8.10 Διαγραμμα-στηλη μεγιστων παροχων Q _{max} για το σεναριο διαρκειας βροχοπτωσης d=12h κ	αι
συνολικής βροχοπτώσης I=280mm για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και για τις τρείς πιθάνες κατάστ 	ασεις
υγρασιας εσαφους (ξηρη, κανονική, υγρη)	
Είκονα 8.11 Διαγραμμα-στηλή μεγίστων παροχών Q _{max} για το σενάριο διαρκείας βροχοπτώσης α=24η κ	άισοιο
ουνολικής ρμοχολιώσης τ=530πτη για όλα τα εξεταξόμενα σεναρία CN και για τις τρείς πιθάνες κατάστ προσσίας εδάφομε (Speá, κατομικά, προή)	αυεις
υγρασιας εσαφους (ςιρη, κανονικη, υγρη)	/ð
εικύνα σ.12 Διαγραμμα μεγιστών παρόχων α _{max} για το σενάριο σιαρκείας ρροχοπτωσης α=80 και συνο. Βροχόπτωσης I=200mm για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN γαι για τις τρεις πιθανές γαταστάσεις γγορ	λικης
ρροχολιώσης τ-250μμη για όλα τα εξεταξόμενα σεναρία είν και για τις τρεις λισανές καταστάσεις σγρο	ισιας /=av∔h
εσαφούς τζημή, κανονική, στρήμ, στο οποίο έχουν προσαρμοστεί οι αντιστοίχες τραμμές τάσης τοπού γ	78

Εικόνα 8.13 Διάγραμμα μεγίστων παροχών Q_{max} για το σενάριο διάρκειας βροχόπτωσης d=12h και συνολικής βροχόπτωσης I=280mm για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και για τις τρεις πιθανές καταστάσεις υγρασίας εδάφους (ξηρή, κανονική, υγρή), στο οποίο έχουν προσαρμοστεί οι αντίστοιχες γραμμές τάσης τύπου y=ax+b. Εικόνα 8.14 Διάγραμμα μεγίστων παροχών Q_{max} για το σενάριο διάρκειας βροχόπτωσης d=24h και συνολικής βροχόπτωσης I=390mm για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και για τις τρεις πιθανές καταστάσεις υγρασίας εδάφους (ξηρή, κανονική, υγρή) , στο οποίο έχουν προσαρμοστεί οι αντίστοιχες γραμμές τάσης τύπου y=ax+b. Εικόνα 8.15 Διάγραμμα μεγίστων παροχών Q_{max} για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια μεταβολής του CN, συνθηκών πρότερης υγρασίας εδάφους και συνολικού ύψους βροχόπτωσης για διάρκεια βροχόπτωσης d=24h, στο οποίο έχουν προσαρμοστεί οι αντίστοιχες γραμμές τάσης τύπου y=ax+b......80 Εικόνα 8.16 Υετογράφημα επεισοδίου 8^{ης} Αυγούστου 2020 και του αντίστοιχου που θα προέκυπτε με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ, για ίση διάρκεια βροχόπτωσης (8 ωρών) και συνολικού ύψους Εικόνα 8.17 Υδρογραφήματα που προκλήθηκαν από το επεισόδιο βροχόπτωσης της 8ης Αυγούστου 2020 (διάρκειας 8 ωρών) και ενός ακόμα αντίστοιχου που θα προέκυπτε αν το ίδιο ύψος βροχόπτωσης είχε επιμεριστεί χρονικά με διαφορετικό τρόπο, πάλι σε διάστημα 8 ωρών, αλλά αυτή τη φορά με τη μέθοδο των Εικόνα 8.18 Υδρογραφήματα που παράγονται από διάρκεια βροχόπτωσης d=12h για το πραγματικό CN, Εικόνα 8.19 Υδρογραφήματα που παράγονται από διάρκεια βροχόπτωσης d=24h για το πραγματικό CN, Εικόνα 8.20 Υδρογραφήματα που παράγονται από διάρκεια βροχόπτωσης d=24h για το πραγματικό CN, ξηρή Εικόνα 8.21 Υδρογραφήματα που παράγονται από διάρκεια βροχόπτωσης d=24h για το πραγματικό CN, υγρή Εικόνα 8.22 Υδρογραφήματα που παράγονται από διάρκεια βροχόπτωσης d=24h για το πραγματικό CN, για τις Εικόνα 8.23 Διάγραμμα αθροιστικής παροχής – χρόνου για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια συνολικού ύψους Εικόνα 8.24 Αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής πλημμυρικού όγκου για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια Εικόνα 8.25 Πιθανότητα μη υπέρβασης αθροιστικών παροχών για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια συνολικού ύψους βροχόπτωσης για χρονική διάρκεια d=24h......87 Εικόνα 8.26 Διάγραμμα αθροιστικής παροχής – χρόνου για d=24h, I=390mm και για όλα τα εξεταζόμενα Εικόνα 8.27 Πιθανότητα μη υπέρβασης αθροιστικών παροχών για d=24h, I=390mm και για όλα τα εξεταζόμενα Εικόνα 8.28 Σύγκριση υδρογραφημάτων με ίσο συνολικό ύψος βροχόπτωσης αλλά διαφορετικής διάρκειας Εικόνα 8.29 Θερμικοί χάρτες (heatmaps) παροχών (m³/s) για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια βροχόπτωσης, διάρκειας βροχόπτωσης d=1h, d=3h, και d=8h (CN πραγματικό, κανονική κατάσταση υγρασίας). Σημειώνεται ότι Εικόνα 8.30 Θερμικός χάρτης (heatmap) παροχών (m³/s) για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια βροχόπτωσης, διάρκειας βροχόπτωσης d=24h (CN πραγματικό, κανονική κατάσταση υγρασίας)..... Εικόνα 9.1 Μέγιστα βάθη ροής για d=24h, I=370mm και όλα τα σενάρια CN (κανονικές συνθήκες πρότερης Εικόνα 9.2 Μέγιστες ταχύτητες ροής για d=24h, I=370mm και όλα τα σενάρια CN (κανονικές συνθήκες πρότερης Εικόνα 9.4 Μέγιστες ταχύτητες ροής για d=12h, I=300mm και όλα τα σενάρια πρότερης εδαφικής υγρασίας... 96 Εικόνα 9.5 Μέγιστα βάθη ροής για το ιστορικό επεισόδιο της 8/8/2020 και αντίστοιχο που θα προέκυπτε με

πτε
99
διας
101
ιλλά
102
104
105
106
αι / =
108
αι /=
109

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 6.1 Στοιχεία αντιπροσωπευτικού βροχομετρικού σταθμού για την κατάρτιση της όμβριας καμπύλης της
περιοχής μελέτης (πηγή: floods.ypeka.gr)
Πίνακας 7.1 Σενάρια και εφαρμογή ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή του αριθμού CN από -5% έως +10%.52
Πίνακας 7.2 Τα σενάρια συνδυασμών διάρκειας βροχόπτωσης, συνολικής βροχόπτωσης και εδαφικής υγρασίας που εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία
Πίνακας 7.3 Καθορισμός αρχικής κατάστασης εδαφικής υνρασίας πριν το εξεταζόμενο νενονός βροχόπτωσης.
σύμφωνα με τα αθροιστικά ύψη βροχής του προηγούμενη πενθημέρου (SCS, 1972, τροποποιημένο)
αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς T=252 57 έτη
Πίνακας 9.1 Πίνακας μέγιστου και μέσου βάθους για d=24h, I=370mm και όλα τα σενάρια CN (κανονικές συνθήκες πρότερης υνοασίας)
Πίνακας 9.2 Πίνακας μέγιστου και μέσου βάθους για d=12h, l=300mm και όλα τα σενάρια συνθηκών πρότερης
εδαφικής υγρασίας (Ι, ΙΙ, ΙΙΙ)
Πίνακας 9.3 Πίνακας μέγιστου και μέσου βάθους για τα εξεταζόμενα σενάρια της ιστορικής βροχόπτωσης και της αντίστοιχης που θα προέκυπτε με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ για όλες τις καταστάσεις
πρότερης εδαφικής υγρασίας
Πίνακας 9.4 Πίνακας μέγιστου και μέσου βάθους για τα εξεταζόμενα σενάρια ίδιας συνολικής βροχόπτωσης
αλλά διαφορετικής διάρκειας βροχόπτωσης
Πίνακας 9.5 Πίνακας μέγιστου και μέσου βάθους για τα εξεταζόμενα σενάρια ίδιας διάρκειας βροχόπτωσης
αλλα οιαφορετικές ουνολικής ποσοτήτας βροχοπτωσής
Πινακάς 10.1 Πινακάς πληροφοριών σχετικά με τη διαδικάσια προγνώσης και αξιολογήσης της βροχοπτώσης.

Περίληψη εργασίας

Οι πλημμύρες αποτελούν έναν από τους σοβαρότερους κινδύνους φυσικών καταστροφών παγκοσμίως. Δύνανται να εμφανιστούν μέσα σε μερικές ώρες ή λεπτά και μπορούν να κινηθούν με πολύ υψηλές ταχύτητες ροής, προκαλώντας σφοδρές καταστροφές με μη επαρκή ή ακόμα και μηδενική προειδοποίηση. Η έγκαιρη προειδοποίηση έναντι των πλημμυρών είναι εξαιρετικά σημαντική για την ελάττωση του συνεπακόλουθου κινδύνου και απαιτεί τη γνώση της κρίσιμης βροχόπτωσης που είναι ικανή να παράξει πλημμύρα, η οποία συνήθως μπορεί να θεωρηθεί ως «δείκτης προειδοποίησης». Οι μικρές χωρικές και χρονικές κλίμακες στις οποίες συμβαίνουν τέτοια φυσικά φαινόμενα καθιστούν δύσκολη την πρόβλεψη της κρίσιμης βροχόπτωσης, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα με φτωχά δεδομένα, όπου ενδέχεται να μην είναι διαθέσιμα μοντέλα καιρού υψηλής ανάλυσης και προηγμένα δίκτυα παρακολούθησης.

Σε αυτή την εργασία, παρουσιάζεται μια μεθοδολογία για την εκτίμηση της κρίσιμης βροχόπτωσης, με εφαρμογή στις πλημμύρες, με βάση ένα ολοκληρωμένο υδρολογικό-υδροδυναμικό μοντέλο. Το μοντέλο και η εφαρμοζόμενη μεθοδολογία υλοποιείται στη λεκάνη απορροής του Λήλαντα ποταμού στην Εύβοια για ένα σχετικά μεγάλο αριθμό σεναρίων συνδυασμών βροχοπτώσεων συνθηκών υγρασίας εδάφους με σκοπό (1) τον προσδιορισμό υδρογραφημάτων εισόδου που χρησιμοποιούνται ως οριακές συνθήκες για το υδροδυναμικό μοντέλο και (2) για τον υπολογισμό της κατανομής του «κρίσιμου κινδύνου» στα κελιά του διδιάστατου (2D) υπολογιστικού πεδίου, ο οποίος ορίζεται συνδυάζοντας τα κύρια υδροδυναμικά χαρακτηριστικά που είναι το βάθος και η ταχύτητα ροής. Τέλος, βάσει του υπολογισμένου «κρίσιμου κινδύνου», γίνεται εκτίμηση των τιμών κρίσιμης βροχόπτωσης για την επιλεχθείσα περιοχή μελέτης και παρουσιάζεται ένα παράδειγμα λειτουργίας του εφαρμοζόμενου συστήματος προειδοποίησης έναντι πλημμυρών.

Λέξεις-κλειδιά: Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης πλημμυρών, κρίσιμη βροχόπτωση, υδρολογικήυδροδυναμική μοντελοποίηση, μοντέλο βροχής-απορροής, διδιάστατο υδροδυναμικό μοντέλο.

Extended abstract (Εκτεταμένη περίληψη στην Αγγλική)

Introduction

The significance of designing and implementing a Flood Early Warning System (FEWS) is indisputable. However, few countries have practically implemented flood warning systems, partly due to the technical complexity of predicting with sufficient accuracy and lead time, which are necessary for the effective operation of such systems. Early flood warning is crucial for mitigating associated risks and relies on understanding the critical rainfall thresholds that can trigger floods, often serving as a key "warning index." Estimating critical rainfall is particularly challenging due to the small spatial and temporal scales of such phenomena, especially in data-scarce regions where high-resolution weather models and advanced monitoring networks are lacking.

The greatest challenge for an FEWS lies in striking a balance between issuing flood forecasts or warnings well in advance and ensuring that such warnings are both successful and accurate, while also ensuring that the system as a whole maintains the highest possible reliability, especially in the eyes of those receiving these warnings. The longer the lead time of a warning, the less accurate the prediction may be. Warnings must be highly reliable so that users do not doubt their validity and take appropriate action. On the other hand, delays in issuing a warning can result in catastrophic losses. Decision-makers in such situations tend to err on the side of caution, opting to issue warnings even for events with high uncertainty regarding their occurrence, due to the risk of major losses in the event of inadequate warning and all the consequences that may follow.

It should be noted that "false" warnings—those issued without an actual flood event occurring—incur significant economic costs and undermine the overall credibility of an FEWS. However, in general, they are far less costly than a scenario in which a flood occurs without any warning. Authorities must be prepared to issue warnings, even when there is a high level of uncertainty regarding the possible occurrence of an event, as the information required to reduce this uncertainty may become available only shortly before an adverse event occurs. In such cases, there may even be fatalities due to the lack of a timely official warning, which did not allow sufficient time for the recipients of the message to react.

Data

The study area of this research is the Lilandas River Basin in Euboea, which belongs to the water district of Eastern Central Greece (EL07). More specifically, it is a subset of the Euboea basin (EL0719), with a total hydrological catchment area of 920 km².

The Lilandas River basin (Figure 0.1), which is examined in this study, is located within the boundaries of the Chalkida municipality. It originates from the Dirfi – Xirovouni – Olympos mountains and flows through the plateaus of Kathenoi – Mistros – Theologos, eventually reaching the Lilandio plain and discharging into the Euboean Gulf. Regarding the elevations within this basin, the minimum elevation is 0.5 m, the maximum is 1,411 m, and the average elevation is 352 m, with a total area of 252 km². The main river's length is estimated at 34 km, and the average morphological slope is 16° (Mandravellos, 2022). Additionally, in terms of the area's geological characteristics, the basin's soils are classified as type C, meaning they have a low infiltration rate.

The Unit Hydrograph (UH) of the study area, with a duration of 0.5 hours, was obtained from Mandravellos (2022), who estimated it using the isochronal curve method, resulting in the following key characteristics (Figure 0.2):

- Peak discharge: 46 m³/s
- Peak time: 11:30 hours after the onset of the event

Additionally, following a relevant request, geospatial data (digital elevation model DEM) for the Lilandas River basin in Euboea, as well as for the broader study area, with a precision of 5 x 5 m, were provided by the Hellenic Cadastre S.A. for the purposes of this study.

The Curve Number (CN) was estimated at 77.80 through a relevant analysis conducted using ArcGIS software. Moreover, the hyetograph (Figure 0.3) that caused significant damages on August 8, 2020, in the area near the mouth of the Lilandas River was obtained from Mandravellos (2022). The total rainfall amounted to 294 mm, and the event lasted for 8 hours.





Figure 0.2 The Unit Hydrograph of the Lilandas River Basin (Mandravellos, 2022).



Figure 0.3 The Hyetograph of the rainfall event that occurred on August 8, 2020, in the study area (Mandravellos, 2022).

Finally, this study utilized the rainfall intensity-duration-frequency (IDF) curves developed by the Ministry of Environment and Energy and the Special Secretariat for Water in the "Flood Risk Management Plan for the River Basin Districts of Eastern Central Greece (EL07)" (1st cycle). For the formulation of the IDF curve for the study area, data were sourced from the Kato Steni station, which was considered representative of the entire Lilandas River Basin, as it is centrally located (Table 0.1).

HU	CODE	NAME			Х	Y		Z
GR07	286	KATO STENI		ENI 484702.31		4268908.5		331.8
	к	λ΄	ψ	,	θ	η		
	0.097	375.79	0.70)7	0.124	0.62	2	

Table 0.1 Data from the representative rain gauge station used for the development of the IDF curve for the study area (source: floods.ypeka.gr)

Methodology

The design hyetograph is generated using the IDF curves for the region and applying the alternating block method, as described by Chow et al. (1988). This method determines the incremental rainfall depths for specific durations based on the IDF curve of the basin under consideration, corresponding to the return period of the study and a time scale equal to the given rainfall duration. The aim is to arrange the incremental rainfall depths in such a way as to result in a realistic yet sufficiently adverse combination. The basis for applying both methods is that, for each specific duration, the resulting rainfall depth has the same return period as the final (total) rainfall depth.

In a flood event, the condition of the ground, in terms of land use, soil type, and soil moisture, plays a major role in the intensity and potential damage to both urban and rural areas. This study employs the empirical SCS method, developed in 1954 by the U.S. Soil Conservation Service, which is based on the runoff curve number (CN). To construct the land use map of the examined basin, the shapefile provided by the CORINE website was used, along with ArcGIS software. Based on the above values, and in a GIS environment, a runoff curve number (CN) map is created for the soil-vegetation complex in the examined basin. Subsequently, to derive a weighted average curve number (CN) for the basin under the assumption of uniform soil type and land use, the following equation is used:

$$CN_{II} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{A_i}{A} \cdot CN_i \right) \tag{7.7}$$

where A_i is the area of sub-basin i, A is the total area of the catchment, and CN_i is the runoff curve number of sub-basin i. The CN for the examined basin has been estimated at 77.80, through a relevant analysis conducted using ArcGIS software. Additionally, the study includes a sensitivity analysis for three more CN scenarios, as presented below:

Scenarios /	i	ii	iii	Change
Conditions	Dry	Normal	Wet	Change
CN _{real}	59.55	77.80	88.96	0%
CN1	54.33	73.91	86.69	-5%
CN2	65.20	81.69	91.12	+5%
CN3	71.37	85.58	93.17	+10%

Table 0.2 Scenarios and application of sensitivity analysis for variations of the CN from -5% to +10%.

In the current methodology, the calculation of critical rainfall is proposed as an indicator for issuing alerts in the developed early warning system (Huang et al., 2019). Critical rainfall is calculated through the hazard index (HI), which is derived from the results of the hydrodynamic model. It is noted that the hazard index, according to the literature, is not only used for calculating critical rainfall but also serves as a decisive factor for issuing a "preparation for evacuation" (PE) alert or a "direct evacuation" (DE) order (Cao et al., 2010).

Several methods for estimating flood hazard have been reported in the literature (Xia et al., 2011), but the most commonly used method has been proposed by the Defra and Environment Agency of the United Kingdom (Defra and Environment Agency, 2006), which was modified by Huang et al. (2019). The methodology of the Defra and Environment Agency utilizes flow depth, flow velocity, and the presence of sediment as indicators for quantifying flood hazard, based on the following relationship:

$$HI = h (U + 1.5) + DF$$
(0.1)

όπου:

- *HI* is the hazard index,
- h (m) is the flow depth,
- $U = \sqrt{u^2 + v^2}$ (m/s) is the flow velocity, and
- *DF* is the debris factor, which has characteristic values of 0, 1, and 2, depending on the likelihood that debris will lead to a significantly increased flood hazard.

The values of the parameter HI are divided into four classes:

- HI < 0.75,
- 0.75 < HI < 1.25,
- 1.25 < *HI* < 2.0, και
- HI > 2.0

and the assessment of flood hazard is also categorized into four levels based on the above classes:

- For HI < 0.75, the hazard is low and only simple monitoring is required.
- For 0.75 < HI < 1.25, the hazard is significant for certain groups of citizens, including children, the elderly, and other vulnerable populations.
- For 1.25 < HI < 2.0, the hazard is significant for most groups of citizens, including the general population.
- For HI > 2.0, the hazard is significant for all groups of citizens (including emergency services).

Considering that the presence of debris is a common occurrence in rapid response floods, a representative value of the debris factor DF is set at 1.0. Thus, the relationship from which the hazard index is derived is simplified to the following:

$$HI = h (U + 1.5) \tag{0.2}$$

Where, as before:

- *HI* is the hazard index,
- h (m) is the flow depth, and
- $U = \sqrt{u^2 + v^2}$ (m/s) is the flow velocity.

For the flood warning system to be implemented in this study, two levels of risk are established, at which two critical hazard indicators HI_c are defined:

- $HI_c = 0.5$, which corresponds to the "evacuation preparation" level (EP), and
- $HI_c = 1.0$, which corresponds to the "immediate evacuation" level (IE).

It is noted that the values of the critical hazard indicators HI_c were 1.5 and 2.0, respectively, in the study proposed by the Defra and Environment Agency, corresponding to the warning levels for "evacuation preparation" (EP) and "immediate evacuation" (IE). The difference lies in whether or not the debris factor is calculated, which was considered constant in this study, suitably modifying the examined relationship of the hazard index, as presented above.

In total, the study examined 180 scenarios based on:

- The duration of rainfall,
- The total rainfall,
- The initial soil moisture conditions (dry, normal, wet).

In more detail, the examined scenarios are presented in the table below:

Rainfall duration (h)	Total rainfall (mm)	Scenarios	Soil moisture
1	40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110	8	
3	70, 85, 100, 115, 130, 145, 160, 175	8	Initial cail maistura
6	80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240	9	conditions: dn/
8	90, 110, 130, 150, 170, 190, 210, 230, 250, 270, 290, 310	12	normal wat
12	120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300	10	normal, wet
24	150, 170, 190, 210, 230, 250, 270, 290, 310, 330, 350, 370, 390	13	

Table 0.3 The scenarios of combinations of rainfall duration, total rainfall, and soil moisture applied in this study.

Having the goal of identifying total rainfall values capable of causing high-intensity flooding events, depending on the duration of rainfall, the above scenarios were structured to correspond to return periods from 5 to at least 500 years. Additionally, given that the concentration time of the Lildanta River basin (based on the Giandotti equation) is estimated to be approximately 7 hours, rainfall durations of up to 24 hours were selected for hydrological consistency, meaning up to three times the concentration time. Finally, the correlation, interdependence, and calculation of the above quantities were based on the produced rainfall curve for the study area.

The objective of the methodology is to create a critical rainfall database for the examined basin. More specifically, this database will be developed through the calculation of critical rainfall for all combinations of rainfall duration [h] and initial soil moisture conditions (dry, normal, or wet). Consequently, for each cell of the examined hydrodynamic model grid, 36 critical rainfall values can be extracted, corresponding to the possible combinations arising from the different rainfall durations (6), initial soil moisture conditions (3), and flood warning levels (2).

During the 2D hydrodynamic modeling process, having initially created a grid, we extract the hydraulic characteristics of the flow (such as depth and velocity) for each cell in order to subsequently calculate the hazard index HI according to relation (7.25), for all examined intensity and duration scenarios.

Next, we compare the critical hazard index HI_c , namely the values 0.5 and 1.0 corresponding to the two risk levels, with the maximum hazard indices HI resulting from each examined scenario of intensity and rainfall duration, so that ultimately, if we arrange these maximum hazard indices in ascending order, for two consecutive positions of these maxima, the following holds:

$$(HI)_k < (HI)_C \le (HI)_{k+1}$$
 (0.3)

where k and k+1 are two consecutive positions. Let R_k and R_{k+1} be the rainfalls that produce the hazard indices $(HI)_k$ and $(HI)_{k+1}$ at the consecutive positions k and k+1, respectively. Then, the critical rainfall R_c is calculated through linear interpolation of the rainfalls R_k and R_{k+1} .



Figure 0.4 Flowchart of the process followed for issuing or not issuing a flood risk warning for a studied area (Huang et al., 2019, modified).

In the applied flood warning system, the steps followed during the flood alert issuance process are as follows (Figure 0.4):

- 1. Determination of Rainfall Duration: Establish the duration of rainfall according to the relevant hydrometeorological forecast.
- 2. Determination of Soil Moisture Category: Assess the soil moisture category prior to the examined rainfall event based on the cumulative rainfall amounts from the previous five days (Table 0.4).
- 3. Calculation of Critical Rainfall: Based on the expected rainfall duration and the determined type of existing soil moisture, determine the critical rainfall corresponding to the anticipated event, a value that has already been calculated and is extracted from the critical rainfall database.
- 4. Calculation of Cumulative Rainfall: Compute the cumulative rainfall at the decision time r_d :

$$r_d = \sum_{t=0}^{t=t_d} r_o \tag{0.4}$$

and calculation of the cumulative rainfall at the warning time r_w :

$$r_w = r_p + r_d \tag{0.5}$$

The time intervals for calculating r_d and r_w are 15 minutes for rainfall lasting 1 hour, 30 minutes for rainfall lasting 3 or 6 hours, and 1 hour for rainfall durations exceeding 6 hours.

5. Comparison of the rainfall at the warning time, r_w , and the critical rainfall r_c . In the case that holds:

$$r_{\rm w} > r_c \tag{0.6}$$

then a notification must be sent to the at-risk population.

Regarding Table 0.4, we note that the term 'period of dormancy' is commonly used to describe the time when plant growth slows down or stops, as occurs during the winter. Additionally, the 'growing season' refers to the time of year when climatic conditions are suitable for plant growth, usually in spring and summer.

Initial soil moisture	Cumulative rainfall	Soil saturation index	
condition	Dormant season	Growing season	$\theta_{init}/\theta_{sat}$
Dry	<12.5	<35.5	1.0/3.0
Normal	12.7 έως 28	35.5 έως 53.3	2.0/3.0
Wet	>28	>53.3	1.0

Table 0.4 Determination of the initial soil moisture condition before the examined rainfall event, based on the cumulative rainfall amounts of the previous five days (SCS, 1972, modified).

Compared to the FFG method, the flood warning method applied in this work is characterized by the following advantages. First, the critical rainfall calculated does not need to be constant across space, which raises expectations for better handling of the spatial distribution of rainfall during the actual operational process. Additionally, the warning mechanism directly compares cumulative rainfall amounts with the predetermined critical rainfall, without the need to define a threshold for flow magnitudes, thereby avoiding the general difficulties and limitations that arise from the discrepancies that inevitably occur during the calculation of such characteristic magnitudes at different spatial and geometric sections. Furthermore, surface flows are calculated using a complete hydrodynamic model, which includes the influence of rainfall intensity, topographical slopes, soil moisture, and loss mechanisms (infiltration).

On the other hand, significant are the limitations and boundaries of the applied methodology. First, the results depend on the analysis of the digital elevation model (DEM) available to the researcher, which, if coarse, is likely to reduce the accuracy of the resulting hydraulic characteristics (depths, flow velocities, etc.). Even in this context, the process of issuing related flood risk warnings does not change; it merely emphasizes the necessity for increased analysis of the computational tools used. Furthermore, the assumption of uniform rainfall in space and time aligns with the corresponding assumption made during the scenario formulation in FFG models, which, however, differs from the conditions that prevail in actual rainfall events. Additionally, as with most flood warning systems, their success relies on the accurate hydrometeorological forecast of the spatial and temporal distribution of rainfall, which involves significant uncertainties, resulting, as has happened in practice in many cases, in either the erroneous issuance of warnings or. conversely, the failure to predict the occurrence of a flooding event and the untimely issuance of a warning. Finally, it should be noted that with the current method, the decision-making time step for issuing or not issuing a warning is short, resulting in the served population not having an extended period for preparation and the implementation of a potential evacuation process. In any case, however, the temporal discretization of the decision-making process based on hydrometeorological forecasts, operational functioning, and the overall design of a flood warning system, is at the discretion of the competent authorities tasked with its implementation, incorporating historical hydrological information and all the specific characteristics of the watershed under examination.

In this study, ArcGIS and ArcMAP software were used for Geographic Information System processing, HEC-HMS for hydrological analysis, and HEC-RAS for hydrodynamic analysis. In detail, for each examined scenario, flood hydrographs were extracted through modeling with HEC-HMS, along with the accompanying hydrological data. In this study, the determination of the flood extent, as well as the maps of maximum depths and maximum velocities for the study area, is performed using HEC-RAS 2D. The data inputted into

HEC-RAS for this analysis includes the hydrographs extracted from HEC-HMS for the examined scenarios, the Digital Elevation Model sourced from the Land Registry (after relevant processing in ArcMap), land use data according to Corine (2018), and the values of the Manning's n coefficient for each land use code (Huang, 2005), which are presented in Table P-4 of the appendix. Regarding the analysis, the model was developed at the geometric level (Geometric Data Editor) using the 2D Flow Area tool, and the locations for applying boundary conditions were selected using the 2D Area Boundary Condition Lines. The boundary condition for unsteady flow at the model's inlet was chosen to be the respective flow hydrograph, while at the outlet, the uniform flow depth was specified.

Hydrological analysis

Following the methodology developed in the previous section, regarding the production of the rainfall curve in the study area and utilizing the hydrological data from the KATO STENI station, the rainfall curve for the examined watershed is formulated as follows:

$$i(d,T) = \frac{379.79 \cdot \left(T^{0.097} + 0.707\right)}{(d+0.124)^{0.622}}$$
(8.1)

Based on the 61 examined scenarios of rainfall duration (d) and total rainfall height (I), as presented in table 0.3, an equal number of rainfall hyetographs were generated using the alternating block method corresponding to these scenarios, which were then input into HEC-HMS for the production of the respective hydrographs.

Table 8.1 presents the application of the alternating block method for the scenario d=6h and I=200mm, which corresponds (based on the rainfall curve of the examined study area) to a return period T=252.57 years.

ti	i _t	$\mathbf{h}_{i} = \mathbf{t}_{i} * \mathbf{i}_{t}$	pi = h _i /hmax	p i- p i-1	Rearrangement/ position	Value	hi'=pi'*h _{max}
h	mm		0				mm
0.5	137.978	68.989	0.3449	0.345	11	0.035478	7.10
1	95.684	95.684	0.4784	0.133	9	0.040672	8.13
1.5	76.108	114.162	0.5708	0.092	7	0.048453	9.69
2	64.406	128.811	0.6441	0.073	5	0.06182	12.36
2.5	56.470	141.175	0.7059	0.062	3	0.092391	18.48
3	50.665	151.994	0.7600	0.054	1	0.344945	68.99
3.5	46.195	161.684	0.8084	0.048	2	0.133474	26.69
4	42.627	170.509	0.8525	0.044	4	0.073248	14.65
4.5	39.698	178.643	0.8932	0.041	6	0.054091	10.82
5	37.242	186.212	0.9311	0.038	8	0.044122	8.82
5.5	35.147	193.308	0.9665	0.035	10	0.037845	7.57
6	33.333	200.000	1.0000	0.033	12	0.033462	6.69
							200.00

Table 0.5 Application of the alternating block method for the scenario d=6h and I=200mm, which corresponds to a return period T=252.57 years.

The precipitation graph for the aforementioned scenario (d=6h and I=200mm) is presented below.



Figure 0.5 Precipitation graph produced for the scenario d=6h and I=200mm.

In section 13.3 of the appendix, all the precipitation graphs that were generated and used in this study are presented, based on the 61 examined scenarios of rainfall duration (d) and total rainfall height (I).



Figure 0.6 Comparison of produced and examined precipitation graphs corresponding to a rainfall duration of d=6h and total rainfall heights ranging from 80 to 240 mm.

As detailed in the methodology section, a total of the following scenarios were applied:

• 12 scenarios for the sensitivity analysis concerning the Curve Number (CN) (actual, -5%, +5%, +10%), also examining the 3 possible soil moisture conditions, as developed in Table 0.2.

- 60 examined scenarios of rainfall duration (d) and total rainfall height (I).
- Simulation of the rainfall event that occurred on August 8, 2020, in the study area.

Overall, the total number of scenarios modeled through HEC-HMS for the production of the corresponding hydrographs amounted to:

(60+1).12=732

The table with the maximum discharges Q_{max} (m³/s) of all the examined scenarios is presented in the appendix of this work, in Table P-3. Below are summarized interesting conclusions that emerged from the hydrological investigation of all the aforementioned examined scenarios. The conclusions drawn from the hydrological analysis of the examined scenarios are as follows.

In the sensitivity analysis conducted on the hydrographs examined for all the CN scenarios and the three possible soil moisture conditions (dry, normal, wet), it was found that the timing of Q_{max} occurrence does not vary among scenarios (figure 0.7). The hydrographs exhibit similar distributions, and the flow values throughout the examined duration, as well as the Q_{max} for each scenario, show similar variability, dependent on hydrological losses and prior soil moisture conditions. Additionally, the differences in hydrograph values among the CN scenarios were smaller in the wet soil moisture condition compared to the corresponding dry and normal conditions, highlighting the significant role of soil moisture in the occurrence and magnitude of maximum flows.



Figure 0.7 Hydrograph of the examined rainfall event on August 8, 2020, for all examined CN scenarios and for the three possible soil moisture conditions (dry, normal, wet).

In the maximum flow Q_{max} diagrams for three rainfall duration scenarios of 8, 12, and 24 hours corresponding to high total rainfall values (i.e., high return periods exceeding 300 years), the trend lines of the form y=ax+b showed particular interest (figures 0.8 and 0.9). The slope coefficient *a* a of the trend lines was smaller under wet prior moisture conditions, larger under normal conditions, and even larger under dry soil conditions. Additionally, the results of the sensitivity analysis highlight the significant influence of the CN number on the maximum flow Qmax in dry soil conditions (i.e., with lower CN values), in contrast to wet moisture conditions (with higher CN values), where the maximum flow does not exhibit such large variations. It is also noteworthy that smaller values of the slope coefficient *a* a are observed as the rainfall

duration increases for wet and normal prior moisture conditions, whereas dry conditions exhibit a different and more complex behavior of the slope.



Figure 0.8 Column chart of maximum flows (Qmax) for the rainfall scenario with a duration of d=24 hours and a total rainfall of I=390 mm, covering all examined CN scenarios and the three possible soil moisture conditions (dry, normal, wet).



Figure 0.9 Maximum flow (Qmax) chart for the rainfall scenario with a duration of d=24 hours and a total rainfall of I=390 mm, covering all examined CN scenarios and the three possible soil moisture conditions (dry, normal, wet), with the corresponding trend lines of the form y=ax+b fitted.

Regarding the comparison of the hydrographs resulting from the rainfall event on August 8, 2020 (lasting 8 hours) with the corresponding one that would result if the same amount of rainfall were distributed over time differently, again within 8 hours using the block alternation method, we can observe that in all soil moisture scenarios, the maximum flows Q_{max} do not differ significantly (figures 0.10 and 0.11). A more detailed analysis revealed that in the case of wet soil conditions, the block alternation method produces slightly higher Q_{max} , while in normal moisture conditions, the flows are equal. In dry conditions, the estimated Q_{max} from the historical event is slightly higher. Furthermore, in all soil moisture scenarios, Q_{max} occurs 1.5 hours earlier using the block alternation method compared to the historical rainfall. Additionally, in both rainfall scenarios, Q_{max} for the three soil moisture conditions occurs at approximately the same time. Finally, in both cases, the deviation of Q_{max} between the soil moisture conditions in each rainfall scenario appears to be roughly constant, with the distance between the dry and normal conditions being greater than that between the wet and normal moisture conditions.

Regarding the examined CN scenarios and soil moisture conditions for the case of a rainfall duration of d=24 hours and a total rainfall height of I=390 mm, the cumulative discharge (m³/s) versus time diagrams and the probability of non-exceedance diagrams of the cumulative discharges were created. From the sensitivity analysis, the differentiation of the diagrams based on the CN scenarios and prior soil moisture conditions emerged, along with the different slopes of the curves in various cases. The observed significant variation in these cumulative discharge diagrams indicates the fluctuation of discharges under changing CN values (which depend on and vary due to changes in land use, potential wildfires, or construction and non-construction mitigation measures) and the prior moisture condition of the soil, significantly impacting the potential effects of a flooding event (in terms of discharges).

The total runoff volume and the maximum discharge Q_{max} are greater when the same amount of rain falls in a shorter time frame. Additionally, in this case, the peak discharge occurs more quickly (in a shorter time).

In contrast, when the same amount of rain falls over a longer period, the hydrograph "spreads out" over time, resulting in more favorable peak discharge outcomes and consequently allowing for a comparatively easier management of such rainfall-runoff events. This is particularly evident when referring to rainfall events with longer durations.

As the duration of two events producing the same total rainfall increases, the peak of one tends to move away from the peak of the other, both temporally (horizontal axis) and in terms of maximum peak discharge Q_{max} (vertical axis).

With the heatmaps of maximum discharges developed for all the examined rainfall scenarios, we can distinguish the variation of maximum discharges, the timing of their occurrence, and the differentiation of these values across various rainfall duration scenarios. Comparing the maps, we conclude that as the duration of the rainfall event increases, the timing of the peak discharge tends to be delayed, and the peak discharges tend to cluster at (closer) higher values.



Figure 0.10 Rainfall hyetograph of the event on August 8, 2020, and the corresponding one that would result from the alternating block method, for the same duration of rainfall (8 hours) and total rainfall height (294 mm).



Figure 0.11 Hydrographs resulting from the rainfall event on August 8, 2020 (with a duration of 8 hours) and another corresponding one that would occur if the same amount of rainfall were distributed over time differently, again over a period of 8 hours, but this time using the alternating block method (for all soil moisture conditions).



Figure 0.12 Cumulative discharge – time diagram for d=24h, I=390mm, and for all examined CN scenarios and soil moisture conditions.



Figure 0.13 Non-exceedance probability of cumulative discharges for d=24h, I=390mm, and for all examined CN scenarios and soil moisture conditions.



Figure 0.14 Comparison of hydrographs with equal total precipitation but different durations of rainfall, for the same CN and soil moisture condition.

Hydrodynamic analysis

The conclusions drawn from the hydraulic analysis of the examined scenarios are as follows:

- With the sensitivity analysis for the various scenarios of CN number variation (actual, -5%, +5%, +10%) as well as for the three soil moisture conditions, the depths and extent of flooding exhibit the expected increasing behavior corresponding to an increasing CN number. Moreover, the maximum and average depth values increase at a relatively slow rate depending on the scenario, indicating the minor impact of the CN variation (actual, -5%, +5%, +10%), which enters through the corresponding hydrographs used as input data for the hydraulic model, on the aforementioned flow depth metrics.
- Flood depths increase at a more pronounced rate when examining the change from dry to normal condition compared to the change from normal to wet, during which the depths increase at a slower rate. Furthermore, it is observed that the soil moisture condition has a more significant impact on flow depths and flood extent compared to the percentage change in CN (around 5%).
- Comparing the results of the hydraulic analysis derived from the hydrographs of the historical rainfall episode of August 8, 2020, with those that would arise from the same duration and total amount of rainfall using the block alternation method, for all possible soil moisture conditions, it was found that in the dry soil moisture condition, the maximum depth is greater in the results of the historical rainfall compared to those of the block alternation method. A similar behavior is also observed in flood extent. Additionally, in the normal soil moisture condition, the flow depths and flood extent for the two scenarios appear to be unchanged. Finally, in the wet soil moisture condition, the maximum depth seems nearly identical, but based on the maps, the flood extent is slightly larger in the block alternation scenario.
- If the same amount of rainfall is received in a shorter time, the hydraulic impacts (flood extent, flood depths, and flow velocities) caused by such an event will be more severe compared to the case where the same total rainfall is extended over a longer period.
- Given a constant total rainfall, the greater the deviation in the rainfall durations of the examined scenarios, the greater the variation in average depth, maximum depth, flood extent, and flow velocity values.
- In scenarios with equal rainfall duration, the extent, flood depths, and flow velocities are greater for scenarios involving a higher total amount of rainfall, which was expected. It is also observed that as the total amount of rainfall increases, the rate of increase of the maximum and average depth decreases.


Figure 0.15 Maximum flow depths and velocities for d=12h, I=300mm, and all soil moisture condition scenarios (real CN).



Figure 0.16 Maximum flow depths for the examined rainfall scenarios of different durations but with the same total amount of rainfall (real CN).



Figure 0.17 Maximum flow depths for the historical event of August 8, 2020, and the corresponding event that would result from the block alternating method (real CN).



Figure 0.18 Maximum flow velocities for the examined rainfall scenarios with different durations but the same total amount of rainfall (real CN).

Flood warning with estimation of critical rainfall

In the previous chapters, we implemented the hydrological and hydraulic aspects of the proposed methodology to prepare for the establishment of a flood warning system. In this chapter, we will apply the proposed system of Huang et al. (2019) to a section within the studied area. The assumptions made are as follows: a rainfall duration of 8 hours and normal soil moisture conditions (II).

Initially, it is necessary to calculate the value of the critical rainfall R c R c for two risk levels, through a derived size resulting from the hydrodynamic analysis, the risk index. Having developed the hydrodynamic simulation scenarios using HEC-RAS for a rainfall duration of 8 hours and total rainfalls of 90, 110, 130, 150, 170, 190, 210, 230, 250, 270, 290, and 310 mm, we are now in a position to calculate the critical rainfall (assuming normal soil moisture conditions).



Figure 0.19 Maps depicting the combination HI = h (U+1.5) for the rainfall scenario d = 8h and I = 130, 150, 170 and 190 mm.

Using HEC-RAS and the RASter Calculator tool, maps were created for each of the above scenarios, depicting the risk index *HI* of the two-dimensional (2D) computational field (figure 0.19 and 0.20), with a color gradient corresponding to the risk levels of EP and IE, based on the values of 0.5 and 1.0, respectively. It is worth noting that in image 10.2, the boundaries of the Lelana River in the study area and the regions that are normally not covered by water are clearly visible.

From the images below and according to the data generated by HEC-RAS, we observe that the risk index in the area begins to reach the critical value $HI_c = 0.5$ (which corresponds to the risk level EP) for I=190mm, while it reaches the value $HI_c=1.0$ (which corresponds to the risk level IE) for I=230 mm. Based on the applied methodology, we define:

- The critical rainfall amount (for normal soil moisture conditions) corresponding to the risk level P.E. as $R_c = 180$ mm.
- The critical rainfall amount (for normal soil moisture conditions) corresponding to the risk level A.E. as $R_c = 220$ mm.



Figure 0.20 Maps depicting the combination HI = h (U+1.5) for the rainfall scenario d = 8h and I = 210, 230, 250 and 270 mm.

Example of Flood Warning System Operation

The example developed in this section is implemented under the assumption of hourly rainfall forecasting for 8 hours, as stated in Table 0.6.

Time	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉
Decision time t _d (h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Warning time t_w (h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Forecasted rainfall r_p (mm) ($t_k \sim t_{k+1}$)	30	40	60	40	20	15	20	5	0
Observed rainfall r_o (mm) ($t_{k-1} \sim t_k$)	0	34	41	62	36	21	7	19	3
Cumulative rainfall at decision time r_d (mm)	0	34	75	137	173	194	201	220	223
Cumulative rainfall at warning time $r_w = r_p + r_d$	30	74	135	177	193	209	221	225	223

Table 0.6 Table of information regarding the rainfall forecasting and assessment process.

To issue a "pre-evacuation" warning (EP) or an "immediate evacuation" warning (IE), the following process is followed:

- 1. Since the rainfall duration is 8 hours, we refer to the scenarios we have developed that have an 8-hour rainfall duration.
- 2. As previously mentioned, the conditions of antecedent soil moisture are normal, so from the total scenarios in step 1, we select those that represent the normal soil condition (II).
- 3. In this case, we extract the values for the safety levels EP and IE from the critical rainfall database. As calculated in the previous section, these are $R_c= 180$ mm and $R_c= 220$ mm, respectively.
- 4. The cumulative rainfall at the time of notification is calculated, as presented in Table 0.6.
- 5. At the decision time $t_d = t_5 = 4h$, the cumulative rainfall is 173mm, and the rainfall forecast for the next hour is 20mm. Consequently, the cumulative rainfall at the time of notification is 193mm. Assuming the rainfall is uniformly distributed over time, it is expected to reach 180mm at time t=4.35h. Therefore, at t_w=4h, a EP (preparation for evacuation) warning should be issued for the specific area. Similarly, the cumulative rainfall is expected to reach 220mm at time t=6.90h, so at t_w =6h, an IE (immediate evacuation) warning should be issued for the study area.

Finally, it is emphasized once again that the temporal discretization of the decision-making process based on hydro-meteorological forecasts, operational functioning, the overall design of a Flood Warning System, and the choice to modify specific characteristics are at the discretion of the competent authorities that will be called to implement it. This includes incorporating historical hydrological information and all the specific characteristics of the watershed under examination. In this context, the Flood Warning System applied in this work, including the criteria and timing for issuing preparation or immediate evacuation warnings, is based on logical assumptions implemented within the framework of this master's thesis and is deemed necessary to be modified according to the needs, judgment, and experience of the operational team that will be called to apply it in practice.

1. Εισαγωγή

1.1. Αντικείμενο εργασίας

Οι πλημμύρες θεωρούνται ευρέως ως μία από τις πιο συχνά εμφανιζόμενες και καταστροφικές φυσικές καταστροφές παγκοσμίως, με σοβαρές επιπτώσεις για τις κοινωνίες (σε εθνικό ή τοπικό επίπεδο), τις υποδομές και το περιβάλλον. Ιστορικές καταγραφές έχουν δείξει ότι σε πολλές περιπτώσεις εκδηλώνονται με μικρή ή εν γένει μη επαρκή προειδοποίηση και εξαπλώνονται με πολύ υψηλές ταχύτητες, αποτελώντας έναν κίνδυνο που δύναται να επιφέρει ανθρώπινες απώλειες καθώς και σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις. Η έγκαιρη προειδοποίηση έναντι των πλημμυρών είναι ζωτικής σημασίας για τη μείωση αυτού του κινδύνου, καθώς με αυτόν τον τρόπο είναι εφικτή η λήψη μέτρων από τις επιβλέπουσες αρχές και τους πολίτες για την προστασία τους. Κεντρικό στοιχείο σε αυτή την προσπάθεια διαδραματίζει ο προσδιορισμός της «κρίσιμης βροχόπτωσης», δηλαδή της ελάχιστης ποσότητας βροχής που μπορεί να προκαλέσει ένα πλημμυρικό φαινόμενο, η οποία αποτελεί επίσης έναντι πλημμυρών.

Σε γενικό πλαίσιο, η εκτίμηση της κρίσιμης βροχόπτωσης αποτελεί μία πολύπλοκη διαδικασία, ιδιαιτέρως σε περιοχές όπου οι μετεωρολογικές και υδρολογικές ιστορικές παρατηρήσεις είναι περιορισμένες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι χωρικές και χρονικές διακυμάνσεις των πλημμυρικών φαινομένων, σε συνδυασμό με την απουσία δεδομένων υψηλής ακρίβειας και προηγμένων δικτύων παρακολούθησης, δυσκολεύουν την πρόβλεψη της κρίσιμης βροχόπτωσης. Επίσης, η ανάγκη για αξιόπιστα υδρολογικά και υδροδυναμικά μοντέλα που ενσωματώνουν τις φυσικές διεργασίες της βροχής και της απορροής καθίσταται επιτακτική.

Στην παρούσα εργασία προτείνεται μία μεθοδολογία για την εκτίμηση της κρίσιμης βροχόπτωσης με τη χρήση ενός ολοκληρωμένου υδρολογικού-υδροδυναμικού μοντέλου, με σκοπό την εφαρμογή της στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης έναντι πλημμυρών. Το μοντέλο εφαρμόζεται στη λεκάνη απορροής του ποταμού Λήλαντα στην Εύβοια και διερευνά ένα σχετικά μεγάλο αριθμό σεναρίων βροχοπτώσεων και συνθηκών εδαφικής υγρασίας με σκοπό αφενός τον προσδιορισμό υδρογραφημάτων εισόδου που χρησιμοποιούνται ως οριακές συνθήκες για το υδροδυναμικό μοντέλο και αφετέρου τον υπολογισμό της κατανομής του «κρίσιμου κινδύνου» στον κάναβο του διδιάστατου (2D) υπολογιστικού πεδίου, ο οποίος ορίζεται συνδυάζοντας τα κύρια υδροδυναμικά χαρακτηριστικά που είναι το βάθος και η ταχύτητα ροής. Τέλος, βάσει του υπολογισμένου «κρίσιμου κινδύνου», γίνεται εκτίμηση των τιμών κρίσιμης βροχόπτωσης για την επιλεχθείσα περιοχή μελέτης και παρουσιάζεται ένα παράδειγμα λειτουργίας του εφαρμοζόμενου συστήματος προειδοποίησης έναντι πλημμυρών.

1.2. Σημεία καινοτομίας

Τα σημεία καινοτομίας που χαρακτηρίζουν την παρούσα εργασία συνοψίζονται ως ακολούθως:

 Διερεύνηση 732 σεναρίων υδρολογικών και υδροδυναμικών προσομοιώσεων με χρήση των λογισμικών HEC-HMS και HEC-RAS και παραγωγή σχετικών συμπερασμάτων. Τα σενάρια αυτά διαμορφώθηκαν βάσει ανάλυσης ευαισθησίας του αριθμού CN, σεναρίων διαρκειών βροχόπτωσης (d), συνολικού ύψους βροχόπτωσης (I) και συνθηκών πρότερης εδαφικής υγρασίας (ξηρή, κανονική, υγρή).

- Εφαρμογή ενός ολοκληρωμένου υδρολογικού-υδροδυναμικού μοντέλου για την ακριβή εκτίμηση της κρίσιμης βροχόπτωσης. Σημειώνεται ότι η κρίσιμη βροχόπτωση που υπολογίζεται δεν είναι απαραίτητο να είναι σταθερή στον χώρο, γεγονός που γεννά την προσδοκία καλύτερου χειρισμού της χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης κατά την πραγματική επιχειρησιακή διαδικασία.
- Ανάπτυξη μεθοδολογίας για τον υπολογισμό και την οπτικοποίηση της κατανομής του «κρίσιμου κινδύνου» στο διδιάστατο υπολογιστικό πεδίο.
- Εφαρμογή παραδείγματος λειτουργίας ενός αξιόπιστου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης έναντι πλημμύρας στο πλαίσιο μίας μελέτης περίπτωσης, στον Λήλαντα ποταμό Ευβοίας, το οποίο δύναται να εφαρμοστεί και σε άλλες παρόμοιες λεκάνες απορροής.
- Ο εν λόγω μηχανισμός προειδοποίησης συγκρίνει ευθέως τα αθροιστικά ύψη βροχόπτωσης και την προκαθορισμένη κρίσιμη βροχόπτωση, χωρίς να χρειάζεται να οριστεί ένα κατώφλι για τα μεγέθη παροχής, αποφεύγοντας τις εν γένει δυσκολίες και τους περιορισμούς που προκύπτουν από τις αποκλίσεις που αναπόφευκτα υπεισέρχονται κατά τη διαδικασία υπολογισμού τέτοιων χαρακτηριστικών μεγεθών σε διαφορετικές χωρικά και γεωμετρικά διατομές.
- Στο εν λόγω σύστημα προειδοποίησης, οι επιφανειακές ροές υπολογίζονται με χρήση ενός πλήρους υδροδυναμικού μοντέλου, το οποίο περιλαμβάνει την επιρροή της έντασης της βροχόπτωσης, τις τοπογραφικές κλίσεις, την υγρασία του εδάφους, καθώς και τους μηχανισμούς απωλειών (διήθησης).

Εν κατακλείδι, με την παρούσα εργασία αναμένεται να ενισχυθεί η δυνατότητα πρόβλεψης πλημμυρικών φαινομένων σε περιβάλλοντα με περιορισμένα δεδομένα, συμβάλλοντας έτσι σε πιο αποδοτικά και ασφαλή συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης έναντι πλημμυρών.

1.3. Διάρθρωση εργασίας

Η παρούσα εργασία έχει διαρθρωθεί σε έντεκα κεφάλαια με τρόπο ώστε να γίνεται κατανοητή η λογική της βάση, οι κύριες έννοιες, καθώς και η εφαρμοζόμενη μεθοδολογία.

Στο παρόν, πρώτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η διάρθρωση της εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται μία παρουσίαση των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών και των συνιστωσών της διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου.

Στο **τρίτο κεφάλαιο**, γίνεται μία επισκόπηση των βασικών αρχών σχεδιασμού των παραδοσιακών συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης έναντι πλημμυρών (ΣΕΠΠ).

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται νέες τεχνολογίες αιχμής στο πεδίο του σχεδιασμού και της επιχειρησιακής λειτουργίας των ΣΕΠΠ, κυρίως στο αντικείμενο της τεχνητής νοημοσύνης και του εθελοντικού διαμοιρασμού δεδομένων πριν, μετά ή κατά τη διάρκεια ενός πλημμυρικού φαινομένου.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά των κύριων μεγεθών που υπεισέρχονται στο πεδίο της επιστήμης των πλημμυρών ταχείας απόκρισης.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα της εργασίας.

Στο έβδομο κεφάλαιο περιγράφεται η εφαρμοζόμενη μεθοδολογία.

Στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και ο σχολιασμός της υδρολογικής ανάλυσης, ενώ στο ένατο τα αντίστοιχα αποτελέσματα και ο σχολιασμός της υδροδυναμικής ανάλυσης,

Στο δέκατο κεφάλαιο παρουσιάζεται, στο πλαίσιο μίας μελέτης περίπτωσης, η εφαρμογή και η διερεύνηση του εξεταζόμενου συστήματος έκδοσης ειδοποιήσεων έναντι πλημμύρας στον Λήλαντα ποταμό Ευβοίας.

Τέλος, στο **ενδέκατο κεφάλαιο** συνοψίζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

2. Φυσικές καταστροφές και διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου

2.1. Συνιστώσες εκτίμησης της ευαλωτότητας έναντι πλημμυρών

Μία φυσική καταστροφή ορίζεται ως μια σοβαρή διαταραχή στη λειτουργία μιας κοινότητας, η οποία προκαλεί εκτεταμένες ανθρώπινες, υλικές, οικονομικές ή περιβαλλοντικές απώλειες που υπερβαίνουν τη δυνατότητα της πληγείσας κοινότητας να ανταποκριθεί χρησιμοποιώντας τους δικούς της πόρους (UN/ISDR 2004). Η επιστημονική έρευνα σε αυτό το πεδίο είναι αδιάκοπη, διερευνώντας τους παράγοντες εκείνους που είναι ικανοί να μετριάσουν την αρνητική επίδραση φυσικών καταστροφών στα άτομα και στις κοινωνίες, με σκοπό την αύξηση της ανθεκτικότητάς τους σε τέτοια περιστατικά και την γρήγορη επάνοδο σε συνθήκες κανονικότητας μετά την εμφάνιση ανάλογων φαινομένων. Για το λόγο αυτό, η διερεύνηση αυτών των γεγονότων συχνά προσελκύει το ενδιαφέρον των κυβερνήσεων, των τοπικών κοινωνιών και όλων των εμπλεκόμενων μερών που καλούνται να σχεδιάσουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα αντιμετώπισης και θωράκισης έναντι των ακραίων καιρικών φαινομένων και κάθε πιθανής φυσικής καταστροφής.

Οι φυσικές καταστροφές θα μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν διαχωρίζοντάς τες προκαταρκτικά σε υδροκλιματικές και γεωφυσικές. Οι υδροκλιματικές καταστροφές, στις οποίες εντάσσονται οι πλημμύρες που εξετάζονται στην παρούσα εργασία, μπορούν να επιμεριστούν σε (Integrated Research on Disaster Risk, 2014):

- Υδρολογικές
- Μετεωρολογικές
- Κλιματολογικές

Η κρίσιμη παράμετρος που καθορίζει αν ένα ακραίο γεγονός μπορεί να οδηγήσει σε ανθρωπιστική ή οικονομική καταστροφή είναι η ευαλωτότητα των περιοχών που πλήττονται. Για παράδειγμα, η επίδραση ενός ακραίου πλημμυρικού γεγονότος οξύνεται στην περίπτωση που η περιοχή που πλήττεται χαρακτηρίζεται από υψηλή επικινδυνότητα λόγω γεωμορφολογίας, υπέρμετρη αστικοποίηση, ανεπάρκεια σε αντιπλημμυρικά έργα, απότομες αλλαγές στις χρήσεις γης και ελλιπή ηγεσία σε τοπικό ή εθνικό επίπεδο. Έτσι, ένα ποτάμι που πλημμυρίζει κοντά σε μια πόλη μπορεί να προκαλέσει πολλές ανθρώπινες απώλειες και ανυπολόγιστες οικονομικές επιπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, οι πλημμύρες θέτουν συχνά σε κίνδυνο την κοινωνική και οικονομική ευημερία, με τις επιπτώσεις τους να εξαρτώνται άμεσα από την τοπογραφία της περιοχής, την υδροδυναμική συμπεριφορά του συμβάντος και την ευαλωτότητα των επηρεαζόμενων περιοχών.

Συχνά ακόμα, οι κοινωνικοοικονομικοί και ανθρωπογενείς παράγοντες αυξάνουν την ευαλωτότητα συγκεκριμένων περιοχών σε τέτοια φαινόμενα, κυρίως λόγω οικονομικής ανάπτυξης, της εκτενούς αστικοποίησης και της απότομης αύξησης του αριθμού των ανθρώπων που ζουν ή εργάζονται σε εν δυνάμει πληττόμενες περιοχές, μεγεθύνοντας την συγκέντρωση περιουσιακών στοιχείων σε περιοχές υψηλού κινδύνου (Schanze et al., 2016).

Όσον αφορά την εμφάνιση των φαινομένων, οι ποτάμιες πλημμύρες μπορεί να προκληθούν από βροχοπτώσεις ή (σπανιότερα στην Ελλάδα) από τήξη χιονιού και μπορεί να συμβούν σε μεγάλες αποστάσεις από την πληγείσα τοποθεσία. Η πραγματική έκταση της πλημμύρας θα είναι ένας συνδυασμός όλων των συνεισφερόντων υδάτων, είτε απομακρυσμένων είτε τοπικών, και

επηρεάζεται έντονα από τη γεωμορφολογία του εδάφους. Η υποχώρηση των πλημμυρικών υδάτων είναι συνάρτηση της αποστραγγιστικής ικανότητας της πλημμυρικής πεδιάδας (φυσικής ή τεχνητής), της κλίσης, της διαπερατότητας και των περιορισμών που τίθενται στη ροή του νερού.

Πιο συγκεκριμένα, η ποτάμια πλημμύρα συμβαίνει όταν η χωρητικότητα ενός ποτάμιου συστήματος είναι ανεπαρκής για να συγκρατήσει τη ροή του νερού στα όρια του ποταμού, με αποτέλεσμα τη διαφυγή του από την (υπό κανονικές συνθήκες ροής) διατομή και την κατάκλιση της γύρω περιοχής. Η παρατεταμένη βροχόπτωση οδηγεί σε κορεσμό του εδάφους και μπορεί να συμβεί σε περιόδους αυξημένης εισροής υδάτων από παραπόταμους. Ακόμα, τα χαρακτηριστικά της ποτάμιας πλημμύρας καθορίζονται από τη διαπερατότητα του εδάφους, την κάλυψη, τις χρήσεις γης και τον έλεγχο των υδάτινων ροών από οποιεσδήποτε ανθρωπογενείς κατασκευές διευθέτησης ή περιορισμού τους. Οι ποτάμιες πλημμύρες συχνά κινούνται αργά και η αυξημένη ροή παραπόταμων μπορεί να επηρεάσει τις πλημμυριζόμενες πεδιάδες. Όσον αφορά τον μετριασμό των επιπτώσεων αυτών των πλημμυρών, στην πράξη, αν και είναι δυνατή η λήψη μέτρων για τη διαχείριση, δεν είναι δυνατός ο πλήρης έλεγχος τέτοιων φαινομένων. Τα περισσότερα συστήματα ποταμών έχουν κατασκευαστεί για σκοπούς αστικής αντιπλημμυρικής προστασίας, γεωργικής προστασίας και διαχείρισης της άρδευσης. Παράλληλα όμως, μπορούν να οριστούν περιοχές όπου θα αποφευχθεί με κάθε τρόπο η πιθανότητα πλημμύρας, κυρίως με την κατάκλιση γεωργικών περιοχών για την προστασία των αντίστοιχων αστικών.

Μια άλλη έκφανση τέτοιων φαινομένων, οι πλημμύρες ταχείας απόκρισης, προκύπτουν από έντονες, τοπικές βροχοπτώσεις και μπορούν να συμβούν σχεδόν οπουδήποτε. Οι βροχοπτώσεις σε αυτή την περίπτωση έχουν διάρκεια συνήθως μεταξύ μίας ώρας και έξι ωρών, ενώ δύνανται να είναι κυμαινόμενης έντασης. Ένα χαρακτηριστικό των πλημμυρών ταχείας απόκρισης είναι ότι ο όγκος των υδάτων αυξάνεται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, μπορεί να έχει μεγάλη ταχύτητα ροής και να προξενήσει άμεση συγκέντρωση της απορροής σε περιοχές χαμηλού υψομέτρου. Οι επιπτώσεις αυτού του είδους πλημμυρών είναι πιο σοβαρές όταν το έδαφος είναι ήδη κορεσμένο, σε περιπτώσεις αδιαπέρατων ή ασταθών εδαφών και σε περιοχές μεγάλης κλίσης. Ως εκ τούτου, διαδοχικά γεγονότα έντονων βροχοπτώσεων μπορούν να έχουν σωρευτικό αντίκτυπο. Όπου το έδαφος έχει μεγάλη κλίση, το νερό διοχετεύεται σε ρεματιές και προσωρινά υδατορεύματα, προκαλώντας διάβρωση ή κατολισθήσεις και επιβαρύνοντας τα υδροδυναμικά φορτία σε γέφυρες, οχετούς ή δρόμους.

2.2. Συνιστώσες εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου

Οι χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας (flood hazard maps) σχεδιάζονται για να υποδεικνύουν την πιθανότητα κατάκλισης των εξεταζόμενων περιοχών και χρησιμοποιούνται ως ένα κρίσιμο μέσο λήψης αποφάσεων για όλα τα εμπλεκόμενα μέρη κατά τη διαδικασία σχεδιασμού ενός συστήματος αντιπλημμυρικής προστασίας (Sampson et al., 2015). Ο πλημμυρικός κίνδυνος μπορεί να οριστεί ως ο συνδυασμός της πιθανότητας εμφάνισης πλημμυρών και των δυνητικά δυσμενών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα που συνδέονται με την εμφάνιση μιας πλημμύρας (European Union, 2007). Πιο αναλυτικά, ο κίνδυνος πλημμύρας ερμηνεύεται ως η αρνητική επίπτωση σε εν δυνάμει πλημμυρικά πεδία με συγκεκριμένη ευπάθεια ή ευαλωτότητα λόγω πιθανών ακραίων γεγονότων. Ωστόσο, ο όρος του κινδύνου δεν πρέπει να συγχέεται με τον κίνδυνο υπό την έννοια της αξιοπιστίας των δομικών έργων που χρησιμοποιούνται ως μέτρο ασφαλείας έναντι πλημμυρών.

Το εννοιολογικό μοντέλο Source-Pathway-Receptor-Consequence-Model (SPRC-Model) έχει προταθεί για να περιγράψει τον πλημμυρικό κίνδυνο (ICE, 2001; Εικόνα 2.1) και προσφέρει μια διαγραμματική απεικόνιση των παραμέτρων που εισάγονται κατά την εκτίμησή του, συσχετίζοντας τα υδρομετεωρολογικά χαρακτηριστικά των εν δυνάμει πλημμυρικών γεγονότων, μαζί με τις πολυεπίπεδες επιπτώσεις που αυτά προκαλούν. Από τις επιμέρους ενότητες του συστήματος εκτίμησης, η «Πηγή» (Source), το «Μονοπάτι» (Pathway) και ο «Υποδοχέας» (Receptor) αναφέρονται στη φυσική διαδικασία, ενώ η εκτίμηση της «(Αρνητικής) Συνέπειας» (Negative Consequence) αφορά τις αξίες και τις κοινωνικοπολιτικές παραμέτρους του εξεταζόμενου συστήματος.

Σύμφωνα με τους Schanze et al. (2016), η «Πηγή» (Source) και το «Μονοπάτι» (Pathway) αναπαριστούν την πλημμυρική επικινδυνότητα. Αναλυτικότερα:

- Η «Πηγή» (Source) καθορίζεται από την πιθανότητα (p) εμφάνισης ενός πλημμυρικού γεγονότος συγκεκριμένης έντασης και άλλων στοιχείων (m). Η προειδοποίηση (w) και η ικανότητα συγκράτησης (t) των υπό εξέταση περιοχών μπορούν να θεωρηθούν ως δύο παράγοντες απομείωσης του πλημμυρικού κινδύνου.
- Το «μονοπάτι» (Pathway) μπορεί να περιγραφεί βάσει της απορροής, της διατιθέμενης περιοχή κατάκλισης (i), των ποικίλλων χαρακτηριστικών (a) και των παρεμβάσεων που έχουν πραγματοποιηθεί για τον έλεγχο πιθανής πλημμύρας (c).
- Ο «Υποδοχέας» (Receptor) και η «(Αρνητική) Συνέπεια» (Negative Consequence) δηλώνουν την ευαλωτότητα, όπου με τον «Υποδοχέα» αξιολογείται η ευαισθησία (s) της εξεταζόμενης περιοχής σε συνδυασμό με τις παρεμβάσεις που έχουν πραγματοποιηθεί για να ενδυναμωθεί η αντίσταση και η ανθεκτικότητα (r) έναντι πλημμυρικών φαινομένων.
- Η «Συνέπεια» (Consequence) δηλώνει τις επιπτώσεις που προκαλούνται στις πληττόμενες περιουσίες και στην αξία αυτών (v), με τις δομικές παρεμβάσεις για την μείωση των επιπτώσεων ή τις σχετικές αποζημιώσεις προς τους πληττόμενους πληθυσμούς (d).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο πλημμυρικός κίνδυνος (flood risk), μπορεί να εκφραστεί με την συνάρτηση (function) ως ακολούθως (Schanze et al. 2016):

Flood risk = function($(p, m, w, t)_{source}$, $(i, a, c)_{pathway}$, $(s, r)_{receptor}$, $(v, d)_{consequence}$)

Το μοντέλο SPRC ή άλλα παρόμοια μπορούν να εφαρμοστούν για κάθε στοιχείο σε κίνδυνο και κάθε κίνδυνο πλημμύρας. Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής και σχεδιασμού αντιπλημμυρικής προστασίας θα πρέπει επίσης να λάβουν υπόψη τις περίπλοκες αλληλεπιδράσεις που υπάρχουν μεταξύ των αναφερόμενων στοιχείων. Τελικά, αυτά τα στοιχεία σχηματίζουν το λεγόμενο «σύστημα διαχείρισης κινδύνου πλημμύρας». Η διερεύνηση των μηχανισμών αυτού του συστήματος οδηγεί σε ολοκληρωμένες λύσεις για την πρόληψη και αντιμετώπιση ακραίων πλημμυρικών φαινομένων. Η συνολική εκτίμηση κινδύνου που σχετίζεται με ένα σύστημα

κινδύνου πλημμύρας μπορεί να περιγραφεί ως το άθροισμα των κινδύνων όλων των επιμέρους στοιχείων.



Εικόνα 2.1 Το εννοιολογικό μοντέλο Source-Pathway-Receptor-Consequence-Model (SPRC-Model) (ICE, 2001, τροποποιημένο).

2.3. Ολοκληρωμένη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου

Η διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου μπορεί να οριστεί ως η συνεχής και ολιστική ανάλυση κοινωνικών παραμέτρων, αξιολόγησης και μετριασμού του κινδύνου πλημμύρας (Schanze et al., 2016). Περιλαμβάνει εργαλεία για τον περιορισμό των κινδύνων σχετικά με υφιστάμενα, υπό μελέτη ή υπό κατασκευή συστήματα για την πρόβλεψη και τον έλεγχο του πλημμυρικού κινδύνου και των αρνητικών συνεπειών στα άτομα και τις κοινωνίες, με τη βοήθεια μέσων διαχείρισης και μείωσης κινδύνου. Το εννοιολογικό μοντέλο Source-Pathway-Receptor-Consequence, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τη διαχείριση επιχειρησιακών κινδύνων πλημμύρας, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.2.

Η επιχειρησιακή λειτουργία ενός συστήματος διαχείρισης κινδύνου μπορεί να θεωρηθεί και ως ο συνδυασμός των ενεργειών που πρέπει να σχεδιαστούν και να υλοποιηθούν προκειμένου να αξιολογείται ο σχετικός κίνδυνος και να τίθεται σε εφαρμογή σε περίπτωση εκδήλωσης ενός φαινομένου μεγάλης ή μικρής κλίμακας.

Η αξιολόγηση του κινδύνου και της τρωτότητας πρέπει να εκτελούνται τακτικά προκειμένου να διενεργείται επαναξιολόγηση σύμφωνα με επικαιροποιημένες διαθέσιμες πληροφορίες ή δεδομένα. Επιπλέον, η συνεχής συντήρηση και βελτίωση του συστήματος είναι ζωτικής σημασίας για την ορθή αξιολόγηση των υπαρχόντων κινδύνων, την παρακολούθηση των αλλαγών και τη λήψη τεχνικών ή/και μη μέτρων που μειώνουν την έκθεση σε κίνδυνο. Ακόμα, θα πρέπει να ληφθούν

υπόψη μη διαρθρωτικά μέτρα σχετικά με την προετοιμασία και την ετοιμότητα έναντι πλημμύρας, προκειμένου να παρέχεται το απαραίτητο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για την περίπτωση που το πλέγμα αντιπλημμυρικής προστασίας λειτουργήσει μερικώς ή ανεπαρκώς. Τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης και τα σχέδια εκκένωσης είναι ένα σημαντικό βήμα προς την κατεύθυνση της μείωσης των καταστροφικών συνεπειών ενός σοβαρού συμβάντος, καθώς ένα αποτελεσματικό σύστημα πρόβλεψης επιτρέπει την έγκαιρη αναγνώριση και ποσοτικοποίηση ενός επικείμενου ακραίου συμβάντος πλημμύρας. Επιπροσθέτως, χωρίς αμφιβολία, ο σχεδιασμός ολοκληρωμένων σχεδίων αντιμετώπισης καταστροφών μειώνει τις απώλειες ζωών και επιταχύνει την ανθρωπιστική βοήθεια (Plate, 2002).



Εικόνα 2.2 Στάδια επιχειρησιακής λειτουργίας ενός συστήματος διαχείρισης κινδύνου (Eikenberg, 1998, τροποποιημένο).

Τέλος, ο σχεδιασμός ολοκληρωμένων μέτρων ανακούφισης μετά από φυσικές καταστροφές θα πρέπει επίσης να εισαχθεί στην εξίσωση, για την προσφορά βιώσιμων οικονομικών λύσεων και της απαιτούμενης χρηματοδότησης, συμβάλλοντας στη διαδικασία της ανοικοδόμησης των πληγεισών περιοχών.

3. Βασικές αρχές σχεδιασμού Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης έναντι Πλημμυρών (ΣΕΠΠ)

3.1. Εισαγωγή

Η σημασία του σχεδιασμού και της εφαρμογής ενός Συστήματος Έγκαιρης Προειδοποίησης έναντι Πλημμυρών (ΣΕΠΠ) είναι αδιαμφισβήτητη. Παρ' όλ' αυτά, λίγες χώρες έχουν εφαρμόσει στην πράξη συστήματα προειδοποίησης πλημμυρών. Αυτό οφείλεται εν μέρει στην τεχνική πολυπλοκότητα της πρόβλεψης με επαρκή ακρίβεια και χρόνο προειδοποίησης τα οποία απαιτούνται για να εφαρμοστεί αποτελεσματικά ένα τέτοιο σύστημα.

Ωστόσο, οι περιοχές που είναι ευάλωτες σε πλημμύρες, έχουν αρκετές ακόμα επιλογές για τη δημιουργία τοπικών ή περιφερειακών συστημάτων προειδοποίησης ή ακόμη και για τη συμμετοχή τους σε παγκόσμια συστήματα προειδοποίησης που μπορούν να προσφέρουν επιπρόσθετη προστασία έναντι πλημμυρών. Αυτές οι επιλογές περιλαμβάνουν:

- Ανίχνευση συμβάντων έντονης βροχόπτωσης μέσω δικτύων μέτρησης βροχής-απορροής, δικτύων ραντάρ, δορυφορικών αισθητήρων ή κάποιο συνδυασμό των παραπάνω.
- Άμεσες υπολογιστικές προβλέψεις (nowcasts) των άμεσα επερχόμενων πλημμυρών από εγκαίρως διαγνωσμένα έντονα φαινόμενα βροχόπτωσης.
- Ατμοσφαιρικά μοντέλα μικρής κλίμακας, πιθανώς συνδυασμένα με κατανεμημένα υδρολογικά μοντέλα, για την πρόβλεψη του κινδύνου πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης απορροής (με μικρό χρονικό βήμα υπολογισμού).

Πολλές προκλήσεις πρέπει ακόμα να αντιμετωπιστούν για να εξασφαλιστεί ότι τα ΣΕΠΠ υλοποιούνται ως ένα μέρος ενός συνολικού «Συστήματος Στρατηγικής Μείωσης Πολλαπλών Φυσικών Κινδύνων και Διακινδύνευσης» (ΣΣΜΠΦΚΔ), το οποίο αναφέρεται διεθνώς ως multihazard disaster risk reduction strategies. Αυτές οι προκλήσεις περιλαμβάνουν τη νομοθετική πρωτοβουλία, οικονομικές παραμέτρους, επιχειρησιακή οργάνωση και διοίκηση, αντιμετώπιση των τεχνικών δυσκολιών που ανακύπτουν, καθώς και τη σχετική εκπαίδευση όλων των εμπλεκόμενων μερών. Τα αποτελέσματα μιας έρευνας σε επίπεδο χωρών που διενεργήθηκε από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας το 2006-07 (WMO, 2008), έδειξαν ότι πάνω από το 70% των χωρών επιζητούν την ανάπτυξη και ενδυνάμωση των διαθέσιμων εργαλείων που διαθέτουν έναντι τέτοιων κινδύνων, όπως δίκτυο παρατηρήσεων υδρομετεωρολογικών μεγεθών, συστήματα πρόβλεψης συνεχούς χρονικού βήματος και ανάπτυξη συστημάτων επικοινωνίας τελευταίας τεχνολογίας με σκοπό την εξασφάλιση της αποτελεσματικής εφαρμογής των ΣΕΠΠ.

Μεταξύ άλλων, ένα αποτελεσματικό ΣΕΠΠ αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία:

- Ανίχνευση και πρόβλεψη κινδύνων με παράλληλη ανάπτυξη στρατηγικών εκπομπής μηνυμάτων προειδοποίησης έναντι κινδύνου.
- Αξιολόγηση δυνητικών κινδύνων και ενσωμάτωση των σχετικών πληροφοριών στα μηνύματα προειδοποίησης.
- Μετάδοση έγκαιρων, αξιόπιστων και κατανοητών μηνυμάτων προειδοποίησης στις αρμόδιες αρχές και τον πληθυσμό που είναι εκτεθειμένος σε κίνδυνο.
- Σχεδιασμός τοπικών και περιφερειακών σχεδίων έκτακτης ανάγκης, προετοιμασίας και εκπαίδευσης με έμφαση στην επίτευξη αποτελεσματικής αντίδρασης στις προειδοποιήσεις

για την ελαχιστοποίηση ανθρώπινων απωλειών και την μείωση των επιπτώσεων σε οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο.

Ο κύριος στόχος ενός ΣΕΠΠ είναι να συμβάλει ώστε τα άτομα και οι κοινότητες (στο σύνολό τους) που απειλούνται από τον πλημμυρικό κίνδυνο να είναι σε θέση να δράσουν εγκαίρως και με κατάλληλο τρόπο για τη μείωση της πιθανότητας προσωπικού τραυματισμού, απώλειας ζωής, ζημιάς σε περιουσίες και αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον.

Η εικόνα 3.1 υποδεικνύει ότι ένα ΣΕΠ που αφορά τις πλημμύρες, δύναται να ενταχθεί σε ένα συνολικό «Σύστημα Στρατηγικής Μείωσης Πολλαπλών Φυσικών Κινδύνων και Διακινδύνευσης» (ΣΣΜΠΦΚΔ). Το ΣΕΠΠ αποτελείται τόσο από υποσυστήματα που σχετίζονται με συγκεκριμένους κινδύνους όσο και από άλλα που, όταν ενσωματωθούν σε διαφορετικά επιμέρους συστήματα προειδοποίησης φυσικών κινδύνων (όπως τυφώνες, τσουνάμι ή άλλα έντονα καιρικά φαινόμενα), έχουν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν ως ένα μοναδικό, αποτελεσματικό ΣΕΠ πολλαπλών κινδύνων. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι όλα τα υποσυστήματα μοναδικά για έναν συγκεκριμένο κίνδυνο. Για ένα ΣΕΠ, οι πληροφορίες κινδύνου, τα δεδομένα και οι προβλέψεις είναι αρκετά συγκεκριμένες στο πεδίο της υδρομετεωρολογίας, ενώ τα υποσυστήματα επικοινωνίας, διακίνησης, προετοιμασίας και αντίδρασης έχουν συστατικά που μπορεί να είναι εξίσου αποτελεσματικά και για άλλους τύπους κινδύνων.



Εικόνα 3.1 Τα συστατικά ενός ΣΕΠ έναντι πλημμυρών (UCAR, 2010, τροποποιημένο).

Όσον αφορά το κόστος και τα οφέλη από την επένδυση στην αποτελεσματική Διαχείριση Φυσικών Κινδύνων (ΔΦΚ), τομέας που αναφέρεται διεθνώς ως *Natural Hazard Management*, ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών για τη Διαχείριση και Μείωση Κινδύνου (United Nations International Strategy

for Disaster Reduction, ISDR) και η Παγκόσμια Τράπεζα προτείνουν τη χρήση μεθόδων οικονομικής ανάλυσης για τη διερεύνηση της δυνατότητας επίτευξης υλοποίησης τέτοιων συστημάτων διαχείρισης φυσικών κινδύνων. Μία ανάλυση κόστους-οφέλους δεν είναι απαραίτητη μόνο για την κατανόηση του οικονομικού αποτυπώματος, της προμήθειας, της λειτουργίας και της συντήρησης τέτοιων συστημάτων, αλλά είναι επίσης εξέχουσας σημασίας για την ενίσχυση της αντίληψης ότι τα συστήματα διαχείρισης κινδύνων μπορούν να προστατεύσουν την ανθρώπινη ζωή, το περιβάλλον και την μακροπρόθεσμη κοινωνική ευημερία. Ακόμα, τέτοιες αναλύσεις παρέχουν ένα ισχυρό εργαλείο για την εξισορρόπηση των επενδύσεων σε υποδομές έναντι μακροπρόθεσμων στόχων, όπως η κοινωνική συνοχή και η οικονομική ανάπτυξη προς όφελος όλων των πολιτών.

Η δυνατότητα παροχής πληροφοριών υδρομετεωρολογικών δεδομένων και συνθηκών σε πραγματικό χρόνο, με παράλληλη αξιοποίηση της πρότερης εμπειρίας μιας συγκεκριμένης περιοχής μελέτης είναι επίσης πολύ σημαντική. Στο πλαίσιο αυτό, μπορούν να αντλούνται δεδομένα από διάφορες κατηγορίες αισθητήρων παρατήρησης που χρησιμοποιούνται για το σχηματισμό ενός πολυαισθητηριακού δικτύου, όπως:

- Υδρομετεωρολογικοί αισθητήρες για την πρόβλεψη πλημμυρών στους οποίους συμπεριλαμβάνονται βροχομετρικοί αισθητήρες, αισθητήρες καταγραφής απορροής ποταμών και ρεμάτων, ραντάρ και δορυφόροι.
- Οι αναγκαίες υποδομές για την επικοινωνία και τη συλλογή των παρατηρούμενων δεδομένων.
- Σύστημα επικοινωνιών για τη συλλογή δεδομένων και το διαμοιρασμό προειδοποιήσεων από τα τοπικά/περιφερειακά κέντρα πρόγνωσης και τα κέντρα επιχειρήσεων των μετεωρολογικών και υδρολογικών υπηρεσιών εθνικής κλίμακας.
- Διεθνείς παρατηρήσεις και συλλογή άλλων πληροφοριών, όπως του Παγκόσμιου Συστήματος Τηλεπικοινωνιών (GTS - Global Telecommunications System).

3.2. Υδρομετεωρολογικό δίκτυο παρακολούθησης

Οι παρατηρήσεις δεδομένων γης αποτελούν ουσιαστικό συστατικό των ΣΕΠΠ. Τα πολυαισθητηριακά υδρομετεωρολογικά δίκτυα, που αποτελούνται όπως προαναφέρθηκε από αισθητήρες βροχομετρικών σταθμών, ραντάρ και δορυφορικών αισθητήρων, συλλέγουν δεδομένα όπως βροχόπτωση, θερμοκρασία κ.α., χρησιμοποιούνται από μοντέλα πρόβλεψης και εισάγονται στους υδρολογικούς και υδραυλικούς υπολογισμούς για τη δημιουργία επιπλέον πληροφοριών στο πλαίσιο της εφαρμογής ενός ΣΕΠΠ, καθώς και σε άλλα συναφή συστήματα (όπως το Flash Flood Guidance). Τα υδρομετεωρολογικά δίκτυα παρακολούθησης και οι σχετικές επικοινωνίες είναι κρίσιμες παράμετροι για την επιτυχία οποιουδήποτε συστήματος πρόωρης προειδοποίησης στο πεδίο των πλημμυρών.

3.2.1. Δίκτυα μετρήσεων βροχόπτωσης, στάθμης και παροχής

Ο σκοπός ενός δικτύου μετρήσεων είναι να παρέχει ακριβείς, πραγματικού χρόνου υδρομετεωρολογικές παρατηρήσεις προκειμένου να διευκολυνθεί η προσαρμογή των αισθητήρων ραντάρ και δορυφόρων στις εκτιμήσεις βροχόπτωσης, να παρέχουν δεδομένα προς εισαγωγή στα υδρολογικά και υδραυλικά μοντέλα και να υποστηρίζουν εν συνόλω τη διαδικασία γενικών

προγνώσεων και προειδοποιήσεων έναντι πλημμύρας. Τα δίκτυα μετρήσεων συνήθως αποτελούνται από αρκετά ανεξάρτητα δίκτυα που αναπτύσσονται σε μια περιοχή ενδιαφέροντος για να δημιουργήσουν μια εισροή δεδομένων και παρατηρήσεων πραγματικού χρόνου. Σχετικές συμφωνίες διαμοιρασμού δεδομένων επιτρέπουν στους αρμόδιους φορείς να δημιουργούν ένα μόνο δίκτυο μετρήσεων αποτελούμενο από αρκετά μικρότερα δίκτυα.

Επίσης, η αξιοποίηση μιας πιθανής υφιστάμενης υποδομής αισθητήρων είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη βαθμονόμηση των μοντέλων πρόβλεψης. Χρησιμοποιώντας το ιστορικό των προηγούμενων βροχοπτώσεων και πλημμυρικών συμβάντων, τα υπολογιστικά μοντέλα πρόβλεψης μπορούν να βαθμονομηθούν κατάλληλα ώστε να αντανακλούν τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των πλημμυρών της υπό εξέταση λεκάνης και περιοχής μελέτης. Αν μια τέτοια χρονοϊστορία δεν είναι διαθέσιμη, μπορεί να χρειαστούν ακόμη και χρόνια για να συγκεκριμένα ασκαταρκής ή μη διαθέσιμη, μπορεί να χρειαστούν ακόμη και χρόνια για να συγκεντρωθούν αρκετά δεδομένα για τη βαθμονόμηση αυτών των μοντέλων. Φυσικά, όταν η υποδομή των αισθητήρων είναι ανεπαρκής ή μη διαθέσιμη, μπορούν να εγκατασταθούν νέοι αισθητήρες ώστε να καλυφθούν πιθανά κενά στην κάλυψη ή να αντικατασταθούν αντίστοιχοι που λειτουργούν με παλαιότερες τεχνολογίες. Ωστόσο, επειδή οι αισθητήρες σε νέες τοποθεσίες απαιτούν χρόνο για να συσσωρεύσουν ένα ιστορικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πρόβλεψη και βαθμονόμηση μοντέλων, είναι πάντα προτιμότερο να συνεχίζεται η χρήση των υφιστάμενων, έστω και για ένα διάστημα προσαρμογής. Συνιστώνται αυτόματοι αισθητήρες πραγματικού χρόνου για να εξασφαλιστεί η άμεση δειγματοληψία και μετάδοση κρίσιμων παρατηρήσεων σε ένα κέντρο πρόβλεψης και διαχείρισης.

Ακόμα, οι αισθητήρες είναι σημαντικοί για πολλούς λόγους, μεταξύ των οποίων:

- Αξιολόγηση κινδύνου και υποστήριξη στη διαδικασία έκδοσης προειδοποίησης.
- Βαθμονόμηση ραντάρ, επιλέγοντας αισθητήρες σε διάφορες υψομετρικές θέσεις και καλύπτοντας όλη την περιοχή μελέτης.
- Βελτίωση του προκαταρκτικού σφάλματος στην εκτίμηση βροχόπτωσης από δορυφόρο.
- Βαθμονόμηση αριθμητικών μοντέλων πρόβλεψης.

Υπό κανονικές συνθήκες, η εγκατάσταση αυτόματων αισθητήρων βροχόπτωσης και παροχής σε περιοχές μεγάλου ενδιαφέροντος πρέπει να είναι εκτεταμένη, δυστυχώς όμως, κυρίως για οικονομικούς λόγους, δεν είναι εφικτό να εφαρμόζεται πάντα η παραπάνω στρατηγική στην πράξη. Οι αισθητήρες παροχής πρέπει να λαμβάνουν παρατηρήσεις τόσο από μεγάλες όσο και από μικρότερες λεκάνες απορροής για να βελτιώσουν τη βαθμονόμηση του υδρολογικού και υδραυλικού μοντέλου. Οι αισθητήρες βροχόπτωσης που στοχεύουν στη βαθμονόμηση ραντάρ πρέπει να έχουν τουλάχιστον ρυθμό δειγματοληψίας τα 15 λεπτά, με υψομετρική και χωρική διακύμανση.

Για εφαρμογές πρόβλεψης πλημμυρών ταχείας απόκρισης, τα δίκτυα μετρήσεων βροχόπτωσης πρέπει να αποτελούνται από αισθητήρες, αλλά και μια πλατφόρμα συλλογής δεδομένων (data collection platform, DCP), μια μονάδα παροχής και διαχείρισης ενέργειας, και μία συσκευή μετάδοσης σημάτων και επικοινωνίας. Αυτά μπορούν να συνδυαστούν με μια σειρά αισθητήρων καιρού που καταγράφουν μεγέθη όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η βαρομετρική πίεση, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου κ.α. Η πλατφόρμα συλλογής δεδομένων καταγράφει την ένδειξη από τον αισθητήρα, την αποθηκεύει και τη μεταδίδει για απομακρυσμένη ανάκτηση από τις

αρμόδιες αρχές. Όπως και με τους αισθητήρες βροχόπτωσης, οι αισθητήρες στάθμης και παροχής περιλαμβάνουν ένα μέσο μέτρησης, μια πλατφόρμα συλλογής δεδομένων (DCP), μια μονάδα παροχής και διαχείρισης ενέργειας, καθώς και μια συσκευή επικοινωνίας και μετάδοσης πληροφοριών.

3.2.2. Δίκτυα ραντάρ καιρού

Μια βασική λειτουργία ενός δικτύου ραντάρ καιρού είναι να παρέχει εκτίμηση βροχής υψηλής ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο σε μια περιοχή ενδιαφέροντος. Τα ραντάρ καιρού αποτελούν ισχυρά εργαλεία για την υδρομετεωρολογική παρακολούθηση και πρόβλεψη λόγω της ικανότητάς τους να χαρακτηρίζουν τα σύννεφα που είναι ικανά να παράξουν βροχή σε ένα μεγάλο εύρος, αντίθετα από τη μετρητική ικανότητα ενός αισθητήρα στο έδαφος. Το ραντάρ μπορεί να ανιχνεύει το σχηματισμό νεφών, να παρακολουθεί την κίνησή και την εξέλιξή τους, να εξετάζει την εσωτερική τους δομή και να κάνει ποσοτικές εκτιμήσεις της βροχής που δύνανται να παράξουν.

Όσον αφορά την ένταση βροχόπτωσης, είναι ουσιώδες να γνωρίζουμε τα μοτίβα της τοπικής έντασης της βροχής κατά την εξέταση της εγκατάστασης ενός δικτύου ραντάρ. Συγκεκριμένα, πρέπει να αντιμετωπιστεί το ζήτημα της απόκρυψης του σήματος του ραντάρ (radar signal attenuation). Η απόκρυψη των σημάτων του ραντάρ αυξάνεται όσο μικραίνει το μήκος κύματος του και όσο αυξάνεται η ένταση της βροχόπτωσης, το μήκος της διαδρομής μέσα από τη βροχόπτωση και το μέσο μέγεθος των σταγονιδίων βροχής.

Η τοπογραφία της περιοχής μελέτης αποτελεί άλλη μια πρόκληση που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό του δικτύου ραντάρ. Για τη βέλτιστη δειγματοληψία της βροχόπτωσης, είναι καλύτερο το σημείο εκπομπής της δέσμης να βρίσκεται όσο το δυνατόν χαμηλότερα προς το έδαφος. Αυτός ο στόχος είναι συχνά δύσκολο να επιτευχθεί σε μια περιοχή με συνδυασμό κορυφογραμμών και γειτονικών κοιλάδων, που καμιά φορά απαιτεί από τη δέσμη του ραντάρ να βρίσκεται αρκετά υψηλότερα από το έδαφος. Είναι επίσης κρίσιμο να μην επεκτείνεται η δέσμη σε επίπεδα ανώτερα της ζώνης δημιουργίας του μεγαλύτερου ποσοστού του όγκου της βροχόπτωσης. Σε κάθε περίπτωση, το επιλεχθέν μήκος κύματος του ραντάρ ή ο συνδυασμός πολλών ραντάρ σε μια περιοχή μελέτης αποτελεί μία απόφαση που πρέπει να παρθεί σε επίπεδο σχεδιασμού ενός συστήματος. Για παράδειγμα, μια συνδυαστική χρήση ραντάρ παρακολούθησης C-band (περίπου 5 cm μήκος κύματος) ή S-band (περίπου 10 cm μήκος κύματος), και ενός ραντάρ X-band (2.5 έως 4 cm μήκος κύματος) με μικρότερη εμβέλεια (< 40 km) μπορεί να είναι πιο αποτελεσματική σε μια περιοχή με περίπλοκη τοπογραφία.

Το εύρος της επιθυμητής κάλυψης αποτελεί μία ακόμα σημαντική παράμετρο. Ο αριθμός των σταθμών που απαιτούνται για να επιτευχθεί επαρκής κάλυψη του δικτύου δεν εξαρτάται μόνο από το φαινόμενο της απόκρυψης και το έδαφος, αλλά επηρεάζεται επίσης από το εύρος του ραντάρ. Με την αύξηση του εύρους, το οριζόντιο και κατακόρυφο μέγεθος οποιασδήποτε δέσμης ραντάρ αυξάνεται, μειώνοντας τη δυνατότητά της να αναλύει ατμοσφαιρικά φαινόμενα. Επιπλέον, η γωνία με την οποία εκπέμπονται οι ακτίνες του ραντάρ σε συνδυασμό με την καμπυλότητα της επιφάνειας της γης, δύνανται να ανεβάσουν σημαντικά τη δέσμη του ραντάρ, σε πεδίο διαφορετικό από το επιθυμητό. Αυτό μπορεί να προκαλέσει σημαντική απώλεια της εκτιμώμενης πληροφορίας των σωματιδίων βροχής που δημιουργούνται σε μια ζώνη άνωθεν ή κάτωθεν από την επιθυμητή (εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2 Οι προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή δικτύου ραντάρ σε έδαφος με υψομετρικές διακυμάνσεις (UCAR, 2010, τροποποιημένο).

3.2.3. Δίκτυο δορυφόρων

Μέσω των μετεωρολογικών δορυφόρων είναι εφικτή αφενός η συλλογή και η μετάδοση δεδομένων και αφετέρου η διευκόλυνση της επικοινωνίας κατά τη μεταφορά δεδομένων από διάφορες πλατφόρμες συλλογής δεδομένων, όπως οι αισθητήρες βροχόπτωσης, στάθμης και παροχής.

Σε πολλές περιοχές χωρίς επαρκή κάλυψη από κάποιο δίκτυο ραντάρ, τα δεδομένα από δορυφόρους αποτελούν τον κύριο τρόπο για την εκτίμηση της βροχόπτωσης μέσω:

- Υπέρυθρων αισθητήρων (infrared sensors)
- Παθητικών αισθητήρων μικροκυμάτων (passive microwave sensors)
- Δορυφορικών ενεργών αισθητήρων μικροκυμάτων (space-based active microwave sensors)

Η συνδυασμένη χρήση επίγειων αισθητήρων με αντίστοιχους που χρησιμοποιούν τεχνολογίες βάσει δορυφόρων μπορεί να προσδώσει ακρίβεια και ελαχιστοποίηση των αβεβαιοτήτων, ειδικά στην εκτίμηση της βροχόπτωσης.

3.3. Υποδομή τηλεπικοινωνιακών δικτύων

Η αξιοπιστία στην επικοινωνία μεταξύ των δικτύων υδρομετεωρολογικής παρατήρησης και του κέντρου πρόβλεψης είναι κρίσιμη για την επιτυχία ενός ΣΕΠΠ. Χωρίς την έγκαιρη και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων από κάθε αισθητήρα (με σκοπό την αξιοποίησή τους μέσω αριθμητικών μοντέλων), δεν είναι δυνατή η αξιολόγηση και η επαρκής αντίδραση σε κάποιο πιθανό πλημμυρικό φαινόμενο. Τα δεδομένα από τοπικά δίκτυα παρακολούθησης εξαρτώνται συνήθως από σταθερές ή ασύρματες επικοινωνίες, το διαδίκτυο, τη ραδιοτηλεφωνία, τη ραδιοφωνία UHF/VHF κ.α. Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν ποια είδη επικοινωνίας θα χρησιμοποιηθούν περιλαμβάνουν τα παρακάτω:

- Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων
- Διαθεσιμότητα πηγών ενέργειας για την απρόσκοπτη λειτουργία

- Εγγύηση μετάδοσης δεδομένων, για παράδειγμα τη δημιουργία ειδικά διαμορφωμένου δικτύου έναντι κάποιου κοινόχρηστου
- Διαθεσιμότητα υποδομής τηλεπικοινωνιών για κάποια εξεταζόμενη τοποθεσία
- Διαθεσιμότητα επαρκών χρηματικών πόρων για την εγκατάσταση

Κατά την επιλογή ενός συστήματος επικοινωνίας για την εγκατάσταση αισθητήρων, ένα από τα σημαντικά στοιχεία που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η αξιοπιστία του υπό ακραίες καιρικές συνθήκες. Για παράδειγμα, σχετικά με τα ΣΕΠΠ, κάποιοι από τους υδρομετρικούς αισθητήρες βροχόπτωσης μπορεί να τοποθετηθούν σε μια περιοχή που είναι επιρρεπής σε εδαφική αποσάρθρωση ή κατολισθήσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι πιθανή η απώλεια των τηλεπικοινωνιών ή εκτενείς βλάβες στο δίκτυο ηλεκτροδότησης, με συνέπεια να γίνεται απαραίτητη η χρήση δορυφορικών δεδομένων, η άντληση των οποίων δεν υπόκειται σε τέτοιου είδους περιορισμούς. Για αυτούς τους λόγους, θεμιτό είναι τα κρίσιμα δεδομένα να συλλέγονται από πολλά και μη αλληλοεξαρτώμενα δίκτυα επικοινωνίας.

3.4. Χρήση κατάλληλων λογισμικών και υλικοτεχνικής υποδομής

Ένα κέντρο επιχειρήσεων σχετικό με τα ΣΕΠΠ πρέπει να είναι σε θέση να επεξεργάζεται και να αναλύει υδρομετεωρολογικά δεδομένα (βροχόπτωσης, στάθμης, παροχής) από ποικίλες πηγές (για παράδειγμα ραντάρ και δορυφόρους) για την εκτίμηση της εμφάνισης μιας πλημμύρας και την πρόβλεψη των επιπτώσεών αυτής. Συνεπώς, είναι επιτακτική η ανάγκη χρήσης εξειδικευμένου λογισμικού, καθώς και η διάθεση εξελιγμένου τεχνολογικού εξοπλισμού. Τα παραπάνω απαιτούνται με σκοπό τη συλλογή, επεξεργασία, παρακολούθηση και αξιολόγηση των διαθέσιμων δεδομένων με τρόπο αποτελεσματικό και επιστημονικά αποδεκτό. Επαγωγικά, προκύπτει ότι απαιτείται οι διαδικασίες ανάπτυξης, συντήρησης, εντοπισμού προβλημάτων και λειτουργιών να τυποποιούνται για την εξοικονόμηση χρόνου και πόρων.

Οι συναφείς εφαρμογές που χρησιμοποιούνται στο πλαίσιο ενός ΣΕΠΠ πρέπει να παρέχουν τα απαραίτητα εργαλεία για τη διατήρηση της ενημέρωσης, της συνεργασίας με άλλα κέντρα, τη λήψη αποφάσεων, την προετοιμασία των αναλύσεων και την έγκαιρη διάθεση αυτών των αποτελεσμάτων. Η εμπειρία υποδηλώνει ότι οι λειτουργίες εφαρμογής και υποστήριξης των ΣΕΠΠ μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες, όπως:

- Συλλογή δεδομένων παρατήρησης σε πραγματικό χρόνο, ιδιαιτέρως δεδομένων βροχόπτωσης, στάθμης και παροχής
- Επεξεργασία και αποθήκευση δεδομένων
- Παρακολούθηση δεδομένων για την υπέρβαση προκαθορισμένων ορίων και κριτηρίων
- Υπολογισμός επιπρόσθετων κρίσιμων μεγεθών ή παραμέτρων βάσει δεδομένων και παρατηρήσεων
- Τρόπος απεικόνισης δεδομένων και συνεπακόλουθων πληροφοριών
- Δημιουργία και διάθεση πληροφοριών στις αρμόδιες αρχές και στους εκτεθειμένους σε κίνδυνο πολίτες

Τα παρακάτω είναι μερικές μόνο λειτουργίες που απαιτούν σημαντικό υπολογιστικό φόρτο στο πλαίσιο της υποστήριξης ενός ΣΕΠΠ:

• Συλλογή, αποκωδικοποίηση και ψηφιακή αποθήκευση παρατηρήσεων δεδομένων γης

- Διαχείριση σχετικής βάσης δεδομένων παρατηρήσεων και μεταδεδομένων
- Έλεγχος εισερχόμενων δεδομένων, ποιοτικός έλεγχος και διατήρηση ή απόρριψη μετρήσεων
- Παρουσίαση δεδομένων με αριθμητικούς πίνακες αναφορών από τους αισθητήρες, καθώς και με γραφικές και χαρτογραφημένες προβολές
- Σύγκριση εκτιμήσεων βροχόπτωσης σύμφωνα με προκαθορισμένους δείκτες, όπως το Flash Flood Guidance (FFG), και έκδοση προειδοποίησης
- Υπολογισμός ρυθμού μεταβολής κρίσιμων μεγεθών και εξαγωγή τιμών πρόβλεψης/πρόγνωσης
- Διόδευση πλημμυρών ή χωρική εκτίμηση βροχόπτωσης προς τα ανάντη ή κατάντη, σύγκριση με το ύψος πλημμύρας κ.α.
- Χαρτογράφηση και εμφάνιση δεδομένων ανάκλασης ραντάρ σε πραγματικό χρόνο με παράλληλη έκδοση προειδοποίησης στην περίπτωση υπέρβασης προκαθορισμένων ορίων
- Σύγκριση δεδομένων ανάκλασης ραντάρ μέσω σχέσεων Z-R, όπως τη σχέση μεταξύ ανάκλασης ραντάρ και ρυθμού βροχόπτωσης με μορφή δυναμικού νόμου
- Διαμοιρασμός αποτελεσμάτων μέσω κατάλληλων καναλιών επικοινωνίας

Όσον αφορά τις απαιτήσεις συντήρησης, ένα καλά συντονισμένο και υποστηριγμένο πρόγραμμα συντήρησης είναι κρίσιμο για την επιτυχία ενός κέντρου διαχείρισης ΣΕΠΠ. Το εύρος των απαιτήσεων του προγράμματος συντήρησης θα εξαρτηθούν από το είδος του εγκατεστημένου εξοπλισμού, συνυπολογίζοντας τη συντήρηση του λογισμικού, των χρησιμοποιούμενων υλικών και την κατάλληλη εκπαίδευση των χρηστών και των τεχνικών που θα το εφαρμόζουν στην πράξη.

3.5. Διαδικασία έκδοσης προειδοποιήσεων ενός ΣΕΠΠ

Στο πλαίσιο ενός ΣΕΠΠ, σε περίπτωση ανάγκης, το μήνυμα προειδοποίησης πρέπει να είναι κατανοητό και να καλεί τα άτομα και τις ομάδες που το λάβουν να εκτελέσουν συγκεκριμένες ενέργειες και δράσεις. Είναι δεδομένο ότι η επιτυχία του συστήματος προειδοποίησης εξαρτάται άρρηκτα από την επικοινωνία κρίσιμων πληροφοριών προς τα μέρη που επηρεάζονται από ένα ακραίο γεγονός με σκοπό τη διάσωση ανθρώπινων ζωών και τη μείωση της έκθεσης περιουσιών σε κίνδυνο.

Μόλις έχει καθοριστεί η πιθανότητα εμφάνισης ενός πλημμυρικού γεγονότος και έχει ληφθεί απόφαση για το πιθανό αντίκτυπο του σε μια περιοχή μελέτης, πρέπει οι εν λόγω πληροφορίες να διαμοιραστούν στα ενδιαφερόμενα μέρη. Οι πληροφορίες, ειδικά αυτές που περιέχονται στα μηνύματα προειδοποίησης και αφορούν την προστασία ανθρώπινων ζωών, θα συντελέσουν τον σκοπό τους αν διατυπώνονται με συνοπτική, ευανάγνωστη γλώσσα και με τρόπο προβλέψιμο, ευδιάκριτο και οικείο. Αυτά τα μηνύματα είναι κρίσιμα για την επιτυχία του συστήματος καθώς εάν οι πληροφορίες που περιέχονται σε αυτά δεν είναι κατανοητές, είναι λιγότερο πιθανό να ληφθούν οι κατάλληλες ενέργειες από τους αποδέκτες τους.

3.5.1. Η μέθοδος «Ready, Set, Go»

Η μέθοδος τριών βημάτων «Ready, Set, Go» χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις για να κοινοποιήσουν οι αρμόδιες αρχές τη σοβαρότητα και το χρονικό πλαίσιο ενός αναμενόμενου

πλημμυρικού φαινομένου. Αυτή η έννοια αντικατοπτρίζεται στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες καταστάσεων βάσει σχετικής υδρολογικής ανάλυσης:

- Προοπτική ("Ready") χρησιμοποιείται για να υποδείξει ότι μια πλημμύρα είναι πιθανό να αναπτυχθεί σχετικά σύντομα. Έχει σκοπό να παρέχει πληροφορίες σε όσους χρειάζονται σημαντικό χρονικό διάστημα (της τάξεως ημερών) για την προετοιμασία αντιμετώπισης ενός πλημμυρικού φαινομένου.
- Προειδοποίηση ("Set") χρησιμοποιείται όταν η προσδοκία πραγματοποίησης ενός πλημμυρικού συμβάντος έχει αυξηθεί, αλλά η εμφάνισή του, η τοποθεσία ή/και ο χρόνος παραμένει αβέβαιος. Σκοπός της είναι να παρέχει αρκετό χρονικό διάστημα προετοιμασίας (της τάξεως ωρών).
- Προειδοποίηση για άμεση πλημμύρα ("Go") εκδίδεται χωρίς να ληφθεί υπόψη το χρονικό πλαίσιο, όταν ένα συμβάν λαμβάνει χώρα ή έχει πολύ υψηλή πιθανότητα εμφάνισης.
- Στάδιο καταγραφής και παρακολούθησης του φαινομένου έκδοση ειδοποιήσεων και ενημερωτικών μηνυμάτων για την κατάσταση του φαινομένου.

3.5.2. Διαχείριση αβεβαιότητας σε επιχειρησιακό πλαίσιο

Πολλές φορές, κατά τη διαδικασία έκδοσης προειδοποιήσεων, υπεισέρχεται σημαντική αβεβαιότητα που σχετίζεται τελικώς με την εμφάνιση ή μη μιας πλημμύρας. Η αβεβαιότητα στην εκτίμηση της βροχόπτωσης είναι η μεγαλύτερη πηγή αβεβαιότητας και μπορεί να οδηγήσει στην υποεκτίμηση ή υπερεκτίμηση ενός φαινομένου, ιδίως σε μικρές λεκάνες απορροής (μικρότερες από 100 km²). Αυτό οφείλεται στην αβεβαιότητα που υπεισέρχεται στους υπολογισμούς των ραντάρ, των βροχομετρικών σταθμών, στη χωρική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης, στην εκτίμηση της εδαφικής υγρασίας, όπως και στις εν γένει αβεβαιότητες των χρησιμοποιούμενων υδρολογικών και υδραυλικών μοντέλων, τα οποία δύναται να εμφανίσουν σημαντικά σφάλματα στους υπολογισμούς σε πραγματικό χρόνο.

Τη μεγαλύτερη πρόκληση ενός ΣΕΠΠ αποτελεί ο καθορισμός της ισορροπίας ανάμεσα στην πρόβλεψη ή έκδοση προειδοποίησης έναντι πλημμύρας σε προχωρημένο χρονικό πλαίσιο έναντι μιας επιτυχούς και ακριβούς προειδοποίησης, με παράλληλη προσπάθεια ώστε το σύστημα στο σύνολό του να χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη δυνατή αξιοπιστία, κυρίως εκ μέρους των αποδεκτών των εν λόγω προειδοποιητικών μηνυμάτων. Όσο μεγαλύτερο χρονικό πλαίσιο δοθεί σε μια προειδοποίηση, τόσο λιγότερη ακρίβεια ενέχει η πρόβλεψη. Οι προειδοποιήσεις πρεειδοποιήσεις και να λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα. Από την άλλη μεριά, η καθυστέρηση στην έκδοση μιας προειδοποιήσεις και να λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα. Από την άλλη μεριά, η καθυστέρηση στην έκδοση μιας προειδοποιήσης μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικές απώλειες. Οι υπεύθυνοι της διαχείρισης τέτοιων καταστάσεων τείνουν να δρουν υπέρ της ασφαλείας, επιλέγοντας να εκδώσουν προειδοποιήσεις για συμβάντα υψηλής αβεβαιότητας ως προς την εμφάνισή τους, λόγω του κινδύνου πρόκλησης μεγάλων απωλειών σε περίπτωση μη επαρκούς προειδοποίησης με όλες τις συνέπειες που αυτό μπορεί να επιφέρει.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι «ψευδείς» προειδοποιήσεις, δηλαδή αυτές που εκδίδονται χωρίς να προκληθεί τελικώς ένα πλημμυρικό φαινόμενο κοστίζουν σημαντικά σε οικονομικό επίπεδο και υπονομεύουν την αξιοπιστία ενός ΣΕΠΠ στο σύνολό του. Σε γενικές γραμμές όμως, είναι πολύ λιγότερο δαπανηρές σε σχέση με μια κατάσταση κατά την οποία μια πλημμύρα λαμβάνει χώρα

χωρίς προειδοποίηση. Οι αρμόδιοι φορείς πρέπει να είναι προετοιμασμένοι να εκπέμπουν προειδοποιήσεις, ακόμα και αν υπάρχει υψηλό επίπεδο αβεβαιότητας σχετικά με την πιθανή εμφάνιση ενός γεγονότος, καθώς οι πληροφορίες που απαιτούνται για τη μείωση αυτής της αβεβαιότητας ενδέχεται να είναι διαθέσιμες σε ένα εξαιρετικά μικρό χρονικό διάστημα προτού συμβεί ένα δυσμενές γεγονός. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ενδέχεται να υπάρξουν ακόμα και θύματα λόγω μη έγκαιρης επίσημης προειδοποίησης, η οποία δεν άφησε επαρκή χρόνο αντίδρασης στους αποδέκτες του μηνύματος.

4. Χρήση νέων τεχνολογιών στα ΣΕΠΠ: Εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης και εθελοντικού διαμοιρασμού δεδομένων

Τις τελευταίες δεκαετίες, η εξέλιξη της τεχνολογίας, του διαδικτύου, των υπηρεσιών νέφους διαδικτύου (cloud) καθώς και τα αυξημένα ποσοστά κατοχής έξυπνων κινητών συσκευών από μια μεγάλη μερίδα των πολιτών έχει δημιουργήσει τις απαραίτητες προϋποθέσεις ώστε ο στρατηγικός σχεδιασμός αντιπλημμυρικής προστασίας σε κεντρικό επίπεδο να εισέλθει στη νέα εποχή, με χρήση υπηρεσιών εθελοντικού διαμοιρασμού δεδομένων (crowdsourcing). Αυτές οι υπηρεσίες χαρακτηρίζονται από καινοτομία, φρέσκες ιδέες και χρήση των πιο σύγχρονων τεχνικών ανάλυσης και αξιοποίησης δεδομένων, όπως η μηγανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται κάποιες εκφάνσεις αυτών των νέων τεχνολογιών που αξιοποιούνται όλο και περισσότερο, συμπληρωματικά και σε συνδυασμό με τις παραδοσιακές μεθόδους άντλησης και εξόρυξης υδρολογικών και υδραυλικών πληροφοριών που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3. Στις παρακάτω ενότητες παρατίθενται καλές πρακτικές και εμπειρίες από την εφαρμογή υπηρεσιών crowdsourcing σε πολλά σημεία παγκοσμίως, διασαφηνίζονται τρόποι αξιοποίησης τέτοιων δεδομένων για σκοπούς υδρολογικής και υδραυλικής βαθμονόμησης των εξεταζόμενων μοντέλων, παρουσιάζονται αρχές σχεδιασμού ιστοσελίδων και εφαρμογών κινητών τηλεφώνων που επιτρέπουν τον διαμοιρασμό πληροφοριών και αναλύονται οι τεχνολογικές καινοτομίες που συνοδεύουν την εφαρμογή τους.

Η ανάγκη αντιμετώπισης των επιπτώσεων και προστασίας έναντι των πλημμυρών, σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας, των υπηρεσιών με βάση το διαδίκτυο και την εξοικείωση των πολιτών με τις έξυπνες εφαρμογές που είναι εγκατεστημένες στα κινητά τηλέφωνα, προσφέρει επιπλέον δυνατότητες στη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου που ήταν αδύνατο να αναλογιστούμε πριν από λίγες δεκαετίες, μιας και τα διαθέσιμα δεδομένα ήταν τάξεις μεγέθους μικρότερα. Τα τελευταία χρόνια, η εξέλιξη αυτών των τεχνολογιών έχει εισάγει διάφορες μεθοδολογίες συλλογής και αξιοποίησης δεδομένων που παρέχονται από τους χρήστες σε ερευνητές και στους αρμόδιους φορείς μέσω υπηρεσιών crowdsourcing (Helmrich et al., 2021; Holderness και Turpin, 2015; Mazzoleni et al., 2017).

Ιδιαίτερη αξία χαρακτηρίζει την εξόρυξη δεδομένων από περιοχές με υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα μέσω εφαρμογών εθελοντικού διαμοιρασμού τέτοιων δεδομένων ή ακόμα και μέσω των μέσων κοινωνικής δικτύωσης, ειδικά στην περίπτωση έκτακτης ανάγκης που οφείλεται σε κάποια φυσική καταστροφή (Middleton et al, 2014; Abedin et al, 2014).

Επίσης, τα τελευταία χρόνια συζητείται στον δημόσιο διάλογο ο σαφής καθορισμός των αρμοδιοτήτων όσον αφορά τις ευθύνες των εθνικών κυβερνήσεων και των τοπικών αρχών στο ζήτημα της αντιπλημμυρικής προστασίας. Εμβαθύνοντας σε μια τέτοια λογική, γίνονται προσπάθειες ώστε οι ίδιοι οι πολίτες να συνεισφέρουν με δεδομένα σε άμεσο χρόνο συμβάλλοντας στην πλημμυρική θωράκιση (When και Evers, 2015).

4.1. Λογική βάση και κύριες έννοιες

Ο εθελοντικός διαμοιρασμός δεδομένων που σχετίζονται με φυσικές καταστροφές και δη με πλημμυρικά φαινόμενα μέσω τεχνολογιών crowdsourcing μπορεί να έχει θεμελιώδες θετικό αποτύπωμα σε όλη τη στρατηγική χάραξης αντιπλημμυρικής προστασίας, καθώς και άμεσης αντιμετώπισης έκτακτων καταστάσεων σε πραγματικό χρόνο. Τα μέσα που γίνεται ο εν λόγω διαμοιρασμός είναι η άντληση δεδομένων από τις αναρτήσεις που δημοσιεύουν οι χρήστες στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης (Twitter, Facebook, Instagram κ.α.) και οι οποίες σχετίζονται με κάποια φυσική καταστροφή, η αποστολή ποικίλων δεδομένων με χρήση κάποιας εξειδικευμένης ιστοσελίδας στο διαδίκτυο, είτε μέσω εφαρμογών που είναι διαθέσιμες στα κινητά τηλέφωνα και λειτουργούν υπό την αιγίδα της πολιτείας ή κάποιου ερευνητικού ιδρύματος (Verbeiren et al., 2019).

Τα περισσότερα από αυτά τα οργανωμένα προγράμματα επικεντρώνονται σήμερα περισσότερο στην καταγραφή των συνεπακόλουθων καταστροφών παρά στην ποσοτικοποιημένη εκτίμηση σχετικών υδραυλικών χαρακτηριστικών που προκύπτουν από πλημμυρικά φαινόμενα. Παρόλαυτά, αν και τέτοιου είδους δεδομένα χαρακτηρίζονται τις περισσότερες φορές από χαμηλή ποιότητα και αξιοπιστία, η επεξεργασία και η χαρτογραφική τους απεικόνιση μπορεί να προσφέρει πολύπλευρο θετικό αποτύπωμα στην χωροχρονική ανάλυση των χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας και στην εκτίμηση των πιθανών καταστροφών από νέα ακραία γεγονότα. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της πλατφόρμας *Flooded streets*, μέσω της οποίας κάθε πολίτης μπορεί να κοινοποιήσει σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες σχετικά με το αν κάποιος δημόσιος δρόμος είναι απροσπέλαστος λόγω πλημμύρας (Naik, 2016).

Όσον αφορά το διαμοιρασμό πληροφοριών διαμέσου των μέσων κοινωνικής δικτύωσης, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι πολλές φορές προκύπτουν δυσκολίες σχετικά με τον γεωγραφικό προσδιορισμό ενός συμβάντος μικρής κλίμακας (για παράδειγμα τη διακοπή της κυκλοφορίας σε έναν δρόμο λόγω πλημμύρας). Για το λόγο αυτό, έρευνες έχουν αναδείξει της δυνατότητας κατηγοριοποίησης των αναρτήσεων βάσει του περιεχομένου τους, μιας και σε περίπτωση αναφοράς της ακριβούς τοποθεσίας, η δυνατότητα αξιοποίησης αυτής της πληροφορίας αυξάνεται από το 69% στο 90% (Eilander et al, 2016). Ανασταλτικός παράγοντας τέτοιου είδους μεθόδων αποτελεί η δυσκολία αυτοματοποίησης της όλης διαδικασίας σε μικρή χωρική κλίμακα, γι' αυτό και επιτελείται σημαντική έρευνα στο πεδίο των τεχνικών μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης για την επεξεργασία πληροφοριών σε φυσική γλώσσα και στη γεωγραφική απεικόνιση αυτών των πληροφοριών ώστε να γίνεται βέλτιστη αξιοποίηση των πολλών δεδομένων που αναρτώνται στο διαδίκτυο, αναγνωρίζοντας σχετικά χωρικά και χρονικά μοτίβα. Χωρίς τέτοιου είδους μεθόδους, η διαθέσιμη υδρολογική πληροφορία στις περισσότερες των περιπτώσεων παραμένει ανεκμετάλλευτη (Wang, 2021).

Μια ακόμα παράμετρος που πρέπει να εξεταστεί είναι το εύρος και η ακρίβεια των διατιθέμενων δεδομένων. Οι προκλήσεις που αναδύονται είναι πολλές με κυριότερη τη δυσκολία αποσαφήνισης και κατηγοριοποίησης των δεδομένων που αντιστοιχούν σε πραγματικά πλημμυρικά φαινόμενα και εκείνων που αντιστοιχούν σε μια συνηθισμένη κατάσταση (όπως για παράδειγμα σε ποτάμια ροή). Έτσι, γίνεται συχνά ο διαχωρισμός σε δεδομένων και των εξαγόμενων συμπερασμάτων της εκάστοτε

επεξεργασίας (Wang et al., 2018). Οι παραδοσιακές μέθοδοι εξόρυξης πληροφοριών υστερούν τόσο στην ανάλυση όσο και στην γεωγραφική κάλυψη των πληροφοριών που παρέχουν. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται κυρίως μέθοδοι τηλεπισκόπησης, όπως οι αεροφωτογραφίες και η χρήση ραντάρ, μιας και η εφαρμογή τους περιορίζεται από παράγοντες όπως η χλωρίδα και η νέφωση που αλλοιώνουν την πραγματική απεικόνιση, εισάγοντας συστημικά σφάλματα στις εν λόγω εκτιμήσεις (Hess et al., 1995, 2003). Τα προβλήματα αυτά τις περισσότερες φορές προκύπτουν λόγω της μη εγκατάστασης συστημάτων σταθμών μετρήσεων σε κρίσιμες ποτάμιες ή παράκτιες περιοχές, το οποίο οφείλεται είτε σε οικονομικούς είτε σε πρακτικούς λόγους. Η έλλειψη τέτοιων αξιόπιστων δεδομένων αναπόφευκτα οδηγεί στη δυσκολία βαθμονόμησης και επαλήθευσης των εφαρμοζόμενων υδρολογικών και υδραυλικών μοντέλων.

Επίσης, πέρα από την αξιοπιστία των δεδομένων, σημαντικό ζήτημα προκύπτει από τη διαθέσιμη χρονική διακριτότητά τους, μιας και, για παράδειγμα, οι δορυφόροι μεταδίδουν πληροφορίες σχετικά γρήγορα, αλλά το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο μεταδόσεων για πολλούς από αυτούς κρίνεται ως μεγάλο. Ο χρόνος διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο σε περιπτώσεις έκτακτων αναγκών για την πολιτική προστασία και τις επιχειρήσεις διάσωσης, απαιτώντας ταχεία εκτίμηση της επικινδυνότητας της κατάστασης και την ανάληψη άμεσης δράσης, αξιοποιώντας κάθε διαθέσιμη πηγή πληροφορίας, όπως τα δορυφορικά δεδομένα, τις επίγειες παρατηρήσεις, τα δεδομένα crowdsourcing κ.α. Η είσοδος συστημάτων crowdsourcing σε αυτό το πλέγμα με σκοπό τη λήψη επιχειρησιακών αποφάσεων μπορεί να προσφέρει σημαντική ταχύτητα και βελτιστοποιημένες επιλογές (Li et al., 2018).

4.2. Τεχνολογικές καινοτομίες

Οι νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε υπηρεσίες crowdsourcing, καθώς και οι καινοτομίες που συνοδεύουν την εφαρμογή τους είναι πολλές. Ενδεικτικά, μερικές από αυτές είναι:

- Το αντικείμενο της αξιοποίησης των μηχανισμών και διάφορων καινοτόμων μεθοδολογιών στο πεδίο της Επεξεργασίας Φυσικής Γλώσσας (Natural Language Processing, NLP), μέσω μηχανικής μάθησης και τεχνητής νοημοσύνης, είναι μεγάλης σημασίας. Η κύρια εφαρμογή αυτών των τεχνολογιών αφορά την επεξεργασία κειμένου που αναρτούν οι χρήστες κυρίως σε οργανωμένες πλατφόρμες crowdsourcing, με την εμπειρία του χρήστη και τη δυνατότητα αξιοποίησης των παρεχόμενων πληροφοριών σε αυτές τις περιπτώσεις να χαρακτηρίζεται από αυτοματοποίηση. Εν αντιθέσει, η εξόρυξη δεδομένων μέσα από συνεχές κείμενο στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης είναι μια σαφώς δυσκολότερη διαδικασία (Hirschberg και Μanning, 2015), η οποία απαιτεί τεχνογνωσία και ολοκληρωμένη διαχείριση με σκοπό την άμεση έκδοση συμπερασμάτων για επιχειρησιακή ή ερευνητική αξιοποίηση.
- Οι τεχνικές Μηχανικής Όρασης (Machine Vision, MV) προσφέρουν επίσης πολλές δυνατότητες στην αξιοποίηση των προσφερόμενων πληροφοριών σε επίπεδο εικόνας ή φωτογραφίας ώστε να προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με την επιβεβαίωση ή όχι ενός πλημμυρικού δεδομένου (Vallimeena et al., 2018). Βάσει της μηχανικής όρασης μπορεί να γίνει τόσο εκτίμηση ενός γεγονότος όσο και εξαγωγή υδραυλικών χαρακτηριστικών πλημμύρας, όπως το βάθος ροής, μέσω σύγκρισης με αντίστοιχες εικόνες που παρουσιάζουν τη συνήθη (μη πλημμυρική) κατάσταση. Έτσι, μπορούν να αντληθούν πληροφορίες χωρίς να είναι επιτακτική η ανάγκη ύπαρξης κειμένου περιγραφής σε μια ανάρτηση.

- Η χρήση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης προσφέρει τη δυνατότητα αξιοποίησης πολλαπλάσιας πληροφορίας σε σχέση με το παρελθόν. Οι χρήστες κοινοποιούν περιεχόμενο ακατάπαυστα με συνέπεια να παράγεται παθητική πληροφορία που μπορεί να προσδώσει αξιοπιστία στον σχεδιασμό στρατηγικών μείωσης του πλημμυρικού κινδύνου και σε λοιπές ερευνητικές προσπάθειες.
- Πέρα από τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης, είναι αισθητή η δημιουργία εφαρμογών crowdsourcing από ερευνητικά ιδρύματα και την οργανωμένη πολιτεία, μέσω των οποίων οι πολίτες αλληλοεπιδρούν με τις αρμόδιες υπηρεσίες τόσο πριν, κατά τη διάρκεια αλλά και μετά την εμφάνιση μιας φυσικής καταστροφής, με σκοπό την άντληση δεδομένων σχετικά με το γεγονός και την προστασία των ανθρώπινων ζωών και των περιουσιών.
- Ακόμα, σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες γίνονται σε επίπεδο βελτιστοποίησης και επιχειρησιακής έρευνας με σκοπό τον βέλτιστο συνδυασμό και αξιοποίηση των διαφορετικών πηγών υδρολογικής πληροφορίας (crowdsourcing, επίγειες μετρήσεις, δορυφόροι, ραντάρ, στατιστικές μέθοδοι κ.α.)

4.3. Εφαρμογές στο πεδίο των πλημμυρών

Οι εφαρμογές των τεχνολογικών καινοτομιών που απορρέουν από υπηρεσίες crowdsourcing και τεχνητής νοημοσύνης είναι πολυπληθείς και πολυεπίπεδες. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ανά ενότητα κάποιες από αυτές ώστε να αναδειχθούν τα αποτελέσματα αυτών ανάλογων υπηρεσιών τόσο πριν, κατά τη διάρκεια ή και μετά την εμφάνιση μιας φυσικής καταστροφής με γενεσιουργό αίτιο την πλημμύρα.

4.3.1. Παρακολούθηση αστικής πλημμύρας με χρήση υπερ-αναλυτικών δεδομένων που αντλούνται από τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης και άλλες πηγές crowdsourcing

Η παρακολούθηση των αστικών πλημμυρών είναι μια δύσκολη διαδικασία. Αξιοποιώντας τα δεδομένα που προκύπτουν από αναρτήσεις των χρηστών σε μέσα κοινωνικής δικτύωσης με χρήση τεχνικών Μηχανικής Όρασης (MV) και Επεξεργασίας Φυσικής Γλώσσας (NLP), δίνεται η δυνατότητα στις αρχές να επεξεργάζονται και να αντλούν συμπεράσματα ώστε να διαμορφώνουν σχέδια δράσης από βάσεις υπερ-αναλυτικών δεδομένων που διατίθενται και εισέρχονται στα συστήματα λήψης αποφάσεων έναντι πλημμυρών. Τέτοιες βάσεις είναι κυρίως το Twitter αλλά και εξειδικευμένες εφαρμογές συλλογής φωτογραφιών και οπτικοακουστικού υλικού crowdsourcing όπως το MyCoast.

Οι Wang et al. (2018) στο πλαίσιο μιας μελέτης περίπτωσης στην περιοχή Charleston της πολιτείας South Carolina των ΗΠΑ για δεδομένη πλημμύρα που προκλήθηκε από τον τυφώνα Joaquin τον Οκτώβριο του 2015, επεξεργάστηκαν δεδομένα διαδικτύου και crowdsourcing που αναρτήθηκαν κατά το χρονικό διάστημα εξέλιξης του φαινομένου. Ακόμα, εκτέλεσαν διαδικασίες επαλήθευσης της μεθοδολογίας και της αξιοπιστίας των δεδομένων μέσω αντίστοιχων παρατηρήσεων βροχόπτωσης που αντλήθηκαν από την Υπηρεσία Προχωρημένων Υδρολογικών Προβλέψεων (Advanced Hydrologic Prediction Service, AHPS) που αφορούσε τον Οκτώβριο του 2015, και επιπρόσθετα για δεδομένα κυκλοφορίας οδών που ήταν μη προσβάσιμοι λόγω πλημμύρας στην περιοχή. Έγινε επεξεργασία συνολικά 7602 αναρτήσεων στο Twitter οι οποίες επιλέχτηκαν μέσω κατάλληλων φίλτρων, ενώ μέσω της εφαρμογής MyCoast έγινε ανάλυση 5000 φωτογραφιών πλημμύρας, οι οποίες συνοδεύονταν από τα χωρικά και χρονικά δεδομένα λήψης τους.

Με τέτοια πληθώρα δεδομένων, η πρόκληση που αναδύεται είναι η εύρεση ενός τρόπου αζιοποίησης της υψηλής χρονικής ανάλυσης τους, βελτιώνοντας τις μεθόδους παρακολούθησης των πλημμυρών και της αντιμετώπισής τους, τόσο μεσοπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Σχετικά με τη μέθοδο μηχανικής όρασης, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική Convolutional Neural Networks (CNN) η οποία κατηγοριοποιεί με αυτοματοποιημένο τρόπο τις φωτογραφίες που έχουν ληφθεί από πηγές crowdsourcing. Κατά τη διαδικασία αξιολόγησης της ικανότητας εντοπισμού φαινομένου πλημμύρας, διαπιστώθηκε ότι η τεχνική έχει ακρίβεια 65%, η οποία είναι συμβατή με τη συσχέτιση κειμένου-εικόνας που χαρακτηρίζει το πεδίο των μέσων κοινωνικής δικτύωσης (Chen και Sakamoto, 2013). Επίσης, όσον αφορά τη μέθοδο NLP, έγινε προσπάθεια εξαγωγής της τοποθεσίας κάθε ανάρτησης στο Twitter βάσει του κειμένου της, μιας και λιγότερο από το 1% των tweets εμπεριείχαν γεωαναφορά, προξενώντας αβεβαιότητα σχετικά με την γεωχωρική τους κατηγοριοποίηση. Βέβαια, στη γενική περίπτωση πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμα και αν υπάρχει η γεωαναφορά σε μια ανάρτηση, είναι πολύ πιθανό οι αναρτήσεις αυτές να αφορούν πλημμύρες διαφορετικής του εμφάνισης του γεγονότος.

Σχετικά με τον αριθμό των αναρτήσεων στο Twitter που σχετίζονται με πλημμύρες κατά το εν λόγω διάστημα, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι παρατηρείται μια σαφώς ανοδική τάση από την 1η Οκτωβρίου έως την 4η Οκτωβρίου που εξηγείται από την εμφάνιση του τυφώνα Joaquin, ο οποίος έφτασε στην κατηγορία 4 την 1η Οκτωβρίου και απέκτησε την μέγιστη ισχύ του την 3η Οκτωβρίου (εικόνα 4.1). Παρατηρούμε μια δεύτερη αιχμή μετά από λίγες μέρες η οποία αντανακλά την εμφάνιση ενός δεύτερου τυφώνα που αναπτύχθηκε στις 24 Οκτωβρίου.



Εικόνα 4.1 Διάγραμμα όπου παρουσιάζεται ο ημερήσιος όγκος των αναρτήσεων στο Twitter που σχετίζονται με το εξεταζόμενο πλημμυρικό φαινόμενο και ο αντίστοιχος αριθμός των αναρτήσεων με υπερ-υψηλή ανάλυση (Wang et al., 2018, τροποποιημένο).



Εικόνα 4.2 Σύγκριση ανάμεσα στα δεδομένα crowdsourcing με τα δεδομένα κυκλοφορίας οδών της εξεταζόμενης περιοχής (Wang et al., 2018, τροποποιημένο).

Επίσης, στην ίδια περιοχή μελετήθηκε πλημμύρα βάσει δεδομένων που συλλέχθηκαν από την εφαρμογή MyCoast και συσχετίστηκαν με πληροφορίες σχετικά με κλείσιμο του οδικού δικτύου λόγω πλημμυρών, αξιοποιώντας τεχνικές Μηχανικής Όρασης. Η ανάλυση αυτή έδειξε πως υπάρχουν περιπτώσεις που η Μηχανική Όραση ανταποκρίθηκε με σωστό τρόπο, ενώ σε άλλες όχι. Τα δεδομένα από το crowdsourcing εξετάστηκαν προς επαλήθευση σε 4 θέσεις όπου υπήρχαν απροσπέλαστοι δρόμοι, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2. Αναγνωρίστηκαν ορθώς τα πλημμυρικά φαινόμενα στα σημεία 1 και 2 αλλά έγιναν λάθη στην εκτίμηση πλημμύρας στις θέσεις 3 και 4. Οι φωτογραφίες που συλλέχθηκαν από τη θέση 3 παρουσιάζονται στην εικόνα 4.2, ενώ σε καμία από αυτές δεν δόθηκε σήμα πλημμύρας, παρόλο που θα έπρεπε. Ανάλογη κατάσταση παρουσιάζεται στη θέση 4, όπου ο αλγόριθμος θεωρεί λανθασμένα ότι απεικονίζει ένα κανάλι σε φυσιολογικές συνθήκες.



Εικόνα 4.3 Οι τέσσερις πρώτες φωτογραφίες παρουσιάζουν τα τέσσερα σημεία πλησίον της περιοχής της θέσης 3 της εικόνας 4.2, όπου λανθασμένα ο αλγόριθμος Μηχανικής Όρασης θεώρησε ότι δεν υπάρχει πλημμύρα. Η δεξιά φωτογραφία παρουσιάζει πλημμύρα κατά την οποία ο αλγόριθμος θεώρησε λανθασμένα ότι είναι κανάλι ύδατος σε φυσιολογικές συνθήκες (Wang et al., 2018, τροποποιημένο).

4.3.2. Απεικόνιση έκτασης πλημμύρας και σύγκριση δορυφορικών δεδομένων με αντίστοιχα από πηγές crowdsourcing

Τα δορυφορικά δεδομένα αποτελούν διαχρονικά ένα πολύ ισχυρό εργαλείο πρόβλεψης και παρακολούθησης πλημμυρικών δεδομένων. Παρόλαυτά, πολλές φορές η χρονική διακριτότητα που χαρακτηρίζει αυτά τα δεδομένα είναι αδρή με συνέπεια να χάνεται πολύτιμη πληροφορία και να καθυστερεί ο χρόνος δράσης πριν ή κατά τη διάρκεια ενός πλημμυρικού γεγονότος. Όπως και στην ενότητα 4.3.1, έτσι και εδώ, μελετάται η πλημμύρα που προκλήθηκε από τον τυφώνα Joaquin τον Οκτώβριο του 2015 στην περιοχή Charleston της πολιτείας South Carolina των ΗΠΑ.

Στην εικόνα 4.4 παρουσιάζεται η χρονική ανάλυση των διαφόρων πηγών δεδομένων που εξετάστηκαν, μαζί με άλλα, αντίστοιχα, μετρητών των τριών κύριων ποταμών της περιοχής Charleston (Panteras and Cervone, 2018). Ως πηγή δεδομένων crowdsourcing επιλέχθηκε το Twitter λόγω της μεγάλης χρονικής ανάλυσης που το χαρακτηρίζει, καθώς και λόγω της μεγάλης γεωγραφικής κάλυψης των χρηστών του. Συνολικά, 2393 γεωαναφερόμενες και σχετικές με το γεγονός αναρτήσεις συλλέχθηκαν στην περίοδο από τις 27 Σεπτεμβρίου 2015 έως τις 18 Οκτωβρίου 2015.

Όσον αφορά τον εντοπισμό πλημμύρας βάσει δεδομένων crowdsourcing, βασικός στόχος της ανάλυσης ήταν η επεξεργασία και η απεικόνιση των περιοχών υψηλής σημασίας που είναι σε πλημμυρικά φαινόμενα. Στη λογική αυτή, εφαρμόστηκε η ευρύτερα ευάλωτες χρησιμοποιούμενη γεωστατιστική τεχνική εντοπισμού κρίσιμων περιοχών (hotspot), οι οποίες προέκυψαν βάσει αξιολόγησης των εισερχόμενων δεδομένων από τους χρήστες, δημιουργώντας τελικά χάρτες συσχέτισης (heatmap). Οι χρήστες θεωρήθηκαν ενεργοί αισθητήρες βάσει εκπέμποντων μηνυμάτων. Φυσικά, όπως και σε κάθε παρόμοια τεγνολογία, η θέση των αισθητήρων (των χρηστών στην περίπτωση αυτή) είναι μεγάλης σημασίας. Έτσι, στην περίπτωση πλημμύρας, τα δεδομένα των χρηστών που εκπέμπονταν από σημεία πλησιέστερα σε ποτάμι που έχει υπεργειλίσει ή τείνει να φτάσει στο σημείο υπεργείλισης κρίνονται ως σημαντικότερα από στατιστική σκοπιά. Για την απεικόνιση των εντοπισμένων σημείων ενδιαφέροντος (hotspot) στον χάρτη συσχέτισης, επιλέχθηκε η παρεμβολή Kernel με όρια (Kernel Interpolation with barriers), η οποία χρησιμοποιεί τη μέθοδο της συντομότερης απόστασης μεταξύ σημείων αναφερόμενα στην ίδια πλευρά ενός αδιαπέραστου εμποδίου, το οποίο δημιουργείται εννοιολογικά από μια αλληλουχία γραμμών. Στην περίπτωσή αυτή, οι γραμμές αναφέρονταν στα όρια του ποταμού.

Αποτέλεσμα της ανάλυσης ήταν η παραγωγή χαρτών πλημμύρας βάσει δορυφορικών και crowdsourcing δεδομένων. Όσον αφορά τα τελευταία, τα δεδομένα χωρίστηκαν χρονικά σε τέσσερις κατηγορίες βάσει του σταδίου εξέλιξης του γεγονότος, με εξέχοντα χρονικό διάστημα εκείνο μεταξύ 1 έως 6 Οκτωβρίου, μιας και σε αυτό η πλημμύρα χαρακτηρίστηκε από τη μέγιστη δράση της. Στην εικόνα 4.5 παρουσιάζεται ο χάρτης συσχέτισης βάσει δεδομένων crowdsourcing από το Twitter κατά τη διάρκεια της αιχμής του φαινομένου, δείχνοντας τη πιθανότητα πλημμύρας των σχετικών εκτάσεων.



Εικόνα 4.4 Χρονική κατανομή των διάφορων πηγών δεδομένων που εξετάστηκαν. Τα δορυφορικά δεδομένα απεικονίζονται ως κατακόρυφα ευθύγραμμα τμήματα, μιας και έκαστο εκφράζει μία ημερήσια τιμή (Panteras and Cervone, 2018, τροποποιημένο).



Εικόνα 4.5 Χάρτης συσχέτισης (heatmap) που εξήχθη βάσει των αναρτήσεων στο Twitter κατά τη διάρκεια που το πλημμυρικό γεγονός ήταν στην αιχμή του, απεικονίζοντας την πιθανότητα της εκάστοτε επιφάνειας να κατακλιστεί (Panteras and Cervone, 2018, τροποποιημένο).

4.3.3. Βαθμονόμηση υδροδυναμικών μοντέλων και εκτίμηση πραγματικού χρόνου αιχμής πλημμυρογραφήματος

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται τρία προγράμματα κινητοποίησης των πολιτών (που διενεργήθηκαν ανεξάρτητα μεταξύ τους) βάσει ερευνητικών πρωτοβουλιών με σκοπό την καταγραφή πλημμυρών σε αστικές και μη λεκάνες απορροής στην Αργεντινή, τη Γαλλία και τη Νέα Ζηλανδία (Le Coz et al., 2016). Αυτά τα προγράμματα σχεδιάστηκαν ώστε να διερευνηθεί η δυνατότητα άντλησης υδραυλικών δεδομένων από ψηφιακές φωτογραφίες και οπτικοακουστικό υλικό από τους πολίτες με σκοπό την αξιοποίησή τους κατά τη μοντελοποίηση, βαθμονόμηση και επαλήθευση των υδρολογικών και υδραυλικών υπολογισμών.

Το πρώτο από αυτά τα προγράμματα έχει τίτλο Κυνηγοί Πλημμυρών (Flood Chasers) και εφαρμόστηκε στην Αργεντινή. Ερευνητές του Εθνικού Πανεπιστημίου της Cordoba (National University of Córdoba) ανέπτυξαν και εφάρμοσαν στην πράξη το πρόγραμμα των κυνηγών πλημμυρών ("Cazadores de crecidas" στα Ισπανικά; Patalano et al., 2015) ώστε να διαμορφώσουν μία βάση δεδομένων από φωτογραφίες και βίντεο πλημμυρών που αφορούσαν λεκάνες ταχείας απόκρισης σε ποταμούς στα προάστια της πόλης Cordoba, τα οποία καταγράφηκαν και διαμοιράστηκαν από τους πολίτες με χρήση προχωρημένων τεχνολογιών (κινητά τηλέφωνα, ψηφιακές κάμερες κ.α.). Το πρόγραμμα αυτό θεμελιώθηκε στην επιθυμία των πολιτών να κινηματογραφήσουν αυτά τα ακραία φαινόμενα και να διαμοιράσουν το υλικό σε μέσα κοινωνικής δικτύωσης, ιστοσελίδες κ.α. Αυτά τα βίντεο (εικόνα 4.6) επεξεργάστηκαν από τους ειδικούς με σκοπό την εκτίμηση των παροχών και των ταχυτήτων ροής των ποταμών με χρήση οπτικών μεθόδων μέτρησης, όπως η τεχνική Large Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV; Patalano et al., 2014).



Εικόνα 4.6 Διαδοχικά στιγμιότυπα (a) από βιντεοσκόπηση που ελήφθη κατά τη διάρκεια πλημμύρας στον ποταμό Ceballos στην περιοχή Rio Ceballos στην Αργεντινή στις 15 Φεβρουαρίου 2015. Στην εικόνα (b) είναι εμφανή τα σημάδια που διαμορφώθηκαν στη λήψη κατά την ανάλυσή της με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής (Le Coz et al., 2016, τροποποιημένο)

Μετά την καταγραφή ενός γεγονότος, την αποστολή του οπτικοακουστικού υλικού στις αρμόδιες αρχές και την κατάλληλη επεξεργασία, εξήχθησαν χαρακτηριστικά μεγέθη της ροής. Στη συνέχεια μεγέθη εισήχθησαν στο χρησιμοποιούμενο υδραυλικό μοντέλο με σκοπό την ορθότερη βαθμονόμησή του, στοχεύοντας στην προσομοίωση των συνθηκών ροής του εξεταζόμενου γεγονότος.

Το δεύτερο πρόγραμμα που παρουσιάζεται είναι το FloodScale, το οποίο εφαρμόστηκε στη Γαλλία. Σκοπός αυτού του προγράμματος ήταν η μείωση της αβεβαιότητας που χαρακτηρίζει τις μετρήσεις στάθμης-παροχής. Για το λόγο αυτό εισήχθησαν καινοτόμες μέθοδοι μετρήσεις σε ποταμούς κατά τη διάρκεια πλημμυρών ταχείας απόκρισης που περιλαμβάνει ραντάρ καταγραφής επιφανειακής ταχύτητας και τεχνικές LSPIV με χρήση βιντεοσκοπήσεων. Το πρόγραμμα αυτό εφαρμόστηκε στη λεκάνη απορροής του ποταμού Ardeche. Στην περίπτωση αυτή, η συνεργασία των επιστημονικών υπευθύνων με τις τοπικές αρχές αναφέρεται ως μη ικανοποιητική, προκαλώντας αρνητικές συνέπειες ως προς την εφαρμογή, την υλοποίηση και την ολοκλήρωσή του προγράμματος. Ο κύριος λόγος που οι τοπικές αρχές ουσιαστικά αρνήθηκαν την εφαρμογή του ήταν ότι θεώρησαν πως απειλείται η ασφάλεια των πολιτών που συμμετέχουν, μιας και προσκλήθηκαν εθελοντές και όχι εξειδικευμένο προσωπικό. Τελικά, κάποιες καταγραφές που ήταν ικανές να παράξουν αξιόπιστα αποτελέσματα αντλήθηκαν από πτήσεις μη επανδρωμένων drone.

Το τρίτο εξεταζόμενο πρόγραμμα ονομάστηκε RiskScape και εφαρμόστηκε στην περιοχή Canterbury της Νέας Ζηλανδίας. Οι υπεύθυνοι προσκάλεσαν τους πολίτες των πόλεων Christchurch και Dunedin να στείλουν εικόνες πλημμυρισμένων εκτάσεων οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή χαρτών επικινδυνότητας. Δύο μέρες μετά την αιχμή της πλημμύρας, οι πολίτες ενθαρρύνθηκαν να αποστείλουν οπτικοακουστικό υλικό για τα βάθη της πλημμύρας μέσω σχετικής πλατφόρμας ή με τη χρήση μέσων κοινωνικής δικτύωσης, παραθέτοντας παράλληλα τον χώρο και τον χρόνο καταγραφής αυτού του υλικού. Μετά την επεξεργασία των δεδομένων και με επιτόπου επισκέψεις των ειδικών και χρήση τεχνικών LiDAR, υπολογίστηκε ο πλημμυρικός κίνδυνος της περιοχής και έγινε εκτίμηση των πιθανών απωλειών σε όλη την έκταση της πόλης σε περίπτωση ενός έντονου φαινομένου. Συλλέχθηκαν περισσότερες από 600 φωτογραφίες εκ των οποίων περίπου 300 χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση 289 σημείων βαθυμετρίας στην πόλη κατά τη διάρκεια της πλημμύρας.



Εικόνα 4.7 Διαδοχικές φωτογραφίες όπου εμμέσως αναδεικνύεται η επίδραση του πλημμυρογραφήματος στο βάθος της πλημμύρας, με συνέπεια να μπορεί να εκτιμηθεί ο χρόνος εκδήλωσης της αιχμής (Le Coz et al., 2016, τροποποιημένο).

Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την επαλήθευση των υδροδυναμικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται στις στρατηγικές μετριασμού της πλημμυρικής επικινδυνότητας και των σχεδίων έκτακτης ανάγκης της περιοχής, με συνέπεια τη μείωση της απώλειας ανθρώπινων ζωών και του οικονομικού κόστους των πλημμυρών. Ακόμα, μέσω διαδοχικών φωτογραφικών λήψεων και εξετάζοντας παράλληλα τα βάθη ροής χάρη σε σταθερά σημεία, εκτιμήθηκε ο χρόνος αιχμής της πλημμύρας (εικόνα 4.7). Σημειώνεται ότι ο διαμοιρασμός δεδομένων που προέκυψε από την ευρεία χρήση κινητών τηλεφώνων και φωτογραφιών για τα βάθη ροής δεν θα μπορούσε να έχει προκύψει από επιτόπου μετρήσεις λόγω ανεπάρκειας σχετικών πόρων.

4.3.4. Σχεδιασμός και χρήση εφαρμογής android για σκοπούς άντλησης δεδομένων crowdsourcing με σκοπό τη θωράκιση έναντι πλημμυρικών φαινομένων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η android εφαρμογή MAppERS (Mobile Application for Emergency Response and Support), η οποία επιτρέπει την αποθήκευση φωτογραφιών και την άμεση αποστολή των δεδομένων τους σε πραγματικό χρόνο προς τους αρμόδιους φορείς λήψης αποφάσεων (Frigerio et al., 2018). Η εφαρμογή αυτή δίνει τη δυνατότητα στους πολίτες να ευαισθητοποιηθούν γύρω από θέματα φυσικών καταστροφών, να οργανώνονται, να διαμοιράζονται πληροφορίες με τις τοπικές αρχές και να δέχονται μηνύματα από την πολιτική προστασία κατά την περίοδο εκτάκτων αναγκών. Όπως είναι λογικό, η εφαρμογή έχει σχεδιαστεί ώστε να χρησιμοποιείται εύκολα από άτομα όλων των ηλικιακών ομάδων, με μέριμνα ώστε να μην απαιτείται η γνώση προηγμένων τεχνολογιών, στοχεύοντας στην αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα χρήσης κατά τη διάρκεια εκδήλωσης ενός ακραίου γεγονότος. Σημειώνεται ότι και σε αυτή την περίπτωση, κρίσιμο σημείο αποτελεί τόσο η μετάδοση πληροφοριών σχετικά με την εξέλιξη των φαινομένων σε πραγματικό χρόνο, όσο και η ποσοτική ενίσχυση των ιστορικών δεδομένων παλαιότερων καταστροφών.

Η αξιολόγηση χρήσης της εφαρμογής έγινε στο πλαίσιο μιας μελέτης περίπτωσης στην περιοχή Frederikssund της Δανίας, η οποία συχνά πλήττεται από ισχυρές καταιγίδες και πλημμύρες, με σκοπό την παρακολούθηση και την εκπομπή μηνυμάτων από τους πολίτες προς τις αρμόδιες αρχές σε πραγματικό χρόνο (και το αντίστροφο). Το επιχειρησιακό σκέλος της εφαρμογής χωρίζεται ουσιαστικά σε δύο επίπεδα. Πρώτον, σε αυτό που δίνει κίνητρα στους πολίτες να συμμετέχουν ενεργά στο διαμοιρασμό πληροφοριών (module MC) και σε ένα δεύτερο το οποίο αξιοποιείται από την πολιτική προστασία στην περίπτωση ενός συμβάντος, για λόγους ενημέρωσης και της μείωσης των οικονομικών ζημιών (module MV). Η υπηρεσία module MV είναι απλή στη κατανόηση και στη χρήση, μιας και οι επιλογές που δίνονται στους απλούς χρήστες είναι περιορισμένες για λόγους ευκολίας στη χρήση. Σχετικά με την υπηρεσία module MC αξίζει να τονιστεί ότι:

- Οι χρήστες αποστέλλουν στις αρχές πληροφορίες σχετικά με τους ανθρώπους που έχουν εκτεθεί σε κίνδυνο, επισημαίνουν σημαντικές βλάβες που έχουν προξενηθεί σε περιουσίες και βασικές υποδομές, ή κοινοποιώντας δεδομένα που σχετίζονται με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του γεγονότος, όπως το βάθος πλημμύρας, συνοδευόμενα από φωτογραφίες που τεκμηριώνουν τα ανωτέρω.
- Οι χρήστες έχουν εκπαιδευτεί ώστε να αντιδρούν με βέλτιστες πρακτικές κατά τη διάρκεια ενός συμβάντος.
- Οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε έναν χάρτη κινδύνου που αξιοποιεί το υπόβαθρο της ευρέως χρησιμοποιούμενη εφαρμογής Google Maps.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι σχεδιαστές της εφαρμογής έχουν προβλέψει να υπάρχει περιοδική εκπαίδευση των πολιτών σχετικά με την ορθή χρήση της. Ακόμα, οι υπηρεσίες που παρέχονται συμπεριλαμβάνουν εφαρμογές μέτρησης στάθμης ύδατος, προετοιμασίας πριν την εκδήλωση πλημμυρικών γεγονότων και μεθόδους διαμοιρασμού πληροφοριών σχετικά με εκτεθειμένους ανθρώπους σε κίνδυνο βάσει ακριβούς τοποθεσίας και επιλογών άμεσης έκκλησης βοήθειας (εικόνα 4.8).


Εικόνα 4.8 Μεθοδολογία και προσφερόμενες υπηρεσίες MAppERS: με μωβ χρώμα απεικονίζεται η ενότητα «Εκτακτη ανάγκη και διάσωση», με μπλε η ενότητα «Crowdsourcing» και με πράσινο η ενότητα «Στάδιο προετοιμασίας για ενδεχόμενη πλημμύρα» (Frigerio et al., 2018, τροποποιημένο).

5. Η επιστήμη των πλημμυρών ταχείας απόκρισης

5.1. Εισαγωγή

Ως πλημμύρα ταχείας απόκρισης (flash flood) μπορεί να χαρακτηριστεί μια πλημμύρα που εμφανίζεται ξαφνικά και διαρκεί ένα σύντομο χρονικό διάστημα, παρουσιάζοντας μια υψηλή παροχή αιχμής (World Meteorological Organization, 2006). Η Αμερικάνικη Μετεωρολογική Εταιρεία ορίζει τις πλημμύρες ταχείας απόκρισης ως: ...μια πλημμύρα που ανέρχεται και κατέρχεται αρκετά γρήγορα με ελάχιστη ή χωρίς προειδοποίηση, συνήθως λόγω έντονων βροχοπτώσεων σε μια σχετικά μικρή περιοχή. (AMS, 2017). Η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών χρησιμοποιεί έναν πιο λεπτομερή ορισμό: Μια ταχεία (και ακραία) παροχή ή αύξηση στάθμης υδάτων σε μια περιοχή που δεν είναι υγρή υπό συνήθεις (κανονικές) συνθήκες ή μια ταχεία αύζηση της στάθμης ενός ρέματος ή ποταμού, πάνω από προκαθορισμένες τιμές πλημμύρας, τα οποία μπορούν να παρατηρηθούν σε διάστημα έως έζι ωρών από την έναρξη ενός συγκεκριμένου συμβάντος, όπως σε περιπτώσεις έντονης βροχόπτωσης, θραύσης φράγματος κ.α. (U.S. National Weather Service).

Ανεξαρτήτως του ποιος ορισμός εφαρμόζεται, τα χαρακτηριστικά μιας πλημμύρας ταχείας απόκρισης σηματοδοτούν μια διαφοροποίηση στις διαδικασίες πρόβλεψης σε σύγκριση με άλλα είδη υδρομετεωρολογικών κινδύνων. Η παρούσα εργασία εξετάζει και διερευνά πτυχές των πλημμυρών που οφείλονται σε έντονη βροχόπτωση.

5.2. Χαρακτηριστικές εδαφικές διεργασίες και υδρολογικά μεγέθη που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς

Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση των βροχοπτώσεων, τόσο πιο πιθανό είναι να προκληθεί σημαντική επιφανειακή απορροή. Η υψηλότερη ένταση βροχόπτωσης μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη απορροή καθώς, σε αυτή την περίπτωση, το έδαφος δεν μπορεί να απορροφήσει το νερό αρκετά γρήγορα. Παρόλο που η κορεσμένη εδαφική κατάσταση αυξάνει τον κίνδυνο πλημμύρας ταχείας απόκρισης, πολλές φορές αυτού του είδους οι πλημμύρες συμβαίνουν ακόμα και όταν το έδαφος δεν είναι κορεσμένο. Οι πλημμύρες ταχείας απόκρισης μπορούν να εμφανιστούν ακόμη και σε ξηρά εδάφη (συνθήκες ξηρασίας).

Η επίδραση των υδρολογικών μεγεθών μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στον χρόνο, τον χώρο εμφάνισης, καθώς και στη σφοδρότητα μιας πλημμύρας ταχείας απόκρισης. Παρόλο που η βροχόπτωση θεωρείται συχνά ο πιο σημαντικός παράγοντας για την πρόβλεψη πλημμυρών, οι φυσικές διεργασίες που προκύπτουν μετά τη βροχόπτωση, όταν αυτή προσεγγίζει το έδαφος, είναι πολλές φορές πιο καθοριστικής σημασίας (εικόνα 5.1). Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι διαδικασίες παραγωγής της απορροής μπορεί να είναι πιο σημαντικές από τα χαρακτηριστικά ενός συμβάντος βροχόπτωσης.



Εικόνα 5.1 Η διαδικασία πρόβλεψης πλημμυρών (UCAR, 2010, τροποποιημένο).

5.2.1. Επιρροή εδαφικών συνθηκών

Υπάρχουν τρεις κρίσιμες ιδιότητες του εδάφους που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την αξιολόγηση του κινδύνου εμφάνισης πλημμυρών ταχείας απόκρισης: Η εδαφική υγρασία, η εδαφική περατότητα και το προφίλ του εδάφους.

- Εδαφική υγρασία και, ειδικότερα, ο βαθμός κορεσμού: Το ξηρό έδαφος χαρακτηρίζεται από έναν συγκεκριμένο ρυθμό με τον οποίο μπορεί να απορροφήσει τη βροχόπτωση, ο οποίος ονομάζεται ικανότητα διήθησης (infiltration capacity). Εάν ο ρυθμός της βροχόπτωσης υπερβεί την ικανότητα διήθησης, θα προκύψει απορροή. Αυτή η διαδικασία (infiltration excess overland flow), οδηγεί σε γρήγορη και σημαντική παραγωγή επιφανειακής απορροής ακόμα και κατά τη διάρκεια ξηρών συνθηκών.
- Περατότητα του εδάφους (soil permeability): Χωρίς αμφιβολία, η περατότητα του εδάφους επηρεάζει τον ρυθμό εισροής της βροχόπτωσης. Ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης της περατότητας του εδάφους είναι η σύστασή (υφή) του (soil texture). Η υφή του εδάφους περιγράφει τη σχετική αναλογία διαφορετικών μεγεθών σωματιδίων στο έδαφος. Όπως φαίνεται στην εικόνα 5.2, η άργιλος μπορεί να οδηγήσει σε χαμηλούς ρυθμούς εισροής και γρήγορη απορροή κατά τη διάρκεια έντονης βροχόπτωσης. Αντίθετα, οι άμμοι επιτρέπουν μεγαλύτερη εισροή λόγω των μεγαλύτερων διαστημάτων που υπάρχουν μεταξύ των υλικών σωματιδίων (κόκκων) από τα οποία αποτελείται. Γενικά, η απορροή λόγω έντονων βροχοπτώσεων είναι πιθανό να είναι πιο γρήγορη και μεγαλύτερη στην περίπτωση αργίλων παρά άμμων. Ωστόσο, αλλαγές στην επιφάνεια του εδάφους ή στις χρήσεις γης, όπως η ασφαλτόστρωση και οι πυρκαγιές, μπορούν να έχουν ακόμα μεγαλύτερη επίδραση από την υφή του εδάφους και να οδηγήσουν σε πολύ γρήγορη απορροή ακόμα και σε ξηρές συνθήκες. Ειδικά σε περίπτωση εκτεταμένης πυρκαγιάς, είναι πολύ πιθανό να μεταβληθούν

οι ιδιότητες του εδάφους, προκαλώντας αδυναμία εδαφικής κατακράτησης ενός ποσοστού της υδάτων, οξύνοντας τα πλημμυρικά φαινόμενα στις πληττόμενες περιοχές.



Εικόνα 5.2 Η διηθητική συμπεριφορά του εδάφους, εξαρτώμενη από τη σύσταση (υφή) του (UCAR, 2010, τροποποιημένο).



Εικόνα 5.3 Η επιρροή του βάθους στο οποίο βρίσκεται το βραχώδες υλικό κάτω από την επιφανειακή στρώση του εδάφους είναι σημαντική στην επιφανειακή απορροή (UCAR, 2010, τροποποιημένο).

 Προφίλ εδάφους (soil profile). Το προφίλ εδάφους αναφέρεται στην κατακόρυφη δομή των διαφορετικών στρωμάτων του εδάφους, καθώς και στο βάθος των ανώτερων στρωμάτων (εικόνα 5.3). Ωστόσο, ανάλογα με την ένταση της βροχόπτωσης και τις χωροχρονικές κλίμακες μιας πλημμύρας ταχείας απόκρισης, η επίδραση του προφίλ εδάφους μπορεί να είναι μικρή σε σύγκριση με την εδαφική υγρασία και περατότητα.

5.2.2. Επιρροή των χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής

Ως λεκάνη απορροής μπορεί να χαρακτηριστεί μία περιοχή που έχει ένα κοινό σημείο εκβολής επιφανειακής απορροής. Οι φυσικές ιδιότητες μιας λεκάνης και των ρεμάτων της επηρεάζουν την ποσότητα και τον χρόνο της απορροής και, συνεπώς, την πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρών ταχείας απόκρισης (ιδιαίτερα στο σημείο εκβολής).

Ως παράγοντες που επηρεάζουν την ευαλωτότητα μιας λεκάνης απορροής στις πλημμύρες ταχείας απόκρισης είναι η γεωμετρία, η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, το εύρος των απότομων πλαγιών, η γενικότερη μορφολογία του εδάφους, η αστικοποίηση και πιθανά φαινόμενα αποψίλωσης. Είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος της λεκάνης κατά την αξιολόγηση του κινδύνου πλημμυρών ταχείας απόκρισης, καθώς η επιφάνεια των εκτάσεων που συνεισφέρουν

στη βροχή σε μια λεκάνη έχει άμεση επίδραση στο συνολικό όγκο της απορροής που αποστραγγίζεται.

Το μέγεθος της λεκάνης παίζει καθοριστικό ρόλο στην παροχή αιχμής, καθώς μια μικρότερη λεκάνη, όπως είναι αναμενόμενο, είναι ικανή να παράξει μικρότερη παροχή αιχμής (εικόνα 5.4) Επιπροσθέτως, η μορφολογία της λεκάνης έχει σημαντική επίδραση στο μέγεθος και το χρονικό σημείο της μέγιστης απορροής (παροχής αιχμής) στο σημείο εξόδου. Η απορροή σε μια λεκάνη κυκλικού σχήματος θα φθάσει πιο γρήγορα στο σημείο εξόδου της (μικρότερος χρόνος συρροής). Επιπλέον, η εισροή απορροών από πολλαπλές θέσεις μιας συγκεκριμένης λεκάνης είναι δυνατό να επιταχύνει και να οξύνει την παροχή αιχμής, με δεδομένο ότι θα συναντηθούν ταυτόχρονα επιμέρους παροχές από διαφορετικές τοποθεσίες είναι λιγότερο πιθανό να φτάσει ταυτόχρονα, μειώνοντας την παροχή αιχμής στην έξοδό της.

Η κλίση είναι ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη σε μια λεκάνη. Γενικά, όσο πιο απότομη είναι η κλίση και όσο πιο απότομα είναι τα αποστραγγιστικά κανάλια, τόσο πιο γρήγορη είναι η εμφάνιση της ροής και τόσο υψηλότερες είναι οι παροχές αιχμής.



Εικόνα 5.4 Η επιρροή του μεγέθους μιας εξεταζόμενης λεκάνης στην απορροή (UCAR, 2010, τροποποιημένο).



Εικόνα 5.5 Η επιρροή της γεωμετρίας μιας εξεταζόμενης λεκάνης στην παροχή αιχμής (UCAR, 2010, τροποποιημένο).

Η επιφανειακή τραχύτητα επηρεάζει επίσης το μέγεθος και τον ρυθμό της απορροής. Η παρουσία πετρώδους υλικού και βλάστησης δημιουργεί εμπόδια στη ροή, επιβραδύνοντας και μειώνοντας

την παροχή αιχμής. Σε αντίθετη περίπτωση, εμφανίζονται υψηλότερες ταχύτητες ροής και λιγότερη διήθηση.

Η πυκνότητα των υδατορευμάτων είναι επίσης μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους για την αξιολόγηση του ρυθμού απορροής. Ο όρος αυτός αναφέρεται στο μήκος όλων των ρεμάτων εντός μίας λεκάνης, διαιρεμένο με την επιφάνεια της λεκάνης. Η υψηλότερη πυκνότητα των ρεμάτων επιτρέπει στη λεκάνη να αποστραγγίζεται πιο αποτελεσματικά μετά από μία βροχόπτωση, ιδιαίτερα μεγάλης έντασης. Αποτελεσματική αποστράγγιση σημαίνει ότι το νερό κινείται πιο γρήγορα προς τα ρέματα, προκαλώντας μεγαλύτερη και ταχύτερη εμφάνιση παροχής αιχμής, ειδικά σε περιπτώσεις έντονης βροχόπτωσης. Σημειώνεται ότι η αστικοποίηση αυξάνει τεχνητά την πυκνότητα των υδατορευμάτων.

Ακόμα, η εδαφική κάλυψη και οι χρήσεις γης επηρεάζουν σημαντικά την απορροή, με την συμπερίληψη παραγόντων όπως η εκτενής αστικοποίηση και πιθανή μείωση της βλάστησης. Σε σύγκριση με τις συνθήκες που κυριαρχούν σε αγροτικές εκτάσεις, τα αστικά ρέματα θα αναμένεται να πλημμυρίσουν ταχύτερα, συχνότερα και με μεγαλύτερη παροχή αιχμής για ίδιου μεγέθους βροχόπτωση.

5.3. ΣΕΠ έναντι πλημμυρών ταχείας απόκρισης

Στην περίπτωση ενός εν δυνάμει πλημμυρικού γεγονότος, μόλις τα δεδομένα είναι διαθέσιμα από τα διάφορα υποσυστήματα παρακολούθησης κρίσιμων υδρολογικών και μετεωρολογικών μεγεθών, αναδύεται το ερώτημα του χρόνου έκδοσης μιας προειδοποίησης έναντι πλημμύρας. Τα εργαλεία που είναι διαθέσιμα για να αναλύσουν τα δεδομένα επιμερίζονται από πολύ απλά συστήματα, έως πλήρως αυτοματοποιημένες υπολογιστικές εφαρμογές. Τα απλά συστήματα μπορεί να αποτελούνται από πίνακες, γραφήματα και διαγράμματα που προέρχονται από τον μέσο όρο της βροχόπτωσης και των δεικτών πλημμύρας. Τα υπολογιστικά συστήματα μπορεί να αυτοματοποιημένες διαχείριση δεδομένων, μεθόδους μοντελοποίησης, πρόβλεψης και αυτοματοποιημένης εκπομπής προειδοποιητικών μηνυμάτων. Κάποιες από τις σημαντικότερες παραμέτρους που υπεισέρχονται κατά τη διαδικασία είναι οι ακόλουθες:

- Ποιοτικός έλεγχος των δεδομένων εισόδου.
- Μέθοδοι απεικόνισης παρατηρούμενων δεδομένων βροχόπτωσης, στάθμης ύδατος ή υδρομετεωρολογικών μεγεθών (σε πίνακα ή χάρτη).
- Έκδοση οπτικών ή ακουστικών ειδοποιήσεων βασισμένων στο ρυθμό μεταβολής χαρακτηριστικών μεγεθών.
- Υδρολογικά μοντέλα που χρησιμοποιούν ως είσοδο τις παρατηρούμενες συνθήκες καιρού σε πραγματικό χρόνο, συμπεριλαμβανομένων των παρατηρούμενων ή/και προβλεπόμενων τιμών βροχοπτώσεων και πληροφοριών στάθμης-παροχής.
- Ιστορικά στοιχεία προηγούμενων ακραίων γεγονότων σε χαρακτηριστικές προκαθορισμένες θέσεις.
- Αξιοποίηση πληροφοριών και δεδομένων που αντλούνται από ραντάρ και δορυφορικά δίκτυα.
- Πιθανή άντληση δεδομένων από παρατηρητές καιρού, βροχόπτωσης και στάθμης-παροχής, για την επαλήθευση των μετρήσεων ηλεκτρονικών συστημάτων ή στην περίπτωση που τέτοια συστήματα δεν είναι διαθέσιμα.

Αυτή η ενότητα επικεντρώνεται στην περιγραφή της διαδικασίας ανίχνευσης και πρόβλεψης πλημμυρών ταχείας απόκρισης, μέσω δύο διακριτών συστημάτων. Το πρώτο, συχνά αναφερόμενο ως Τοπικό Σύστημα Προειδοποίησης Πλημμυρών (Local Flood Warning System, LFWS), αποτελείται από χειροκίνητους ή/και αυτόματους υδρομετεωρολογικούς μετρητές, εισάγοντας συμπληρωματικά έναν τρόπο συλλογής και επεξεργασίας των μετρήσεών τους σε μία κεντρική μονάδα. Η δεύτερη μεθοδολογία σχετίζεται με το Flash Flood Guidance (FFG). Χρησιμοποιούμενη από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία των ΗΠΑ και από πολλές άλλες χώρες σε όλο τον κόσμο, αυτός ο μηχανισμός συγκρίνει τη σχέση βροχής και απορροής για να καθορίσει τον κίνδυνο εμφάνισης μιας πλημμύρας ταχείας απόκρισης, λαμβάνοντας υπόψη την υφιστάμενη υγρασία του εδάφους και το βαθμό κορεσμού.

Ο κύριος στόχος ενός συστήματος προειδοποίησης πλημμυρών ταχείας απόκρισης είναι να παρέχει επαρκή προειδοποίηση σε συγκεκριμένο επαρκή χρόνο και με ικανοποιητική ακρίβεια, έτσι ώστε οι χρήστες και οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων να είναι σε θέση να λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα για τη μείωση του κινδύνου απώλειας ανθρωπίνων ζωών και υλικών καταστροφών. Εάν τα παρατηρούμενα υδρομετεωρολογικά δεδομένα αποτελούν τον μοναδικό παράγοντα για την έκδοση των προειδοποιήσεων, τότε οι σχετικοί χρόνοι πολλές φορές είναι μικροί και ανεπαρκείς, με συνέπεια η πρόβλεψη να έχει μικρή προστιθέμενη αξία για τον εκτιθέμενο πληθυσμό. Άλλωστε, σε κάθε περίπτωση, απαιτείται κάποιος ελάχιστος χρόνος για τον διαμοιρασμό των προειδοποιήσεων στους τελικούς αποδέκτες (χρήστες). Συνδυάζοντας τις μετεωρολογικές προβλέψεις (από μοντέλα πρόβλεψης καιρού) με τη χρήση υδρολογικών μοντέλων, η εκτίμηση τέτοιου είδους πλημμυρών μπορούν να επεκταθούν στο χρόνο (σε τάξη μεγέθους ωρών). Αυτός ο συνδυασμός προγνωστικών μοντέλων επεκτείνει τον χρόνο εκτίμησης για τους χρήστες, αλλά ταυτόχρονα αυξάνει περαιτέρω την αβεβαιότητα στην πρόβλεψη. Όπως παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 3, αυτό συμβαίνει καθώς η έλλειψη παρατηρούμενων δεδομένων και τα πιθανά εγγενή σφάλματα σε αυτά, 01 παραμετροποιήσεις (προσεγγίσεις) των υδρολογικών μοντέλων και μοντέλων πλημμύρας, καθώς και οι περιορισμοί που τίθενται σε χωρική και χρονική ανάλυση συμβάλλουν και οξύνουν τα σφάλματα (δηλαδή την αβεβαιότητα) μεγεθύνοντάς τα, μειώνοντας τελικώς την ακρίβεια της πρόβλεψης.

Οι πλημμύρες ταχείας απόκρισης είναι απόρροια υδρομετεωρολογικών φαινομένων. Δεδομένης της σημασίας των μετεωρολογικών δεδομένων για την παραγωγή προβλέψεων με σκοπό την έκδοση προειδοποιητικών μηνυμάτων, είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει στενή συνεργασία μεταξύ των Εθνικών Μετεωρολογικών και Υδρολογικών Υπηρεσιών. Είτε χρησιμοποιείται μια προσέγγιση LFWS είτε μία αντίστοιχη FFG, η ολοκληρωμένη αντιμετώπιση και διαχείριση όλων αυτών των δεδομένων θα οδηγήσει στο μέγιστο διαθέσιμο χρόνο εκτίμησης της εμφάνισης μίας πλημμύρας και στην ελαχιστοποίηση της αβεβαιότητας στις προβλέψεις και στις προειδοποιήσεις που εκδίδονται.

5.3.1. Τοπικό Σύστημα Προειδοποίησης Πλημμυρών (Local Flood Warning System, LFWS)

Το Τοπικό Σύστημα Προειδοποίησης έναντι Πλημμυρών (Local Flood Warning System, LFWS) μπορεί να διαιρεθεί σε δύο βασικές κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο συλλογής των δεδομένων από τους μετρητές: είτε χειροκίνητα (Χειροκίνητο LFWS), είτε αυτόματα (Αυτόματο LFWS). Και στις δύο περιπτώσεις, ο στόχος είναι ο ίδιος, δηλαδή η ανίχνευση των βροχοπτώσεων που

υπερβαίνουν τα όρια, με επαρκή προειδοποίηση και ακρίβεια για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων μιας πιθανολογούμενης πλημμύρας ταχείας απόκρισης. Φυσικά, η επιλογή του πιο αποτελεσματικού τύπου LFWS για μια κοινότητα είναι μία πολύπλοκη και καθοριστική διαδικασία.

Πολλά από τα συστήματα LFWS που λειτουργούν σήμερα είναι χειροκίνητα και συνήθως εγκαταστάθηκαν, συντηρούνται και χρησιμοποιούνται από μια τοπική ομάδα, ενώ παράλληλα χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος λειτουργίας και απλότητα σε επιχειρησιακό επίπεδο. Το χειροκίνητο σύστημα αποτελείται από ένα τοπικό σύστημα συλλογής δεδομένων, έναν συντονιστή, μια τυπική και προκαθορισμένη διαδικασία πρόβλεψης πλημμυρών, ένα δίκτυο επικοινωνίας για τη διανομή προειδοποιήσεων και ένα σχέδιο αντίδρασης σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Η απλούστερη και λιγότερο δαπανηρή προσέγγιση για τη συλλογή δεδομένων είναι η πρόσληψη εθελοντών παρατηρητών για τη συλλογή δεδομένων βροχόπτωσης και στάθμης-παροχής ποταμών. Πιο εξελιγμένοι αυτοματοποιημένοι υδρομετρικοί και βροχομετρικοί σταθμοί ενδέχεται να είναι απαραίτητοι σε απομακρυσμένες περιοχές ή σε άλλες περιπτώσεις όπου ενδέχεται να μην υπάρχει επαρκής αριθμός παρατηρητών. Παρόλο που οι αναφορές από χειροκίνητους μετρητές είναι λιγότερο επιρρεπείς σε σφάλματα, χαρακτηρίζονται από αδυναμία παροχής παρατηρήσεων υψηλής χρονικής ανάλυσης, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων. Συνήθως, είναι πολύ πιο εύκολο να αποκτηθούν πληροφορίες για το ρυθμό βροχόπτωσης ή για τα αθροιστικά μεγέθη με μικρότερο χρονικό βήμα από αυτόματους μετρητές.

Στον αντίποδα των χειροκίνητων συστημάτων, τις τελευταίες δεκαετίες, οι σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις και η μείωση του κόστους αξιοποίησης των υπολογιστικών συστημάτων οδήγησαν στην ανάπτυξη αυτοματοποιημένων συστημάτων προειδοποίησης έναντι πλημμυρών. Ένα αυτοματοποιημένο LFWS αποτελείται από αισθητήρες που μεταδίδουν τις κλιματολογικές συνθήκες χρησιμοποιώντας κάποιο πρωτόκολλο επικοινωνίας με την πλατφόρμα παρατηρήσεων, καθώς και ένα δεύτερο πρωτόκολλο για τη μετάδοση πληροφοριών μεταξύ διαφορετικών υπολογιστικών συστημάτων. Ένα αυτοματοποιημένο LFWS μπορεί να έχει είτε αυτόνομη λειτουργία, είτε να ενεργεί στο πλαίσιο ενός δικτύου και μπορεί να αποτελείται από τα εξής:

- Αυτόματοι μετρητές ποταμών (π.χ. στάθμης-παροχής) και βροχοπτώσεων με άμεση αποστολή των καταγραφών/παρατηρήσεων.
- Σύστημα επικοινωνίας.
- Αυτοματοποιημένο εξοπλισμό συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων.
- (Προκαταρκτικό) λογισμικό ανάλυσης και πρόβλεψης.

Οι αυτόματοι βροχομετρικοί σταθμοί καταγράφουν τα δεδομένα σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα, όταν καλύπτονται συγκεκριμένα κριτήρια, ή ακόμα και δειγματοληπτικά. Για την καταγραφή της στάθμης ενός ποταμού, ένας μετρητής μπορεί να αναφέρει τα δεδομένα του επίσης σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα ή κάθε φορά που παρατηρείται μια αλλαγή στη στάθμη (με προκαθορισμένο ανώτατο όριο μεταβολής). Η λειτουργία του αυτοματοποιημένου συστήματος μπορεί να ποικίλει από έναν απλό μετρητή προειδοποίησης πλημμύρας, έως ένα συνεχές υπολογιστικό σύστημα ανάλυσης των παρατηρούμενων βροχοπτώσεων και παροχών, συνδεδεμένο με το εκάστοτε εφαρμοζόμενο υδρολογικό μοντέλο για την πρόβλεψη του βαθμού και της έκτασης πλημμύρας.

5.3.2. Η μέθοδος Flash Flood Guidance (FFG)

Η μέθοδος εκτίμησης κινδύνου εμφάνισης πλημμύρας ταχείας απόκρισης Flash Flood Guidance (FFG) ορίζεται ως μια αριθμητική εκτίμηση της μέσης βροχόπτωσης σε μια συγκεκριμένη περιοχή και χρονική διάρκεια που απαιτείται για να ξεκινήσει ένα πλημμυρικό φαινόμενο.

Ουσιαστικά, η μέθοδος Flash Flood Guidance (FFG) είναι η εκτίμηση της κρίσιμης ποσότητας βροχής που απαιτείται για να παραχθεί πλημμύρα, βάσει της υφιστάμενης (κάθε φορά) κατάστασης υγρασίας του εδάφους και κάποιο προκαθορισμένο όριο παροχής (threshold runoff). Το κατώτατο όριο παροχής (ή ThreshR) είναι αυτό που απαιτείται για να εκκινήσει η πλημμύρα. Είναι μια σταθερή τιμή βασισμένη στα γεωγραφικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου ποταμού/χειμάρρου και της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής.

Η κατάσταση υγρασίας του εδάφους αλλάζει συνεχώς ανάλογα με τις διαδικασίες αύξησης της υγρασίας ή των σχετικών απωλειών της. Η διαδικασία αύξησης της υγρασίας πηγάζει από τις βροχοπτώσεις και το λιώσιμο του χιονιού, ενώ οι απώλειες προκύπτουν από την εξατμισοδιαπνοή, την εδαφική διήθηση (σε βάθος) ή αφορούν θέματα στάθμης υπόγειου υδροφορέα. Μια εκτίμηση της κατάστασης υγρασίας του εδάφους χρησιμοποιείται σε υδρολογικά μοντέλα πρόβλεψης παροχής ποταμών που εκτελούνται στα εκάστοτε κέντρα πρόβλεψης ποτάμιας πλημμύρας. Σε αυτά τα συστήματα, κατά τη χρήση ενός μοντέλου βροχής-απορροής, οι βροχοπτώσεις και η κατάσταση υγρασίας του εδάφους χρησιμοποιούνται ως είσοδος για τον υπολογισμό της παροχής. Η υπολογιστική διαδικασία ενός συστήματος Flash Flood Guidance λειτουργεί με αντίθετο τρόπο. Το όριο παροχής και η τρέχουσα κατάσταση υγρασίας του προκαθορισμένο εδάφους γρησιμοποιούνται ως είσοδοι στο μοντέλο για τον υπολογισμό της ποσότητας βρογόπτωσης που απαιτείται για την έναρξη της πλημμύρας. Αυτή η υπολογισμένη ποσότητα βροχόπτωσης είναι ουσιαστικά το μέγεθος που ορίζεται ως Flash Flood Guidance. Στην εικόνα 5.6 παρουσιάζεται ένα τυπικό διάγραμμα σχέσης μεταξύ βροχόπτωσης και απορροής για τρεις χρονικές διάρκειες βροχόπτωσης.

Το καθορισθέν όριο απορροής για υψηλές πλημμυρικές παροχές είναι η παροχή στο στάδιο πλημμύρας διαιρεμένη με τη μέγιστη τιμή του μοναδιαίου υδρογραφήματος για μια συγκεκριμένη διάρκεια βροχόπτωσης. Το μοναδιαίο υδρογράφημα συσχετίζει ένα εκατοστό (cm) ενεργού βροχόπτωσης μιας συγκεκριμένης λεκάνης με τον όγκο της απορροής σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.7. Η παροχή στο στάδιο πλημμύρας καθορίζεται με συγκεκριμένες καμπύλες στάθμης – παροχής του ποταμού, συσχετίζοντας το βάθος ροής με τον όγκο ύδατος ανά μονάδα χρόνου.

Ο υπολογισμός του ορίου απορροής σε περιπτώσεις ποταμών ή περιοχών με μεγάλο πλάτος μπορεί να επιβάλει την αντιμετώπιση σημαντικών προκλήσεων. Μία από αυτές είναι ότι αναμένεται να μην είναι διαθέσιμες προς τους μελετητές προκαθορισμένες καμπύλες στάθμης – παροχής οι οποίες να θέτουν συγκεκριμένα όρια συναγερμού έναντι πλημμύρας. Στην περίπτωση αυτή, μπορεί να καθοριστεί ένα διαφορετικό επίπεδο ελέγχου, ειδικά σε περιπτώσεις απομακρυσμένων θέσεων όπου δεν υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης μετρητικών μονάδων. Στις περιπτώσεις αυτές, ορίζεται το στάδιο πλήρους χωρητικότητας, το οποίο είναι ουσιαστικά το βάθος ύδατος που αντιστοιχεί στην έναρξη της πλημμύρας. Η εικόνα 5.8 δείχνει το στάδιο πλημμύρας/πλήρους χωρητικότητας και την κατώτατη στάθμη ύδατος. Η υψομετρική διαφορά αυτών των δύο αντιστοιχεί στο μέγεθος ThreshR. Η κορυφή του μοναδιαίου υδρογραφήματος πρέπει να καθοριστεί σε τέτοιες περιπτώσεις εμπειρικά χρησιμοποιώντας τα φυσικά χαρακτηριστικά της εξεταζόμενης λεκάνης.



Εικόνα 5.6 Μέθοδος FFG: Καμπύλη ύψους βροχόπτωσης και απορροής για τρεις διαφορετικές διάρκειες βροχόπτωσης (UCAR, 2010, τροποποιημένο).



Εικόνα 5.7 Υποθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα στο οποίο επισημαίνεται το στάδιο της πλημμύρας (UCAR, 2010, τροποποιημένο).

Μόλις υπολογιστεί η τιμή ThreshR, είναι δυνατόν με τη χρήση καμπυλών βροχής - απορροής να υπολογίσουμε την ποσότητα της βροχής που θα παράγει αυτή την κατώτατη παροχή. Η προκύπτουσα ποσότητα βροχής είναι το Flash Flood Guidance (FFG). Σημειώνεται ότι τόσο οι τιμές ThreshR όσο και οι καμπύλες βροχής - απορροής προκύπτουν από τις μέσες τιμές της εξεταζόμενης λεκάνης. Συνεπώς, το παραγόμενο Flash Flood Guidance θα αντανακλά επίσης τιμές σε επίπεδο λεκάνης.



Εικόνα 5.8 Καθορισμός του ορίου απορροής (ThreshR) (UCAR, 2010, τροποποιημένο).

Για παράδειγμα, βάσει της εικόνας 5.9, εάν η τιμή ThreshR για 1 ώρα βροχόπτωσης είναι 0,50 ίντσες (13 χιλιοστά), τότε η τιμή 0,50 ίντσες θα προκύψει από μια βροχόπτωση περίπου 1,80 ίντσας (46 χιλιοστά). Αυτή η ποσότητα 1,80 ίντσας αποτελεί το Flash Flood Guidance για βροχόπτωση 1 ώρας για τη συγκεκριμένη λεκάνη.



Εικόνα 5.9 Παράδειγμα καμπύλης βροχόπτωσης – απορροής βάσει μοντέλου απορροής (UCAR, 2010, τροποποιημένο).

Καθώς οι τιμές ThreshR και οι καμπύλες βροχής - απορροής υπολογίζονται για κάθε λεκάνη, οι τιμές Flash Flood Guidance αφορούν επίσης ολόκληρη τη λεκάνη. Εφαρμόζονται στην έξοδο της και εκφράζονται ως ύψος βροχής για κάποιο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, για παράδειγμα, 2,50 ίντσες (64 χιλιοστά) σε 3 ώρες. Είναι επιθυμητό να υπάρχει αναπαράσταση του FFG σε πλέγμα (κάναβο) στα χρησιμοποιούμενα μοντέλα και εργαλεία λογισμικού για λόγους σύγκρισης με άλλα πλέγματα εκτιμήσεων βροχοπτώσεων που προέρχονται για παράδειγμα από δεδομένα ραντάρ.

Νεότερες τεχνικές για την άντληση των εν λόγω πλεγμάτων FFG περιλαμβάνουν την αναπαράσταση των μεταβλητών που υπεισέρχονται κατά τη διαδικασία επίλυσης, καθώς και των φυσικών ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών της ροής κάθε μοναδικού κελιού των προαναφερόμενων πλεγμάτων.

Η μέθοδος Flash Flood Guidance (FFG) σχεδιάστηκε ώστε να είναι ανεξάρτητη από οποιοδήποτε μοντέλο βροχής - απορροής. Ένα ορθό FFG περιέχει όλες τις συνθήκες υγρασίας του εδάφους ως καμπύλες βροχής - απορροής που δημιουργούνται στο σύστημα πρόβλεψης πλημμυρών όπου βρίσκονται τα εν λόγω μοντέλα. Ανάλογα με τη διαθεσιμότητα δεδομένων βροχόπτωσης, το σύστημα πρόβλεψης μπορεί να ενημερώνεται σχετικά με τις συνθήκες υγρασίας του εδάφους κάθε έξι ώρες, και αντίστοιχα, το σύστημα FFG μπορεί να υπολογίζει το Flash Flood Guidance σε ανάλογο χρονικό διάστημα.

6. Δεδομένα

6.1. Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας είναι η Λεκάνη Απορροής του Λήλαντα ποταμού Ευβοίας, που ανήκει στο υδατικό διαμέρισμα της Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07) (Εικόνα 6.1) και, πιο συγκεκριμένα, αποτελεί υποσύνολο της λεκάνης απορροής Εύβοιας (EL0719) (Εικόνα 6.2). Η συνολική έκταση της υδρολογικής λεκάνης Ευβοίας είναι 920km².

Το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας έχει έκταση 12.291 km² και περιλαμβάνει ολόκληρες τις Περιφερειακές Ενότητες Ευβοίας (και τη Σκύρο) και Βοιωτίας, μεγάλα τμήματα των ΠΕ Φθιώτιδας (83,1%) και Φωκίδας (41,9%) και μικρά τμήματα της Περιφέρειας Αττικής (7,2%) και ΠΕ Μαγνησίας και Σποράδων (14,9%). Στο διαμέρισμα περιλαμβάνονται τέσσερα ορεινά συγκροτήματα με υψόμετρο πάνω από 2.000m (Γκιώνα, Παρνασσός, Βαρδούσια και Οίτη) και άλλα εννέα ακόμη, με υψόμετρα από 1.000 έως 2.000m. Οι κυριότεροι ποταμοί του ΥΔ Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας είναι ο Βοιωτικός Κηφισός, ο Σπερχειός, ο Κηρέας και ο Ασωπός.



Εικόνα 6.1 Το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07) (πηγή: https://floods.ypeka.gr/)



Εικόνα 6.2 Οι επτά λεκάνες απορροής από τις οποίες αποτελείται το Υδατικό Διαμέρισμα Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07) (πηγή: <u>https://floods.ypeka.gr/</u>)

Το ΥΔ Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας μορφολογικά χαρακτηρίζεται κυρίως πεδινό ως ημιορεινό. Η μεγάλη κλιματική ποικιλία του Υδατικού Διαμερίσματος περιλαμβάνει από θαλάσσιο μεσογειακό μέχρι ορεινό κλίμα. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από 500 mm στη λεκάνη του Ασωπού μέχρι 1.200 mm στα ορεινά τμήματα της λεκάνης του Σπερχειού και της Εύβοιας. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 11°C μέχρι 18°C, ανάλογα με το υψόμετρο και την απόσταση από τη θάλασσα.

Η λεκάνη απορροής του Λήλαντα ποταμού (εικόνα 6.3), η οποία εξετάζεται σε αυτή την εργασία, εκτείνεται εντός των ορίων της δημοτικής ενότητας Χαλκιδαίων. Πηγάζει από τα βουνά Δίρφη – Ξηροβούνι - Όλυμπο και, διασχίζοντας τα υψίπεδα των Καθενών - Μίστρου - Θεολόγου, καταλήγει στο Ληλάντιο και στη συνέχεια εκβάλει στον Ευβοϊκό κόλπο. Σχετικά με τα υψόμετρα που παρατηρούνται στην εν λόγω λεκάνη, το ελάχιστο υψόμετρό της είναι 0.5 m, το μέγιστο 1411 m, ενώ το μέσο υψόμετρο είναι 352 m, με τη συνολική έκταση της να ανέρχεται στα 252 km², το μήκος της κύριας μισγάγγειας να εκτιμάται στα 34 km και η μέση μορφολογική κλίση στις 16° (Μανδραβέλλος, 2022). Επίσης, όσον αφορά τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής, τα εδάφη της λεκάνης χαρακτηρίζονται ως εδάφη τύπου C, δηλαδή μικρού ρυθμού διήθησης.



Εικόνα 6.3 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) της Λεκάνης Απορροής του Λήλαντα ποταμού (Μανδραβέλλος, 2022).

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής χαρακτηρίζεται ως εύκρατο μεσογειακό. Στις εικόνες 6.4 και 6.5 παρουσιάζονται μέσες και ακραίες τιμές υετού, θερμοκρασίας και ταχύτητας ανέμου για την Εύβοια (πηγή: meteoblue.gr).

Εξετάζοντας τις χρήσεις γη, η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως επί το πλείστον αγροτική, με το 30% της συνολικής έκτασης να καλύπτεται από καλλιέργειες, σε αντίθεση με την αστική χρήση, η οποία αγγίζει το 1.3%. Ακόμα, μεταξύ άλλων, οι δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις αποτελούν το 19.13%, η σκληροφυλλική βλάστηση το 15.2, η αρόσιμη γη το 8.1%, οι φυσικοί βοσκότοποι το 5.6% και οι εκτάσεις με αραιή βλάστηση το 1.95% (Corine Land Cover, 2018; Μανδραβέλλος, 2022).

Σχετικά με τη γένεση των πλημμυρών στη λεκάνη απορροής του Λήλαντα ποταμού, σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας, το κύριο αίτιο της πλημμύρας αποτελεί η υπερχείλιση του ποταμού, ενώ οι επικρατούντες μηχανισμοί πλημμύρας είναι η φυσική υπερχείλιση και η παρεμπόδιση ροής (ΥΠΕΚΑ-ΕΓΥ, 2012). Ακόμα, η περιοχή που εκβάλει ο ποταμός Λήλαντας καθίσταται ζώνη υψηλού κινδύνου (ΣΔΚΠ, 2017).



Εικόνα 6.4 Μέσες και ακραίες τιμές υετού και θερμοκρασίας για την περιοχή της Εύβοιας (πηγή: meteoblue.gr).



Εικόνα 6.5 Μέσες και ακραίες τιμές ταχύτητας ανέμου για την περιοχή της Εύβοιας (πηγή: meteoblue.gr).

Σχετικά με τα τεχνικά έργα μείζονος σημασίας στην περιοχή μελέτης, συμπεριλαμβάνονται τέσσερις γέφυρες, οι οποίες διασχίζουν κάθετα τμήματα του υδρογραφικού δικτύου, η θέση των οποίων παρουσιάζεται στην εικόνα 6.6 (ΣΔΚΠ, 2017). Ακόμα, σύμφωνα με τον Μανδραβέλλο (2022), δεν έχουν υλοποιηθεί εκτενέστερα αντιπλημμυρικά έργα όπως φράγματα, αναβαθμοί, αναχώματα ή οχετοί, μέσω των οποίων να επιτυγχάνεται η απομείωση των επιπτώσεων πιθανών πλημμυρικών φαινομένων στην ευρύτερη περιοχή.



Εικόνα 6.6 Οι θέσεις των τεχνικών έργων μείζονος σημασίας στην περιοχή μελέτης (ΣΔΚΠ, 2017).

6.2. Υδρολογικά και γεωχωρικά δεδομένα

Για τη διεκπεραίωση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν ποικίλα δεδομένα υδρολογικού χαρακτήρα, τα οποία παρουσιάζονται στην παρούσα ενότητα.

Το Μοναδιαίο Υδρογράφημα (ΜΥΓ) της περιοχής μελέτης διάρκειας 0.5 ώρας αντλήθηκε από τον Μανδραβέλλο (2022), ο οποίος το εκτίμησε με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών, καταλήγοντας στα παρακάτω χαρακτηριστικά μεγέθη (εικόνα 6.7):

- Μέγιστη παροχή αιχμής: 46 m³/s
- Χρονική στιγμή αιχμής: 11:30 h μετά την έναρξη του επεισοδίου



Εικόνα 6.7 Το Μοναδιαίο Υδρογράφημα της λεκάνης απορροής του Λήλαντα Ποταμού (Μανδραβέλλος, 2022).

Επίσης, μετά από σχετική αίτηση, παραχωρήθηκαν για τον σκοπό υλοποίησης της παρούσας εργασίας από το Κτηματολόγιο Α.Ε. τα γεωχωρικά δεδομένα (ψηφιακό μοντέλο εδάφους ΨΜΕ/DEM) της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής του Λήλαντα ποταμού Ευβοίας, καθώς και της ευρύτερης περιοχής μελέτης με ακρίβεια 5 x 5 m.



Εικόνα 6.8 Το Υετογράφημα του επεισοδίου βροχόπτωσης που εξελίχθηκε την 8^η Αυγούστου 2020 στην εξεταζόμενη περιοχή μελέτης (Μανδραβέλλος, 2022).

Ο αριθμός καμπύλης Curve Number CN εκτιμήθηκε ίσος με 77.80, μέσω σχετικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού ArcGIS. Ακόμα, αντλήθηκε από τον Μανδραβέλλο (2022) το υετογράφημα (εικόνα 6.8) που προκάλεσε σημαντικές καταστροφές την 8^η Αυγούστου 2020 στην περιοχή πλησίον του σημείου εκβολής του Λήλαντα ποταμού. Η συνολική ποσότητα βροχόπτωσης ανήλθε στα 294mm, ενώ η διάρκεια του επεισοδίου ήταν 8 ώρες.

Τέλος, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι όμβριες καμπύλες που καταρτίσθηκαν από το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας και την Ειδική Γραμματεία Υδάτων στο «Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07)» (1°ς κύκλος). Σχετικά με τη διαμόρφωση της όμβριας καμπύλης της περιοχής μελέτης, αντλήθηκαν δεδομένα από τον σταθμό ΚΑΤΩ ΣΤΕΝΗ, ο οποίος θεωρήθηκε αντιπροσωπευτικός της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής εν συνόλω, μιας και χωροθετείται στο κέντρο της (πίνακας 6.1).

Πίνακας 6.1 Στοιχεία αντιπροσωπευτικού βροχομετρικού	σταθμού για την	ν κατάρτιση της	όμβριας ι	καμπύλη ς
της περιοχής μελέτης (πηγή: floods.ypeka.gr)				

	-								
YΔ	K	ΩΔΙΚΟΣ	ONOMA			Х	Y		Z
GR07		286	ΚΑΤΩ ΣΤΕ	NH	NH 484702.31		4268908.5		331.8
		К	λ΄	ų	b'	θ	η		
		0.097	375.79	0.7	707	0.124	0.622		

7. Μεθοδολογία

7.1. Όμβριες καμπύλες

Η κατάρτιση των όμβριων καμπυλών συνίσταται στη στατιστική ανάλυση των ισχυρών βροχοπτώσεων μιας συγκεκριμένης περιοχής. Οι καμπύλες αυτές ουσιαστικά αποτελούν αναλυτικές εκφράσεις της μέγιστης έντασης βροχόπτωσης *i*, συναρτήσει της χρονικής κλίμακας (ή διάρκειας) καταιγίδας *d* και της περιόδου επαναφοράς *T*. Οι μετρήσεις (καταγραφές) προέρχονται από καταγεγραμμένα επεισόδια βροχόπτωσης μέσω βροχόμετρων και βροχογράφων.

Είναι συνήθης πρακτική η διάρκεια του επεισοδίου, που μελετάται, να είναι πολλαπλάσιο του χρόνου συρροής, ή συγκέντρωσης, της εκάστοτε λεκάνης απορροής, ενώ η διάρκεια του υετογραφήματος σχεδιασμού επιλέγεται ίση με το τριπλάσιο, τουλάχιστον, του χρόνου συγκέντρωσης της συνολικής λεκάνης.

Η πιο διαδεδομένη σχέση εκτίμησης του χρόνου συγκέντρωσης, η οποία προτείνεται και από τις ελληνικές προδιαγραφές ΠΔ 696 (1974), είναι η εμπειρική σχέση που πρότεινε ο Giandotti το 1934, σύμφωνα με την οποία:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{\Delta z}} \tag{7.1}$$

όπου t_C ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής [h], A η επιφάνεια της λεκάνης απορροής [km²], L το μήκος της κύριας μισγάγγειας [km] και Δz η υψομετρική διαφορά του μέσου υψομέτρου της λεκάνης από το υψόμετρο της εξόδου της [m].

Τότε, ο χρόνος υστέρησης της πλημμυρικής αιχμής *t*_L, σύμφωνα με τον Mockus V. (1957), μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση:

$$t_L = 0.6 \cdot t_c \tag{7.2}$$

Η γενική συναρτησιακή εξίσωση όμβριων καμπυλών είναι της μορφής

$$i = \frac{a(T)}{b(d)} \tag{7.3}$$

Όπου η κατάλληλη συνάρτηση της χρονικής κλίμακας d δίδεται από την εμπειρικά διαπιστωμένη εξίσωση

$$b(d) = \left(1 + \frac{d}{\theta}\right)^{\eta} \tag{7.4}$$

όπου d η χρονική κλίμακα (ή διάρκεια) της βροχόπτωσης, $\theta \ge 0$ παράμετρος προς εκτίμηση με μονάδες χρόνου, και $0 < \eta < 1$ αδιάστατη παράμετρος προς εκτίμηση.

Όσον αφορά στην κατάλληλη συνάρτηση της περιόδου επαναφοράς Τ, αυτή προκύπτει αναλυτικά από τη συνάρτηση κατανομής που ισχύει για τη μέγιστη ένταση βροχής της υπό εξέταση περιοχής, όπως αυτή προκύπτει από την επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων. Μια συνάρτηση κατανομής που αποδεικνύεται κατάλληλη για τη μέγιστη ένταση βροχής, σε μεγάλο εύρος περιπτώσεων, είναι η κατανομή Γενική Ακραίων Τιμών, ΓΑΤ (General Extreme Value, GEV distribution) και έχει την έκφραση

$$F(x) = exp\left\{-\left[1 + \kappa \cdot \left(\frac{x}{\lambda} - \psi\right)\right]^{-\frac{1}{\kappa}}\right\}, x \ge \lambda \cdot \left(\psi - \frac{1}{\kappa}\right)$$
(7.5)

όπου κ, ψ (> 0) αδιάστατες παράμετροι σχήματος και θέσης, αντίστοιχα, και λ > 0 παράμετρος κλίμακας με διαστάσεις έντασης βροχής.

Για περιόδους επαναφοράς Τ ≥ 50 ετών, η εξίσωση (7.3) μπορεί να αντικατασταθεί από την απλούστερη έκφραση

$$i(d,T) = \frac{\lambda' \cdot (T^{\kappa} + \psi')}{(d+\theta)^{\eta}}, \quad \kappa \neq 0$$
(7.6)

7.2. Υπολογισμός υετογραφήματος σχεδιασμού

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές μελετών εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας για πλημμύρες μέσης πιθανότητας υπέρβασης (100 χρόνια περίοδος επαναφοράς), το υετογράφημα σχεδιασμού παράγεται χρησιμοποιώντας τις όμβριες καμπύλες της περιοχής και εφαρμόζοντας τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ (alternating block method), όπως αυτή περιγράφεται από τους Chow et al. (1988).

Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζονται τα τμηματικά ύψη βροχής των επιμέρους διαρκειών με βάση την όμβρια καμπύλη της υπό εξέταση λεκάνης, που αντιστοιχεί στην περίοδο επαναφοράς της μελέτης και σε χρονική κλίμακα ίση με την υπόψη διάρκεια βροχόπτωσης, με σκοπό τα τμηματικά ύψη βροχής να διατάσσονται στη συνέχεια με τρόπο ώστε να προκύπτει ένας ρεαλιστικός και ταυτόχρονα αρκετά δυσμενής συνδυασμός.

Η μέθοδος αυτή, μαζί με τη μέθοδο της δυσμενέστερης διάταξης (worst profile method) που ενδείκνυται για πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας υπέρβασης (1.000 ή 10.000 ετών ως περίοδος επαναφοράς), παρουσιάζουν δύο σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων απλούστερων μεθόδων της πράξης, και συγκεκριμένα:

- Βασίζονται αποκλειστικά σε δεδομένα που έχουν μετρηθεί στην περιοχή μελέτης (όμβριες καμπύλες) και όχι βάσει βιβλιογραφίας.
- Οδηγούν σε ένα μοναδικό υετογράφημα σχεδιασμού ή ελέγχου, χωρίς να απαιτείται καμία πρόσθετη παραδοχή.

Η βάση της εφαρμογής 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.

7.3. Υπολογισμός υδρολογικών απωλειών και ενεργού βροχόπτωσης

Σε ένα πλημμυρικό επεισόδιο, η κατάσταση του εδάφους, όσον αφορά τις χρήσεις γης, τον τύπο του εδάφους και την εδαφική υγρασία, είναι μείζονος σημασίας για την ένταση και τις πιθανές καταστροφές στον αστικό και αγροτικό ιστό. Προκειμένου να συμπεριληφθούν αυτές οι παράμετροι του προβλήματος κατά τη διαδικασία επίλυσης, στις μελέτες πλημμυρών χρησιμοποιείται η ενεργός βροχόπτωση. Με τον όρο ενεργό βροχόπτωση νοείται το κλάσμα της συνολικής βροχόπτωσης που δεν απορροφάται από το έδαφος και ρέει επάνω σε αυτό, ως απορροφί

Σύμφωνα με τις Προδιαγραφές Μελετών του ΥΠΕΝ (2010), προβλέπεται η χρήση της εμπειρικής μεθόδου SCS που δημιουργήθηκε το 1954 από την Αμερικάνικη υπηρεσία Soil Conservation Service (ή Natural Resources Conservation Service, όπως ονομάζεται πλέον), η οποία βασίζεται στον αριθμό καμπύλης απορροής *CN* (runoff curve number). Συγκεκριμένα, η μέθοδος υπολογίζει το ύψος του περισσεύματος βροχής από τρεις μεταβλητές: το ύψος βροχής, τα αρχικά ελλείμματα και το υδρολογικό σύμπλοκο εδάφους – φυτοκάλυψης που εκφράζεται από έναν αδιάστατο αριθμό, τον αριθμό καμπύλης απορροής *CN* (ΥΠΕΝ, https://floods.ypeka.gr).

Για το σκοπό αυτό, εφαρμόζεται η μέθοδος σε περιβάλλον GIS, όπου γίνεται αδρομερής κατάταξη των γεωλογικών σχηματισμών και των εδαφικών τύπων στις εδαφικές υδρολογικές ομάδες (A έως D), όπως αυτές ορίζονται στο εγχειρίδιο 104 του USDA που δημοσιεύτηκε η μέθοδος (1989) και στη συνέχεια εκτιμάται ο συντελεστής CN σε κατά τόπους ομοιογενείς περιοχές, λαμβάνοντας υπόψη και τη φυτοκάλυψη.

Τα εδάφη διακρίνονται σε κατηγορίες (τύπους) ανάλογα με τους ρυθμούς διήθησης του νερού της βροχής, δηλαδή τη μακροσκοπική του διαπερατότητα. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Κατηγορία Α: Εδάφη με χαμηλό δυναμικό επιφανειακής απορροής: πρόκειται κυρίως για βαθιά εδάφη, ελαφρά με αδρή υφή αμμώδη, πηλοαμμώδη και αμμοπηλώδη. Όταν είναι κορεσμένα με νερό έχουν υψηλό ρυθμό διήθησης 7,62mm/h και άνω.
- Κατηγορία Β: Εδάφη με μέτριο δυναμικό επιφανειακής απορροής: εδάφη βαθιά έως μέτρια βαθιά, μέτριας υφής πηλώδη, ιλυοπηλώδη με μέτρια διηθητικότητα 3,81-7,62mm/h.
- Κατηγορία Γ: Εδάφη με σχετικά υψηλό δυναμικό επιφανειακής απορροής: εδάφη με ορίζοντα που παρεμποδίζει τη διήθηση και εδάφη λεπτής υφής αμμοαργιλοπηλώδη με μικρή διηθητικότητα 1,27-3,81mm/h.
- Κατηγορία Δ: Εδάφη με πολύ υψηλό δυναμικό επιφανειακής απορροής: εδάφη πολύ λεπτής υφής αργιλοπηλώδη, ιλυοαργιλοπηλώδη, αμμοαργιλώδη, ιλυοαργιλώδη και αργιλώδη. Με διηθητικότητα μικρότερη από 1,27 mm/h. Επίσης, εδώ κατατάσσονται και τα αβαθή εδάφη (<50cm) πάνω σε αδιαπέρατο μητρικό πέτρωμα ή εδάφη με αδιαπέρατο ορίζοντα κοντά στην επιφάνεια.

Ωστόσο, η κατηγοριοποίηση του εδάφους αποτελεί μια δύσκολη διαδικασία με υψηλό δείκτη αβεβαιότητας κι έτσι, ειδικά για τα συνήθη πετρώματα στον ελλαδικό χώρο, το ΥΠΕΝ έχει εκδώσει οδηγίες και σχετικούς πίνακες (βλ. Παράρτημα, Πίνακας Π-1).

Επίσης, προκειμένου να ληφθεί υπόψη και η φυτοκάλυψη, συσχετίζονται οι ομάδες διηθητικότητας του εδάφους που ορίστηκαν προηγουμένως με τους κωδικούς CORINE για την κάλυψη/χρήση της γης (βλ. Παράρτημα, Πίνακας Π-2).

Για την κατασκευή του χάρτη χρήσεων γης της εξεταζόμενης λεκάνης, χρησιμοποιήθηκε το shapefile που παρέχεται από την ιστοσελίδα του CORINE, με χρήση του λογισμικού ArcGIS. Σύμφωνα με τις παραπάνω τιμές (Πίνακας Π-2) και σε περιβάλλον GIS, δημιουργείται ένας χάρτης του αριθμού καμπύλης απορροής *CN* για το σύμπλοκο εδάφους – φυτοκάλυψης στην εξεταζόμενη λεκάνη απορροής. Στη συνέχεια, προκειμένου να προκύψει ένας σταθμισμένος μέσος αριθμός καμπύλης απορροής *CN* για την εξεταζόμενη λεκάνη απορροής *CN* για την εξεταζόμενη λεκάνη απορροής υπό την υπόθεση ομοιόμορφου τύπου εδάφους και χρήσεων γης, χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$CN_{II} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{A_i}{A} \cdot CN_i \right) \tag{7.7}$$

όπου A_i η έκταση της υποπεριοχής *i*, A η έκταση της συνολικής λεκάνης απορροής και CN_{II} ο αριθμός καμπύλης απορροής της υποπεριοχής *i*.

Ο προσδιορισμός αυτός αφορά μια μέση κατάσταση του εδάφους, τύπου ΙΙ, όσον αφορά την υγρασία του. Είναι σκόπιμο, επομένως να γίνει έλεγχος στις ακραίες φάσεις του ακόρεστου (ξηρού) τύπου Ι, ή πλήρως κορεσμένου (υγρού) τύπου ΙΙΙ εδάφους, οι οποίες εξαρτώνται από τη συνολική προηγούμενη βροχόπτωση των 5 τελευταίων ημερών και την εποχή (αδρανής ή αναπτυσσόμενη) και υπολογίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$CN_I = \frac{0.42 \cdot CN_{II}}{1 - 0.0058 \cdot CN_{II}} \tag{7.8}$$

$$CN_{III} = \frac{2.3 \cdot CN_{II}}{1 + 0.013 \cdot CN_{II}} \tag{7.9}$$

Τελικά, η ενεργός βροχόπτωση προκύπτει από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$h_e = 0, \ h \le h_{a0}$$
 (7.10)

$$h_e = \frac{(h - h_{a0})^2}{h + 0.8 \cdot S}, \ h \ge h_{a0}$$
(7.11)

όπου h_e το ενεργό ύψος βροχής [mm], h το ολικό ύψος βροχής [mm], h_{a0} το ύψος του αρχικού ελλείμματος [mm] και S η μέγιστη δυνητική κατακράτηση του εδάφους [mm].

Το αρχικό έλλειμμα *h*_{a0} είναι ουσιαστικά το κατώφλι γένεσης επιφανειακής απορροής και ορίζεται ως η βρόχινη ποσότητα που απορροφάται πλήρως από το έδαφος χωρίς να παρέχει καθόλου ενεργό βροχόπτωση, συνήθως υπό την ακόλουθη παραδοχή:

$$h_{a0} = 0.2 \cdot S \tag{7.12}$$

όπου η μέγιστη δυνητική κατακράτηση του εδάφους S [mm] προσδιορίζεται από την εξίσωση:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1\right)$$
(7.13)

όπου CN είναι ο χωρικά μέσος αριθμός curve number της εξεταζόμενης λεκάνης (ή υπολεκάνης) απορροής (από την καμπύλη απορροής τύπου Ι, ΙΙ ή ΙΙΙ).

Σημειώνεται ότι η Ευρωπαϊκή Εδαφολογική Βάση Δεδομένων (European Soil Database), ESDB, παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για να γίνει η κατηγοριοποίηση των εδαφών στις ομάδες διηθητικότητας βάσει της υφής των πετρωμάτων, όπως αυτή ορίζεται στο εγχειρίδιο του USDA (1989). Περισσότερες πληροφορίες, για τον υπολογισμό, μπορούν να αντληθούν από τις σχετικές οδηγίες του ΥΠΕΝ (floods.ypeka.gr).

Όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα 6.2, ο αριθμός CN της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής έχει εκτιμηθεί σε 77.80, μέσω σχετικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού ArcGIS. Ακόμα, στην εργασία γίνεται μία ανάλυση ευαισθησίας για ακόμα τρία σενάρια αριθμού CN, όπως παρουσιάζεται παρακάτω:

Σενάρια /	i	ii	iii	Μεταβολή	
Συνθήκες	Ξηρές	Κανονικές	Υγρές		
CNπραγματικό	59.55	77.80	88.96	0%	
CN1	54.33	73.91	86.69	-5%	
CN2	65.20	81.69	91.12	+5%	
CN3	71.37	85.58	93.17	+10%	

Πίνακας 7.1 Σενάρια και εφαρμογή ανάλυσης ευαισθησίας για μεταβολή του αριθμού CN από -5% έως +10%.

7.4. Υδροδυναμική προσομοίωση

Οι φυσικοί νόμοι που διέπουν τη ροή μέσα σε ένα ρέμα είναι η αρχή διατήρησης της μάζας και η αρχή διατήρησης της ορμής. Αυτές οι αρχές εκφράζονται μαθηματικά με τη μορφή μερικών διαφορικών εξισώσεων συνέχειας και ορμής αντίστοιχα (U.S. Army Corps of Engineers, 2016).

Η αρχή διατήρησης μάζας για έναν όγκο ελέγχου δηλώνει ότι ο καθαρός ρυθμός ροής στον όγκο είναι ίσος με το ρυθμό μεταβολής της αποθήκευσης στον όγκο αυτόν. Η τελική μορφή της εξίσωσης συνέχειας είναι:

$$\frac{\partial A_{\tau}}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_L = 0 \tag{7.14}$$

Όπου:

- A_{τ} (m²) είναι η συνολική πλημμυρική επιφάνεια,
- $Q(m^3/s)$ είναι η συνολική ροή συναρτήσει της απόστασης x και του χρόνου t,
- q_L (m²/s) είναι η πλευρική εισροή ανά μονάδα μήκους.

Η αρχή διατήρησης ορμής για έναν όγκο ελέγχου εκφράζεται από τον 2° νόμο του Νεύτωνα και δηλώνει ότι ο καθαρός ρυθμός ορμής που εισέρχεται στον όγκο συν το άθροισμα των εξωτερικών δυνάμεων που δρουν στον όγκο είναι ίσα με το ρυθμό συσσώρευσης της ορμής. Η τελική μορφή της εξίσωσης ορμής είναι:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (QV)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0$$
(7.15)

Όπου:

- Q (m³/s) είναι η συνολική ροή συναρτήσει της απόστασης x και του χρόνου t,
- $V(m^3)$ είναι ο όγκος ελέγχου,
- g (m/s²) είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας,
- A (m²) είναι η συνολική πλημμυρική επιφάνεια,
- $\frac{\partial z}{\partial x}$ είναι η κλίση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού και
- S_f είναι ο ρυθμός απωλειών τριβής.

Για την επίλυση της ροής εντός υπολογιστικού πλέγματος του μοντέλου HEC-RAS 1D/2D χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εξισώσεις (U.S. Army Corps of Engineers, 2016):

- Saint Venant (ή αλλιώς ρηχών υδάτων) και
- διάχυσης κύματος (diffusion wave).

Οι εξισώσεις Navier – Stokes περιγράφουν την κίνηση των ρευστών στις τρεις διαστάσεις. Για τη μοντελοποίηση πλημμύρας σε δισδιάστατο επίπεδο γίνονται ορισμένες απλοποιήσεις. Αναλυτικότερα, μια απλοποιημένη μορφή των εξισώσεων Navier-Stokes, οι οποίες περιγράφουν την κίνηση των ρευστών στις τρεις διαστάσεις, εκφράζεται μέσω των εξισώσεων Saint – Venant, οι οποίες στηρίζονται στις παραδοχές μη μόνιμης, ασυμπίεστης ροής, ομοιόμορφης πυκνότητας και συνθήκες υδροστατικής πίεσης του ρευστού. Σε συνθήκες μη μόνιμης ροής, για τη δισδιάστατη μορφή της διαφορικής εξίσωσης Saint Venant ισχύει η αρχή διατήρησης μάζας – συνέχειας, η οποία εκφράζεται μέσω της εξίσωσης:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} + \frac{\partial (hv)}{\partial y} + q = 0$$
(7.16)

Όπου:

- t (s) είναι ο χρόνος,
- H(x,y,t) (m) είναι το υψόμετρο της στάθμης του ύδατος,
- h (x,y,t) (m) είναι το βάθος ροής,
- *u*, *v* (m/s) είναι οι συνιστώσες της ταχύτητας στην *x* και *y* διεύθυνση αντίστοιχα και
- $q (m^{3}/s)$ είναι η εισερχόμενη ροή.

Οι 2D εξισώσεις ποσότητας κίνησης (ορμής) ρηχών υδάτων (Saint Venant) για τη διεύθυνση x και την y αντίστοιχα είναι:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = -g\frac{\partial H}{\partial x} + v_t\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) - c_f u + f_v \tag{7.16}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f_u$$
(7.17)

Όπου:

- u, v (m/s) είναι οι συνιστώσες της ταχύτητας στην x και y διεύθυνση αντίστοιχα,
- g (m/s²) είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας,
- v_t (m²/s) είναι ο συντελεστής οριζόντιου κινηματικού ιξώδους,
- $c_f(s^{-1})$: ο συντελεστής τριβής στον πυθμένα και
- $f(s^{-1})$: η παράμετρος Coriolis (U.S. Army Corps of Engineers, 2016).

Σε ορισμένες περιπτώσεις ροής ρηχών υδάτων οι όροι που περιλαμβάνουν την επιτάχυνση της βαρύτητας και τον συντελεστή τριβής στον πυθμένα είναι κυρίαρχοι στις εξισώσεις κίνησης, ενώ το ιξώδες, η παράμετρος Coriolis, η μεταγωγική επιτάχυνση και η τοπική επιτάχυνση μπορούν να αγνοηθούν (Ανδρικοπούλου, 2019). Στην περίπτωση αυτή, η εξίσωση κίνησης ανάγεται στη δισδιάστατη μορφή των εξισώσεων κύματος διάχυσης (Diffusion Wave Approximation). Ο συνδυασμός της παραπάνω εξίσωσης με την αρχή διατήρησης της μάζας οδηγεί στη δημιουργία ενός μοντέλου εξισώσεων γνωστό ως Diffusion Wave Approximation of the Shallow Water (DSW) equations, που περιλαμβάνει τις ακόλουθες εξισώσεις (Σαρχάνη, 2018):

$$-g\frac{\partial H}{\partial x} = c_f u \tag{7.18}$$

$$-g\frac{\partial H}{\partial y} = c_f v \tag{7.19}$$

Όπου:

- g (m/s²) είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας,
- H(x,y,t) (m) είναι το υψόμετρο της στάθμης του ύδατος,
- u, v (m/s) είναι οι συνιστώσες της ταχύτητας στην x και y διεύθυνση αντίστοιχα,

• $c_f(s^{-1})$: ο συντελεστής τριβής στον πυθμένα

Για την σταθερότητα του μοντέλου τα χρονικά βήματα εκτιμώνται με την εξίσωση του Αριθμού Courant - Friedrichs - Lewy (Patel et al., 2017; Brunner, 2016; Manual, 2016). Στις εξισώσεις Diffusion Wave μπορούν να χρησιμοποιηθούν χρονικά βήματα μεγαλύτερα από αυτά των εξισώσεων Saint Venant, με αποτέλεσμα να προκύπτουν αριθμητικά ακριβείς και σταθερές λύσεις (USACE, 2016).

Για τις εξισώσεις Saint Venant ισχύει:

$$C = \frac{V \cdot \Delta T}{\Delta x} \le 1.0 \ (\mu \varepsilon \ Cmax = 3.0) \tag{7.20}$$

$$\Delta T \le \frac{\Delta x}{V} \ (\mu \varepsilon \ C = 1.0) \tag{7.21}$$

ενώ για τις εξισώσεις Διάχυσης Κύματος (Diffusion Wave) ισχύει:

$$C = \frac{V \cdot \Delta T}{\Delta x} \le 2.0 \; (\mu \varepsilon \; Cmax = 5.0) \tag{7.22}$$

$$\Delta T \le \frac{2\Delta x}{V} \ (\mu \varepsilon \ C = 1.0) \tag{7.23}$$

όπου:

- C είναι ο αριθμός Courant
- Vείναι η ταχύτητα του κύματος (m/s)
- ΔΤ είναι το υπολογιστικό χρονικό βήμα (s)
- Δx είναι το μέσο μέγεθος κελιού (m)

7.5. Υπολογισμός δείκτη κινδύνου

Στην παρούσα μεθοδολογία, προτείνεται ο υπολογισμός της κρίσιμης βροχόπτωσης ως δείκτη για την έκδοση ειδοποίησης στο διαμορφούμενο ΣΕΠΠ (Huang et al., 2019). Η κρίσιμη βροχή υπολογίζεται μέσω του δείκτη κινδύνου (hazard index) *HI*, ο οποίος προκύπτει από τα αποτελέσματα του υδροδυναμικού μοντέλου. Σημειώνεται για τον δείκτη κινδύνου ότι βάσει βιβλιογραφίας, πέρα από τη χρήση του για τον υπολογισμό της κρίσιμης βροχόπτωσης, αποτελεί και καθοριστικό παράγοντα για την έκδοση ειδοποίησης "προετοιμασίας εκκένωσης" (ΠΕ) ή εντολής "άμεσης εκκένωσης" (ΑΕ) (Cao et al., 2010).

Βιβλιογραφικά έχουν αναφερθεί αρκετές μέθοδοι εκτίμησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας (Xia et al., 2011), αυτή όμως που χρησιμοποιείται περισσότερο έχει προταθεί από την υπηρεσία Defra and Environment Agency της Μεγάλης Βρετανίας (Defra and Environment Agency, 2006), η οποία τροποποιήθηκε από τους Huang et al. (2019). Η μεθοδολογία της υπηρεσίας Defra and Environment Agency χρησιμοποίησε το βάθος ροής, την ταχύτητα ροής και την παρουσία φερτών υλικών ως δείκτες για την ποσοτικοποίηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας, βάσει της παρακάτω σχέσης:

$$HI = h (U + 1.5) + DF$$
(7.24)

όπου:

- ΗΙ ο δείκτης κινδύνου (hazard index),
- *h* (m) το βάθος ροής,
- $U = \sqrt{u^2 + v^2}$ (m/s) η ταχύτητα ροής, και
- DF είναι ο δείκτης φερτών υλικών (debris factor) ο οποίος έχει χαρακτηριστικές τιμές 0, 1,
 2, ανάλογα με την πιθανότητα τα φερτά να οδηγήσουν σε μια σημαντικά μεγαλύτερη πλημμυρική επικινδυνότητα.

Οι τιμές της παραμέτρου ΗΙ χωρίζονται σε τέσσερις κλάσεις:

- HI < 0.75,
- 0.75 < HI < 1.25,
- 1.25 < HI < 2.0, kai
- HI > 2.0

και η αξιολόγηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας (flood hazard) επιμερίζεται επίσης σε τέσσερα επίπεδα, με βάση τις παραπάνω κλάσεις:

- για HI < 0.75, η επικινδυνότητα είναι χαμηλή και απαιτείται απλή παρακολούθηση,
- για 0.75 < HI < 1.25, η επικινδυνότητα είναι σημαντική για κάποιες ομάδες πολιτών, συμπεριλαμβανομένων των παιδιών, ηλικιωμένων και άλλων ευάλωτων πληθυσμών,
- για 1.25 < HI < 2.0, η επικινδυνότητα είναι σημαντική για τις περισσότερες ομάδες πολιτών, συμπεριλαμβανομένου του γενικού πληθυσμού, και
- για HI > 2.0, η επικινδυνότητα είναι σημαντική για όλες τις ομάδες πολιτών (συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης).

Συλλογιζόμενοι ότι η παρουσία φερτών είναι μια συνήθης κατάσταση στις πλημμύρες ταχείας απόκρισης, τίθεται ως αντιπροσωπευτική τιμή του δείκτη φερτών DF η τιμή 1.0. Έτσι, η σχέση από την οποία προκύπτει ο δείκτης κινδύνου προσαρμόζεται στην παρακάτω για λόγους απλότητας:

$$HI = h (U + 1.5) \tag{7.25}$$

Όπου, όπως και πριν:

• ΗΙ ο δείκτης κινδύνου (hazard index),

- *h* (m) το βάθος ροής, και
- $U = \sqrt{u^2 + v^2}$ (m/s) η ταχύτητα ροής.

Για το σύστημα προειδοποίησης πλημμυρών που θα εφαρμοστεί στην παρούσα εργασία, θεσπίζονται δύο επίπεδα κινδύνου, στα οποία ορίζονται δύο κρίσιμοι δείκτες κινδύνου HI_c:

- $HI_c = 0.5$, που αντιστοιχεί στο επίπεδο "προετοιμασίας εκκένωσης" (ΠΕ), και
- $HI_c = 1.0$, που αντιστοιχεί στο επίπεδο "άμεσης εκκένωσης" (AE)

Σημειώνεται ότι οι τιμές των κρίσιμων δεικτών κινδύνου HI_c ήταν 1.5 και 2.0 αντίστοιχα στη μελέτη που προτείνεται από την υπηρεσία Defra and Environment Agency που αντιστοιχούν στα επίπεδα ειδοποίησης για "προετοιμασία εκκένωσης" (ΠΕ) και "άμεσης εκκένωσης" (ΑΕ). Η διαφορά έγκειται στον υπολογισμό ή μη του παράγοντα των φερτών υλικών, ο οποίος στην παρούσα εργασία θεωρήθηκε σταθερός, τροποποιώντας κατάλληλα την εξεταζόμενη σχέση του δείκτη κινδύνου, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω.

7.6. Σενάρια συνδυασμών διάρκειας βροχόπτωσης, συνολικής βροχόπτωσης και εδαφικής υγρασίας

Συνολικά εξετάστηκαν 180 σενάρια με βάση:

- Τη διάρκεια βροχόπτωσης,
- Τη συνολική βροχόπτωση,
- Τις αρχικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας (ξηρή, κανονική, υγρή).

Πιο αναλυτικά, τα σενάρια που εξετάστηκαν παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

<u> </u>			
Διάρκεια βροχόπτωσης (h)	Συνολική βροχόπτωση (mm)	Αριθμός σεναρίων	Εδαφική υγρασία
1	40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110	8	
3	70, 85, 100, 115, 130, 145, 160, 175	8	Δονικές συνθάκες
6	80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240	9	Αρχικες συνσηκες
8	90, 110, 130, 150, 170, 190, 210, 230, 250, 270, 290, 310	12	εοαφικής υγρασιας.
12	120, 140, 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300	10	ςιμή, κανονική, υγμη
24	150, 170, 190, 210, 230, 250, 270, 290, 310, 330, 350, 370, 390	13	

Πίνακας 7.2 Τα σενάρια συνδυασμών	διάρκειας βροχόπτωσης,	συνολικής βροχόπτωσης και	εδαφικής υγρασίας που
εφαρμόστηκαν στην παρούσα εργασία.			

Έχοντας ως στόχο να εντοπίσουμε τις τιμές συνολικής βροχόπτωσης που είναι ικανές να προκαλέσουν πλημμυρικά φαινόμενα μεγάλης έντασης, ανάλογα και με τη διάρκεια βροχόπτωσης, τα παραπάνω σενάρια διαμορφώθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε να αντιστοιχούν σε περιόδους επαναφοράς από 5 έως τουλάχιστον 500 ετών. Επίσης, με δεδομένο ότι ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής του Λήλαντα ποταμού (με βάση την εξίσωση Giandotti, όπως θα υπολογιστεί και παρουσιαστεί αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο) εκτιμάται περίπου στις 7 ώρες, επιλέχθηκαν διάρκειες βροχόπτωσης έως 24 ωρών για λόγους υδρολογικής συνέπειας, δηλαδή έως και τριπλάσιες του χρόνου συγκέντρωσης. Τέλος, η συσχέτιση, η αλληλοεξάρτηση και ο υπολογισμός των παραπάνω μεγεθών έγινε με βάση τη παραχθείσα όμβρια καμπύλη της περιοχής μελέτης.

7.7. Υπολογισμός κρίσιμης βροχόπτωσης

Ζητούμενο της μεθοδολογίας είναι η δημιουργία μίας βάσης δεδομένων κρίσιμης βροχόπτωσης για την εξεταζόμενη λεκάνη. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η βάση θα διαμορφωθεί μέσω του υπολογισμού της κρίσιμης βροχόπτωσης για όλους τους συνδυασμούς διάρκειας βροχόπτωσης [h] και αρχικών συνθηκών εδαφικής υγρασίας (ξηρές, κανονικές ή υγρές). Συνεπώς, για κάθε κελί του εξεταζόμενου κανάβου, δύνανται να εξαχθούν 36 τιμές κρίσιμης βροχόπτωσης, όσοι είναι και οι πιθανοί συνδυασμοί που προκύπτουν από τις διαφορετικές διάρκειες βροχόπτωσης (6), αρχικών συνθηκών υγρασίας εδάφους (3) και επιπέδων προειδοποίησης πλημμύρας (2).

Κατά τη διαδικασία της 2D υδροδυναμικής μοντελοποίησης, έχοντας δημιουργήσει καταρχήν έναν κάναβο, εξάγουμε τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής (όπως το βάθος και την ταχύτητα) κάθε κελιού ώστε στη συνέχεια να υπολογίσουμε τον δείκτη κινδύνου *HI* σύμφωνα με τη σχέση (7.25), για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια.

Στη συνέχεια, συγκρίνουμε τον κρίσιμο δείκτη κινδύνου HI_c, δηλαδή τις τιμές 0.5 και 1.0 που αντιστοιχούν στα δύο επίπεδα κινδύνου, με τους μέγιστους δείκτες κινδύνου HI που προέκυψαν από κάθε εξεταζόμενο σενάριο έντασης και διάρκειας βροχόπτωσης, ώστε τελικά, αν θέσουμε αυτούς τους μέγιστους δείκτες κινδύνου σε αύξουσα σειρά, για δύο διαδοχικές θέσεις αυτών των μεγίστων να ισχύει:

$$(HI)_k < (HI)_C \le (HI)_{k+1} \tag{7.26}$$

όπου k και k+1 είναι δύο διαδοχικές θέσεις. Έστω R_k και R_{k+1} οι βροχοπτώσεις που παράγουν τους δείκτες κινδύνου $(HI)_k$ και $(HI)_{k+1}$ στις διαδοχικές θέσεις k και k+1 αντίστοιχα. Τότε, η κρίσιμη βροχή R_c υπολογίζεται μέσω γραμμικής παρεμβολής των βροχοπτώσεων R_k και R_{k+1} .

7.8. Διαγραμματική παρουσίαση του εφαρμοζόμενου ΣΕΠΠ

Στο εφαρμοζόμενο ΣΕΠΠ, τα βήματα που ακολουθούνται κατά τη διαδικασία έκδοσης ειδοποίησης έναντι πλημμύρας είναι τα ακόλουθα (εικόνα 5.1):

- Καθορισμός της διάρκειας βροχόπτωσης, σύμφωνα με τη σχετική υδρομετεωρολογική πρόγνωση.
- Καθορισμός κατηγορίας υγρασίας εδάφους πριν το εξεταζόμενο γεγονός βροχόπτωσης, σύμφωνα με τα αθροιστικά ύψη βροχής του προηγούμενου πενθημέρου (πίνακας 7.3).
- 3. Με βάση την αναμενόμενη διάρκεια βροχόπτωσης και τον καθορισθέντα τύπο προϋπάρχουσας εδαφικής υγρασίας, γίνεται καθορισμός της κρίσιμης βροχόπτωσης που ανταποκρίνεται σε αυτό το αναμενόμενο γεγονός, μέγεθος το οποίο έχει ήδη υπολογιστεί και εξάγεται από τη βάση δεδομένων (κρίσιμων βροχοπτώσεων).
- Υπολογισμός της αθροιστικής βροχόπτωσης τη χρονική στιγμή απόφασης (decision time),
 r_d:

$$r_d = \sum_{t=0}^{t=t_d} r_o$$
 (7.27)

και υπολογισμός της αθροιστικής βροχόπτωσης τη χρονική στιγμή προειδοποίησης (warning time) *r_w*:

$$r_w = r_p + r_d \tag{7.28}$$

Τα χρονικά βήματα υπολογισμού για τα r_d και r_w είναι 15 λεπτά για βροχόπτωση διάρκειας 1h βροχόπτωση, 30 λεπτά για βροχοπτώσεις διάρκειας 3h ή 6h και 1 ώρα για χρονικές διάρκειες βροχόπτωσης περισσότερων ωρών.

5. Σύγκριση της βροχόπτωσης τη χρονική στιγμή προειδοποίησης, *r_w*, και της κρίσιμης βροχόπτωσης *r_c*. Στην περίπτωση που ισχύει:

$$r_w > r_c \tag{7.29}$$

τότε πρέπει να σταλεί ειδοποίηση στον εξυπηρετούμενο πληθυσμό που βρίσκεται σε κίνδυνο.



Εικόνα 7.1 Διάγραμμα ροής της διαδικασίας που ακολουθείται για την έκδοση ή μη προειδοποίησης έναντι κινδύνου πλημμύρας για μία εξεταζόμενη περιοχή μελέτης (Huang et al., 2019, τροποποιημένο).

Σχετικά με τον πίνακα 7.3, σημειώνουμε ότι ο όρος «περίοδος αδράνειας» χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει την εποχή κατά την οποία η ανάπτυξη των φυτών επιβραδύνεται ή σταματά, όπως συμβαίνει κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Ακόμα, η "περίοδος ανάπτυξης"

αναφέρεται στην εποχή του έτους κατά την οποία οι κλιματικές συνθήκες είναι κατάλληλες για την ανάπτυξη των φυτών, συνήθως την άνοιξη και το καλοκαίρι.

Πίνακας 7.3 Καθορισμός αρχικής κατάστασης εδαφικής υγρασίας πριν το εξεταζόμενο γεγονός βροχόπτωσης, σύμφωνα με τα αθροιστικά ύψη βροχής του προηγούμενη πενθημέρου (SCS, 1972, τροποποιημένο).

1 11 /			
Αρχική κατάσταση	Αθροιστική Βροχόπτωση τω	Δείκτης κορεσμού	
εδαφικής υγρασίας	Περίοδος αδράνειας	Περίοδος ανάπτυξης	εδάφους $\theta_{init}/\theta_{sat}$
Ξηρή	<12.5	<35.5	1.0/3.0
Κανονική	12.7 έως 28	35.5 έως 53.3	2.0/3.0
Υγρή	>28	>53.3	1.0

7.9. Περιορισμοί χρήσης εφαρμοζόμενου ΣΕΠΠ

Στα παραδοσιακά συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης έναντι πλημμυρών, χρησιμοποιείται ευρέως στην Ευρώπη και την Αμερική η μέθοδος Flash Flood Guidance (FFG). Η μέθοδος FFG εξετάζει ουσιαστικά τη βροχόπτωση μιας συγκεκριμένης διάρκειας, υπό την υπόθεση ομοιόμορφης κατανομής της στον χώρο και τον χρόνο σε μία συγκεκριμένη λεκάνη, που είναι αναγκαία ώστε να προκληθεί πλημμύρα σε μια θεωρούμενη έξοδο της λεκάνης απορροής. Η σχέση μεταξύ βροχόπτωσης και παροχής σε συγκεκριμένες θέσεις είναι το κύριο χαρακτηριστικό το οποίο εξετάζουν οι μέθοδοι αυτού του είδους. Στην περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμα και επαρκή ιστορικά στοιχεία καταγραφής βροχόπτωσης, συνθηκών υγρασίας εδάφους και παροχών στις υπό εξέταση θέσεις, τότε η απόδοση της μεθόδου FFG μπορεί να είναι εξαιρετική. Παρ' όλ' αυτά, πρέπει να σημειωθούν τα ακόλουθα (Hapuarachchi et al., 2011):

- παρέχοντας μια συγκεντρωτική (χαρακτηριστική) τιμή για μια υπό διερεύνηση λεκάνη, δεν εξετάζονται επαρκώς και δεν μπορούν να αποκαλυφθούν πλήρως πιθανές κρίσιμες περιοχές ως προς τον πλημμυρικό κίνδυνο που βρίσκονται εντός της εξεταζόμενης λεκάνης,
- το κατώφλι που επιλέγεται για τα μεγέθη παροχών ποικίλλει σε διαφορετικές διατομές ποταμών και ρεμάτων, οδηγώντας σε περιόδους επαναφοράς πλημμύρας της τάξης των 1-2 χρόνων, το οποίο είναι μη ρεαλιστικό και
- η μέθοδος FFG δεν συμπεριλαμβάνει στους υπολογισμούς την επίδραση των τοπογραφικών χαρακτηριστικών και τους εν γένει περιορισμούς που θέτουν οι επιφανειακές ροές, ειδικά σε περιοχές όπου έχουν γίνει πρόσφατα έργα αντιπλημμυρικής θωράκισης ή προγραμματίζεται να γίνουν.

Συγκρινόμενη με τη μέθοδο FFG, η μέθοδος προειδοποίησης πλημμύρας που εφαρμόζεται σε αυτή την εργασία δεν εναπόκειται σε αυτούς τους περιορισμούς. Καταρχάς, η κρίσιμη βροχή που υπολογίζεται δεν είναι απαραίτητο να είναι σταθερή στον χώρο, γεγονός που γεννά την προσδοκία καλύτερου χειρισμού της χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης κατά την πραγματική επιχειρησιακή διαδικασία. Επιπλέον, ο μηχανισμός προειδοποίησης συγκρίνει ευθέως τα αθροιστικά ύψη βροχόπτωσης και την προκαθορισμένη κρίσιμη βροχόπτωση, χωρίς να χρειάζεται να οριστεί ένα κατώφλι για τα μεγέθη παροχής, αποφεύγοντας τις εν γένει δυσκολίες και τους περιορισμούς που αναπόφευκτα υπεισέρχονται κατά τη διαδικασία υπολογισμού τέτοιων χαρακτηριστικών μεγεθών σε διαφορετικές χωρικά και

γεωμετρικά διατομές. Ακόμα, οι επιφανειακές ροές υπολογίζονται με χρήση ενός πλήρους υδροδυναμικού μοντέλου, το οποίο περιλαμβάνει την επιρροή της έντασης της βροχόπτωσης, τις τοπογραφικές κλίσεις, την υγρασία του εδάφους, καθώς και τους μηχανισμούς απωλειών (διήθησης).

Στον αντίποδα, σημαντικοί είναι οι περιορισμοί και τα όρια χρήσης της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας. Πρώτον, τα αποτελέσματα εξαρτώνται από την ανάλυση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (ΨΜΕ) που έχει στη διάθεσή του ο μελετητής το οποίο, σε περίπτωση που είναι αδρό, είναι πιθανό να μειώσει την ακρίβεια των υδραυλικών χαρακτηριστικών που προκύπτουν (βάθη, ταχύτητα ροής κ.α.). Ακόμα και σε αυτό το πλαίσιο όμως, η διαδικασία έκδοσης των σχετικών προειδοποιήσεων για τον κίνδυνο πλημμύρας δεν αλλάζει, απλά τονίζεται η αναγκαιότητα αυξημένης ανάλυσης των υπολογιστικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται. Επιπροσθέτως, η υπόθεση ομοιόμορφης βροχόπτωσης στον χώρο και τον χρόνο συμβαδίζει με την αντίστοιχη παραδοχή που γίνεται κατά τη διαμόρφωση των σεναρίων στα μοντέλα FFG, η οποία όμως διαφέρει από τις συνθήκες που επικρατούν στα πραγματικά γεγονότα βροχόπτωσης. Επιπλέον, όπως και στα περισσότερα ΣΕΠΠ, η επιτυχία τους βασίζεται στην ορθή υδρομετεωρολογική πρόγνωση της χωρικής και χρονικής κατανομής της βροχόπτωσης, η οποία ενέχει σημαντικές αβεβαιότητες, με συνέπεια, όπως έχει συμβεί στην πράξη σε πολλές περιπτώσεις, είτε την λανθασμένη έκδοση προειδοποίησης είτε, αντιθέτως, την αδυναμία πρόβλεψης εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου και της μη έγκαιρης έκδοσης προειδοποίησης, ως οφειλόταν. Τέλος, σημειώνεται ότι με την παρούσα μέθοδο, το χρονικό βήμα λήψης αποφάσεων για την έκδοση ή μη προειδοποίησης είναι μικρό, με αποτέλεσμα να μην διατίθεται στον εξυπηρετούμενο πληθυσμό εκτεταμένο χρονικό διάστημα για την προετοιμασία και την υλοποίησης μίας πιθανής διαδικασίας εκκένωσης. Σε κάθε περίπτωση όμως, η χρονική διακριτοποίηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων βάσει υδρομετεωρολογικών προγνώσεων, η επιχειρησιακή λειτουργία και ο γενικότερος σχεδιασμός ενός ΣΕΠΠ, είναι στην ευγέρεια των αρμόδιων φορέων που θα κληθούν να το υλοποιήσουν, συμπεριλαμβάνοντας την ιστορική υδρολογική πληροφορία και όλα τα ειδικά χαρακτηριστικά μιας υπό εξέταση λεκάνης απορροής.

7.10. Υπολογιστικά εργαλεία και χρησιμοποιούμενα λογισμικά

7.10.1. Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών – Λογισμικό ArcGIS

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ), γνωστά ευρύτερα ως GIS (Geographical Information Systems) διαχειρίζονται αποτελεσματικά τη χωρική πληροφορία και τα περιγραφικά δεδομένα που μπορούν να συσχετιστούν με αυτή. Σύμφωνα με τους Κάβουρα κ.α. (2016) ένα σύστημα GIS δεν είναι απλώς ένα πακέτο λογισμικού, αλλά ένα σύνθετο σύστημα που αποτελείται από επιμέρους συστατικά στοιχεία (εικόνα 7.2):

- το σύστημα του υπολογιστή, δηλαδή το υλικό (hardware) και το λειτουργικό σύστημα (operating system)
- το λογισμικό (software)
- τα χωρικά δεδομένα
- τις διαδικασίες διαχείρισης και ανάλυσης των δεδομένων
- τους χρήστες

Τα ΣΓΠ βρίσκουν εφαρμογή σε ένα ευρύ πεδίο επιστημών, όπως ο τομέας της μηχανικής, των θετικών επιστημών, της υγείας, των κοινωνικών επιστημών, των φυσικών πόρων, των μεταφορών, των τεχνικών υποδομών, των επιχειρήσεων και πολλών ακόμη. Τα ΣΓΠ διαφέρουν από άλλα συστήματα πληροφοριών, στο ότι διαχειρίζονται σύνθετες πληροφορίες και σχέσεις του χώρου και χρησιμοποιούνται για να λύσουν χωρικά προβλήματα ή προβλήματα που έχουν κάποια χωρική διάσταση. (Κάβουρας κ.α., 2016).

Εξαιτίας της έκτασης των εφαρμογών των ΣΓΠ, είναι φυσικό πως η χρήση και οι δυνατότητες τους προσφέρουν μια πληθώρα υπολογιστικών εργαλείων και στον κλάδο της Υδρολογίας. Στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS (έκδοση Desktop 10.7.1). Το βασικό πρόγραμμά του, ArcMap, έχουν αναπτυχθεί και ενταχθεί εργαλειοθήκες με κατάλληλες υπολογιστικές μεθόδους και διεργασίες.



Εικόνα 7.2 Συστατικά στοιχεία ενός Σ.Γ.Π. (Κάβουρας κ.α., 2016)

To ArcGIS χαρακτηρίζεται από ένα ευρύ φάσμα εργαλείων για την επεξεργασία των χωρικών δεδομένων. Οι πιο σημαντικές ικανότητες των εργαλείων είναι:

- Επιλογή, ένωση και δημιουργία δεδομένων.
- Υπολογισμός στατιστικών χαρακτηριστικών.
- Δημιουργία πληροφορίας σε μια επιφάνεια μέσω παρεμβολής σημείων ή γραμμών.
- Συνεργασία και ανταλλαγή πληροφοριών με άλλα συστήματα.
- Μετατροπή δεδομένων από μια μορφή σε μια άλλη.
- Προσαρμογή, προβολή, και δημιουργία πληροφορίας σε οποιοδήποτε σύστημα αναφοράς, σε οποιαδήποτε κλίμακα και σε όλες τις αναγνωρισμένες μονάδες μέτρησης.
- Μετατροπή γεωμετρικής αναπαράστασης των δεδομένων.

7.10.2. Υδρολογική προσομοίωση - Λογισμικό HEC-HMS

Το λογισμικό υδρολογικής μοντελοποίησης HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) είναι ένα εννοιολογικό μοντέλο προσομοίωσης των διεργασιών βροχής-απορροής λεκανών δενδροειδούς μορφής που έχει εφαρμογή τόσο σε αγροτικές λεκάνες, όσο και σε αστικές ή ημιαστικές, ανεξαρτήτως του μεγέθους τους. Σχεδιάστηκε από το κέντρο υδρολογίας/υδραυλικής μηχανικής HEC (Hydrologic Engineering Center), που αποτελεί σώμα του Αμερικάνικου Στρατού (U.S. Army Corps of Engineers – U.S.A.C.E., 2000), είναι ελεύθερο προς χρήση για κάθε ενδιαφερόμενο ενώ, σύμφωνα με τους δημιουργούς του, μπορεί χρησιμοποιηθεί μεταξύ άλλων για την ανάλυση αστικών πλημμυρών, τον προσδιορισμό της συχνότητας εμφάνισης πλημμυρών, τον σχεδιασμό συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης πλημμυρών κ.α.

Το HEC-HMS προσφέρει τη δυνατότητα μοντελοποίησης ολοκληρωμένων διαδικασιών υδρολογικής ανάλυσης, όπως το μοναδιαίο υδρογράφημα, την υδρολογική διόδευση πλημμυρών και την επιφανειακή διείσδυση. Επίσης, το λογισμικό περιλαμβάνει την περιγραφή διαδικασιών που είναι απαραίτητες για τη συνεχή προσομοίωση υδρολογικών γεγονότων, όπως η εξατμισοδιαπνοή, η απορροή από το λιώσιμο του χιονιού και η υγρασία εδάφους. Επιπλέον, μπορεί να παράξει προσομοιώσεις απορροής σε μορφή πλέγματος κανάβου, διαθέτει εργαλεία βελτιστοποίησης, αξιολόγησης της αβεβαιότητας του μοντέλου, εκτίμησης παροχών ποταμών, ποιότητας νερού, καθώς και μεγεθών διάβρωσης και μεταφερόμενων ιζημάτων (U.S. Army Corps of Engineers, 2022).

Παρά τις υπολογιστικές δυνατότητες που προσφέρει το λογισμικό, είναι σημαντικό να τονιστούν οι αβεβαιότητες που χαρακτηρίζουν τη διαδικασία εκτίμησης των παραμέτρων που εισέρχονται κατά τη μοντελοποίηση, οι οποίες συχνά οδηγούν σε μη ρεαλιστικά αποτελέσματα. Παρ' όλ' αυτά, είναι πολύ σημαντική η προσφερόμενη ταχύτητα εκτέλεσης των προσομοιώσεων και της εν γένει μοντελοποίησης που προσφέρει το HEC-HMS σε σχέση με τα απλά υπολογιστικά φύλλα εργασίας (όπως το Microsoft Excel).

Επιπλέον, το λογισμικό διαθέτει ένα πλήρως ενσωματωμένο περιβάλλον εργασίας που περιλαμβάνει βάση δεδομένων, βοηθητικά προγράμματα εισαγωγής δεδομένων, ισχυρά υπολογιστικά εργαλεία και μεθόδους παρουσίασης αποτελεσμάτων σε πινακοποιημένη, διαγραμματική ή γραφική μορφή, καθώς και σε ποικίλες χωροχρονικές κλίμακες. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης αποθηκεύονται στο σύστημα HEC-DSS (Data Storage System) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά με άλλα λογισμικά για μελέτες υδατικών πόρων, αστικών υδραυλικών έργων, εκτίμησης παροχών, αλλαγών χρήσεων γης και αστικοποίησης, σχεδιασμού ταμιευτήρων και υπερχειλιστών, καθώς και μείωσης του πλημμυρικού κινδύνου.

Συνοπτικά, το HEC-HMS αποτελεί μια πλατφόρμα διασύνδεσης μοντέλων για τον υπολογισμό των υδρολογικών παραμέτρων και περιλαμβάνει:

- Μοντέλο λεκάνης απορροής
- Μετεωρολογικό μοντέλο
- Μοντέλο υπολογισμού υδρολογικών απωλειών

- Μοντέλο υπολογισμού βασικής απορροής
- Μοντέλο υπολογισμού επιφανειακής απορροής
- Μοντέλο υδρολογικής διόδευσης

Συνολικά, εννέα μέθοδοι εκτίμησης απωλειών παρέχονται στο HEC-HMS, με κάποιες από αυτές να έχουν σχεδιαστεί για την προσομοίωση γεγονότων, ενώ άλλες να είναι κατάλληλες για συνεχείς προσομοιώσεις. Επιπροσθέτως, προσφέρονται συνολικά επτά διαφορετικές μέθοδοι μετατροπής της βροχής σε απορροή (transformation methods). Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιείται η μέθοδος απωλειών SCS-CN (Soil Conservation Service Curve Number loss method) και για το μοναδιαίο υδρογράφημα η μέθοδος User-Specified Unit Hydrograph.

Για κάθε εξεταζόμενο σενάριο, μέσω της μοντελοποίησης με το HEC-HMS εξήχθησαν τα πλημμυρογραφήματα, μαζί με τα υδρολογικά στοιχεία που το συνοδεύουν.

7.10.3. Υδραυλική προσομοίωση - Λογισμικό HEC-RAS

Το λογισμικό HEC-RAS, σχεδιάστηκε από το κέντρο υδρολογίας/υδραυλικής μηχανικής HEC (Hydrologic Engineering Center), που αποτελεί σώμα του Αμερικάνικου Στρατού (U.S. Army Corps of Engineers – U.S.A.C.E.), είναι ελεύθερης πρόσβασης και χρησιμοποιείται για την υδραυλική ανάλυση ποταμών σε μόνιμες και μη-μόνιμες συνθήκες. Αποτελείται από το γραφικό περιβάλλον διεπαφής του χρήστη (Graphical User Interface – GUI) και του πυρήνα υδραυλικών αναλύσεων, ενώ παρέχει δυνατότητες αποθήκευσης, διαχείρισης δεδομένων, καθώς και εργαλεία αναπαράστασης και επεξεργασίας αποτελεσμάτων. Το σύστημα διαθέτει τέσσερις κατηγορίες υδραυλικής ανάλυσης ποταμού:

- μόνιμη ροή επιφανειακών υδάτων,
- κατά προσέγγιση μη-μόνιμη ροή επιφανειακών υδάτων,
- μη μόνιμη ροή επιφανειακών υδάτων,
- προσομοίωση φερτών με μεταβαλλόμενα όρια και
- ανάλυση ποιότητας νερού.

Επιπλέον παρέχονται πρόσθετες λειτουργίες οι οποίες ενεργοποιούνται μετά την επίλυση και τον υπολογισμό του προφίλ των επιφανειακών υδάτων. Σε αυτές περιλαμβάνεται η χαρτογραφική απεικόνιση των υπολογισμένων παραμέτρων της προσομοίωσης, όπως το βάθος, η στάθμη και η ταχύτητά των υδάτων, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, εντός του χρονικού παραθύρου προσομοίωσης. Ταυτόχρονα, υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας χάρτη με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των προαναφερθέντων μεγεθών που εμφανίστηκαν σε κάθε σημείο της περιοχής προσομοίωσης και καθ' όλη τη διάρκειά της (U.S. Army Corps of Engineers, 2016).

Το HEC-RAS σχεδιάστηκε ώστε να εκτελεί μονοδιάστατη (1D), δισδιάστατη (2D) ή συνδυασμένη μονοδιάστατη και δισδιάστατη (1D/2D) υδραυλική ανάλυση ποταμών.

Η 1D υδραυλική ανάλυση ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν ποιοτικά στοιχεία διατομών, καθώς και για συστήματα ανοιχτών αγωγών καθορισμένης διατομής. Το 1D μοντέλο χρησιμοποιείται επιπλέον για την ανάλυση περιοχών με έντονο ανάγλυφο και μεγάλες κλίσεις, οι οποίες συνδέονται γενικά με μικρό πεδίο κατάκλισης πλημμύρας. Τέτοια ανάλυση προτιμάται

επίσης σε περιπτώσεις ύπαρξης τεχνικών έργων στην περιοχή μελέτης, διότι αναμένεται να οδηγήσει σε πιο ακριβή αποτελέσματα σε σχέση με τη δισδιάστατη ανάλυση.

Όσον αφορά στη 2D ανάλυση, αυτή ενδείκνυται σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν δεδομένα Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (Digital Elevation Model DEM) καθώς και για την προσομοίωση περιοχών με ηπιότερες κλίσεις, οι οποίες συχνά συνδέονται με εκτεταμένο πλημμυρικό πεδίο. Αυτού του τύπου η ανάλυση συστήνεται για περιπτώσεις έντονης κίνησης της ροής σε δύο διευθύνσεις, όπως και όταν προκύπτει ανάγκη ανάλυσης της ταχύτητας ροής σε περιοχές κοντά σε τεχνικά έργα. Τέλος, η 2D υδραυλική ανάλυση χρησιμεύει για την μοντελοποίηση θραύσης φράγματος ή αναχώματος, όπου η ροή απότομα αποκτά πολλές κατευθύνσεις. Η επίλυση της δισδιάστατης ροής βασίζεται στις εξισώσεις συνέχειας και ποσότητας κίνησης, οι οποίες αποτελούν μαθηματική έκφραση της αρχής διατήρησης μάζας και της αρχής διατήρησης της ορμής, αντίστοιχα.

Η 1D/2D υδραυλική ανάλυση εφαρμόζεται κυρίως για την ανάλυση συστημάτων που περιλαμβάνουν αστικό και μη αστικό περιβάλλον, όπου δηλαδή αξιοποιείται η μονοδιάστατη ανάλυση για την προσομοίωση της ροής εντός τους υδρογραφικού δικτύου και δισδιάστατη για την ανάλυση των πεδινών εκτάσεων. Κατά την ανάπτυξη αυτού του μοντέλου, τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου ταυτίζονται με εκείνα που απαιτούνται για την ανάπτυξη ενός μοντέλου 2D. Για τη ρύθμιση της γεωμετρίας του μοντέλου χρειάζεται ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) συμπληρωμένο με μετρήσεις βαθυμετρίας στο ποτάμι, ενώ και για τη ρύθμιση των οριακών συνθηκών απαιτούνται δεδομένα ροής και στάθμης του νερού. Η μοντελοποίηση του HEC-RAS 1D/2D μπορεί να γίνει με δύο διαφορετικούς τρόπους: είτε δημιουργώντας μια πλευρική σύνδεση όπου βρίσκονται οι περιοχές 2D σε συνδυασμό με διατομές 1D, με τη χρήση πλευρικών δομών, είτε με μοντελοποίηση ανάντη ή κατάντη του ποταμού μόνο σε 1D και σύνδεσή του με 2D περιοχή που βρίσκεται πιο ανάντη ή κατάντη αντίστοιχα.

Στην παρούσα εργασία, ο προσδιορισμός της έκτασης της πλημμύρας, καθώς και οι χάρτες μέγιστων βαθών και μέγιστων ταχυτήτων για την περιοχή μελέτης εκτελούνται με το HEC-RAS 2D. Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο HEC-RAS για τη διεξαγωγή αυτής της ανάλυσης είναι τα υδρογραφήματα που εξήχθησαν από HEC-HMS, για τα εξεταζόμενα σενάρια, το Ψηφιακό Movτέλο Εδάφους που αντλήθηκε από το Κτηματολόγιο Α.Ε. (μετά από τη σχετική επεξεργασία στο ARC-MAP), οι χρήσης γης κατά Corine (2018; Εικόνα 7.3), καθώς και οι τιμές του συντελεστή Manning *n*, για τον εκάστοτε κωδικό χρήσης γης (Huang, 2005; Εικόνα 7.4), οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα Π-4 του παραρτήματος.

Σχετικά με την ανάλυση, διαμορφώθηκε το μοντέλο σε γεωμετρικό επίπεδο (Geometric Data Editor) μέσω του εργαλείου 2D Flow Area και επιλέχθηκαν με χρήση του 2D Area Boundary Condition Lines οι θέσεις εφαρμογής των οριακών συνθηκών (Εικόνα 7.5). Η οριακή συνθήκη για συνθήκες μη μόνιμης ροής στην είσοδο του μοντέλου επιλέχθηκε να είναι το εκάστοτε υδρογράφημα παροχής (Flow Hydrograph), ενώ στην έξοδο το ομοιόμορφο βάθος ροής (εικόνα 7.6). Η κλίση της γραμμής ενέργειας ορίστηκε ίση με 0.01, ενώ ο ρυθμός απωλειών, λόγω τριβής, στο χαμηλότερο τμήμα της περιοχής μελέτης ορίστηκε επίσης ίσος με 0.01.


Εικόνα 7.3 Χάρτης χρήσεων γης κατά Corine (2018) στην εξεταζόμενη περιοχή μελέτης.



Εικόνα 7.4 Χάρτης συντελεστών Manning n στην εξεταζόμενη περιοχή μελέτης.



Εικόνα 7.5 Το διαμορφούμενο μοντέλο μέσω των εργαλείων 2D Flow Area και 2D Area Boundary Condition Lines.

LUnsteady Flow Da	ata - 1 - 24h 370	CN-II -5%		$ \Box$ \rightarrow	(
File Options Help					
Description:				🚊 Apply Da	ta
Boundary Conditions	Initial Conditions	Meteorolo	gical Data Observed Data		
		Boundary Co	ondition Types		
Stage Hydrograph	Flow Hy	drograph	Stage/Flow Hydr.	Rating Curve	
Normal Depth	Lateral In	flow Hydr.	Uniform Lateral Inflow	Groundwater Interflow	
T.S. Gate Openings	Elev Contr	olled Gates	Navigation Dams	IB Stage/Flow	
Rules	Precip	itation			
	Ad	ld Boundary (Condition Location		
Add RS	Add SA/2D Fl	ow Area	Add SA/2D Area Conn	Add Pump Station	
	Select Location in	n table then s	elect Boundary Condition Typ	e	
River	Reach	RS	Boundary Condition		
Storage/2D Flow A	reas		Boundary Condition		
1 2DMESH BC	Line: UPSTREAM		Flow Hydrograph		
2 2DMESH BC	Line: DOWNSTRE	AM	Normal Depth		

Εικόνα 7.6 Οι οριακές συνθήκες που εφαρμόστηκαν σε όλα τα εξεταζόμενα σενάρια.

Επιπλέον, το μοντέλο και το σύνολο των σεναρίων υπολογίστηκαν με το εργαλείο Run Unsteady Flow Analysis, ενώ το χρονικό βήμα εκτέλεσης των υπολογισμών ορίστηκε ίσο με 5 sec, το χρονικό βήμα εξαγωγής χαρτογραφημένων αποτελεσμάτων ίσο με 10 min, καθώς και το χρονικό βήμα των εξαγόμενων υδρογραφημάτων και των λεπτομερών αποτελεσμάτων ίσο με 10 min αντιστοίχως (εικόνα 7.7).

L Unsteady Flow Analysis		×
File Options Help		
Plan: 2 - 24h 370 CN-II REAL	Short ID: 2 - 24h 370 CN-II REAL	
Geometry File:	GEOMETRY_MSC	•
Unsteady Flow File:	2 - 24h 370 CN-II REAL	•
Programs to Run	-Plan Description	
Geometry Preprocessor Unsteady Flow Simulation Sediment Post Processor		^
Floodplain Mapping		~
Simulation Time Window Starting Date: 08	AUG2020 Starting Time: 0000	
Ending Date: 12	ZAUG2020 Ending Time: 1800	
Computation Settings		
Computation Interval: 5	Second 🔄 Hydrograph Output Interval: 10 Minu	te 💌
Mapping Output Interval: 10	0 Minute 🔄 Detailed Output Interval: 10 Minu	te 🔻
Project DSS Filename: 💌 🔿	Users\Konstantinos\Documents\HEC Data\HEC-RAS\MSC	ž
Time Step is controlled by courant	t condition.	
	Compute	

Εικόνα 7.7 Παράμετροι του εργαλείου Run Unsteady Flow Analysis.

Τέλος, ο δείκτης κινδύνου ΗΙ σε κάθε σημείο για όλα τα σενάρια υπολογίστηκε στο HEC-RAS μέσω του εργαλείου RASter Calculator (εικόνα 7.8).

Εικόνα 7.8 Το εργαλείο RASter Calculator του HEC-RAS, μέσω του οποίου υπολογίστηκε ο δείκτης κινδύνου ΗΙ.

8. Υδρολογική Ανάλυση

8.1. Παραγωγή υετογραφημάτων

Ακολουθώντας τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην ενότητα 7.1 σχετικά με την παραγωγή της όμβριας καμπύλης στην περιοχή μελέτης και αξιοποιώντας τα υδρολογικά δεδομένα του σταθμού ΚΑΤΩ ΣΤΕΝΗ, όπως αναπτύχθηκε στην ενότητα 6.2, η όμβρια καμπύλη της εξεταζόμενης λεκάνης απορροής διαμορφώνεται ως ακολούθως:

$$i(d,T) = \frac{379.79 \cdot (T^{0.097} + 0.707)}{(d+0.124)^{0.622}}$$
(8.1)

Με βάση τα 61 εξεταζόμενα σενάρια διάρκειας βροχόπτωσης (d) και συνολικού ύψους βροχόπτωσης (I), όπως παρουσιάζονται στην ενότητα 7.6 και στον πίνακα 7.2, διαμορφώθηκαν με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ ισάριθμα υετογραφήματα που αντιστοιχούν σε αυτά τα σενάρια, τα οποία στη συνέχεια εισήχθησαν στο HEC-HMS για την παραγωγή των αντίστοιχων υδρογραφημάτων.

Στον πίνακα 8.1 παρουσιάζεται η εφαρμογή της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ για το σενάριο d=6h και I=200mm, που αντιστοιχεί (βάση της όμβριας καμπύλης της εξεταζόμενης περιοχής μελέτης) σε περίοδο επαναφοράς T=252,57 έτη.

ti	it	h _i = t _i * i _t	pi = h _i /hmax	p _i -p _{i-1}	Αναδιάταξη/ θέση	Τιμή	hi'=pi'*h _{max}
h	mm		0				mm
0.5	137.978	68.989	0.3449	0.345	11	0.035478	7.10
1	95.684	95.684	0.4784	0.133	9	0.040672	8.13
1.5	76.108	114.162	0.5708	0.092	7	0.048453	9.69
2	64.406	128.811	0.6441	0.073	5	0.06182	12.36
2.5	56.470	141.175	0.7059	0.062	3	0.092391	18.48
3	50.665	151.994	0.7600	0.054	1	0.344945	68.99
3.5	46.195	161.684	0.8084	0.048	2	0.133474	26.69
4	42.627	170.509	0.8525	0.044	4	0.073248	14.65
4.5	39.698	178.643	0.8932	0.041	6	0.054091	10.82
5	37.242	186.212	0.9311	0.038	8	0.044122	8.82
5.5	35.147	193.308	0.9665	0.035	10	0.037845	7.57
6	33.333	200.000	1.0000	0.033	12	0.033462	6.69
							200.00

Πίνακας 8.1 Εφαρμογή της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ για το σενάριο d=6h και I=200mm, που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς T=252,57 έτη



Το υετογράφημα για το προαναφερθέν σενάριο (d=6h και I=200mm) παρουσιάζεται ακολούθως:

Εικόνα 8.1 Παραχθέν υετογράφημα που αντιστοιχεί στο σενάριο d=6h και I=200mm.

Στην ενότητα 13.3 του παραρτήματος παρουσιάζονται όλα τα υετογραφήματα που διαμορφώθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, βάσει των 61 εξεταζόμενων σεναρίων διάρκειας βροχόπτωσης (d) και συνολικού ύψους βροχόπτωσης (I). Επίσης, στις εικόνες 8.2 έως 8.7 παρουσιάζεται μία ενιαία διαγραμματική απεικόνιση του συνόλου των παραχθέντων και εξεταζόμενων υετογραφημάτων.



Εικόνα 8.2 Σύγκριση παραχθέντων και εξεταζόμενων υετογραφημάτων που αντιστοιχούν σε διάρκεια βροχόπτωσης d=1h και συνολικού ύψους βροχόπτωσης από 40 έως 110mm.



Εικόνα 8.3 Σύγκριση παραχθέντων και εξεταζόμενων υετογραφημάτων που αντιστοιχούν σε διάρκεια βροχόπτωσης d=3h και συνολικού ύψους βροχόπτωσης από 70 έως 175mm.



Εικόνα 8.4 Σύγκριση παραχθέντων και εξεταζόμενων υετογραφημάτων που αντιστοιχούν σε διάρκεια βροχόπτωσης d=6h και συνολικού ύψους βροχόπτωσης από 80 έως 240mm.



Εικόνα 8.5 Σύγκριση παραχθέντων και εξεταζόμενων υετογραφημάτων που αντιστοιχούν σε διάρκεια βροχόπτωσης d=8h και συνολικού ύψους βροχόπτωσης από 90 έως 310mm. Στο άνω διάγραμμα παρουσιάζεται όλο το χρονικό εύρος του υετογραφήματος, ενώ στο κάτω, για λόγους ευκρίνειας, έχει επιλεχθεί το χρονικό διάστημα από 2,5 έως 5,5 ώρες.



Εικόνα 8.6 Σύγκριση παραχθέντων και εξεταζόμενων υετογραφημάτων που αντιστοιχούν σε διάρκεια βροχόπτωσης d=12h και συνολικού ύψους βροχόπτωσης από 120 έως 300mm. Στο άνω διάγραμμα παρουσιάζεται όλο το χρονικό εύρος του υετογραφήματος, ενώ στο κάτω, για λόγους ευκρίνειας, έχει επιλεχθεί το χρονικό διάστημα από 4,5 έως 7,5 ώρες.



Εικόνα 8.7 Σύγκριση παραχθέντων και εξεταζόμενων υετογραφημάτων που αντιστοιχούν σε διάρκεια βροχόπτωσης d=24h και συνολικού ύψους βροχόπτωσης από 150 έως 390mm. Στο άνω διάγραμμα παρουσιάζεται όλο το χρονικό εύρος του υετογραφήματος, ενώ στο κάτω, για λόγους ευκρίνειας, έχει επιλεχθεί το χρονικό διάστημα από 10 έως 14 ώρες.

8.2. Παραγωγή υδρογραφημάτων

Όπως αναπτύχθηκε στις ενότητες 7.3 και 7.6 της μεθοδολογίας, συνολικά εφαρμόστηκαν τα ακόλουθα σενάρια:

- 12 σενάρια για την εφαρμογή της ανάλυσης ευαισθησίας που αφορά τον αριθμό CN (πραγματικό, -5%, +5%, +10%), εξετάζοντας επίσης τις 3 πιθανές καταστάσεις εδαφικής υγρασίας, όπως αναπτύχθηκε στην ενότητα 7.4 και στον πίνακα 7.1.
- 60 εξεταζόμενα σενάρια διάρκειας βροχόπτωσης (d) και συνολικού ύψους βροχόπτωσης (I).
- Η προσομοίωση του επεισοδίου βροχόπτωσης που εξελίχθηκε την 8η Αυγούστου 2020 στην εξεταζόμενη περιοχή μελέτης.

Συνολικά, ο αριθμός σεναρίων που προσομοιώθηκε/μοντελοποιήθηκε μέσω του λογισμικού HEC-HMS για την παραγωγή των αντίστοιχων υδρογραφημάτων ανήλθε σε:

$$(60+1) \cdot 12 = 732$$

Ο πίνακας με τις μέγιστες παροχές Q_{max} (m³/s) όλων των εξεταζόμενων σεναρίων παρουσιάζεται στο παράρτημα της παρούσας εργασίας, στον πίνακα Π-3. Παρακάτω συνοψίζονται ενδιαφέροντα συμπεράσματα που προέκυψαν από την υδρολογική διερεύνηση όλων των παραπάνω εξεταζόμενων σεναρίων.

Στην εικόνα 8.8 παρουσιάζονται σε ένα ενιαίο διάγραμμα, εν είδει ανάλυσης ευαισθησίας, τα υδρογραφήματα του εξεταζόμενου επεισοδίου βροχόπτωσης 8ης Αυγούστου 2020 που προέκυψαν για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και για τις τρεις πιθανές καταστάσεις υγρασίας εδάφους (ξηρή, κανονική, υγρή). Από το διάγραμμα προκύπτει ότι ο χρόνος εμφάνισης του Q_{max} δεν διαφοροποιείται ανά σενάριο, τα υδρογραφήματα επιδεικνύουν παρόμοια κατανομή, ενώ ακόμα οι τιμές των παροχών καθ' όλη την εξεταζόμενη διάρκεια, όσο και τα Q_{max} κάθε σεναρίου, φυσικά προκύπτουν μεταβαλλόμενες με όμοιο όμως τρόπο, εξαρτώμενες από τις υδρολογικές απώλειες και τις καταστάσεις πρότερης υγρασίας του εδάφους. Ακόμα, ένα ενδιαφέρον συμπέρασμα είναι ότι οι διαφοροποιήσεις των τιμών των υδρογραφημάτων ανά σενάριο CN είναι μικρότερες στην υγρή κατάσταση υγρασίας του εδάφους σε σχέση με την αντίστοιχη ξηρή και κανονική, υποδεικνύοντας τον σημαντικό ρόλο της υγρασία του εδάφους στην εμφάνιση και το μέγεθος των μέγιστων παροχών.



Εικόνα 8.8 Υδρογράφημα εξεταζόμενου επεισοδίου βροχόπτωσης 8ης Αυγούστου 2020 για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και για τις τρεις πιθανές καταστάσεις υγρασίας εδάφους (ξηρή, κανονική, υγρή).

Στη συνέχεια, στις εικόνες 8.9, 8.10, 8.11 παρουσιάζονται τα διαγράμματα μεγίστων παροχών Q_{max} για τρία σενάρια διάρκειας βροχόπτωσης 8, 12 και 24 ωρών που αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές συνολικών βροχοπτώσεων (δηλαδή υψηλών περιόδων επαναφοράς, άνω των 300 ετών). Πέρα από την αναμενόμενη συμπεριφορά των τιμών των μεγίστων παροχών ανά σενάριο CN, η οποία είναι εμφανής και σε αυτά τα διαγράμματα όσον αφορά την αντιστοίχιση Q_{max} με την κατάσταση εδαφικής υγρασίας και CN, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι γραμμές τάσεις τύπου y=ax+b στα διαγράμματα 8.12, 8.13 και 8.14, τα οποία αποτελούν έναν διαφορετικό τρόπο απεικόνισης των προαναφερόμενων αντίστοιχων διαγραμμάτων.

Πρέπει να σημειωθεί η συμπεριφορά του συντελεστή κλίσης a των γραμμών τάσεων που προέκυψαν, ο οποίος και στα τρία εξεταζόμενα σενάρια είναι μικρότερος στις υγρές συνθήκες πρότερης υγρασίας, έπεται ο συντελεστής a που αντιστοιχεί στην κανονική κατάσταση και τέλος, μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής που αφορά την ξηρή κατάσταση εδάφους. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας καταδεικνύουν τη σημαντική επιρροή που έχει ο αριθμός CN στην τιμή της μέγιστης παροχής Q_{max} σε ξηρή κατάσταση εδάφους (δηλαδή σε μικρότερες τιμές CN), σε αντίθεση με τις υγρές συνθήκες υγρασίας (μεγαλύτερες τιμές CN), όπου η μέγιστη παροχή δεν παρουσιάζει τόσο μεγάλη διαφοροποίηση.



Εικόνα 8.9 Διάγραμμα-στήλη μεγίστων παροχών Q_{max} για το σενάριο διάρκειας βροχόπτωσης d=8h και συνολικής βροχόπτωσης I=290mm για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και για τις τρεις πιθανές καταστάσεις υγρασίας εδάφους (ξηρή, κανονική, υγρή).



Εικόνα 8.10 Διάγραμμα-στήλη μεγίστων παροχών Q_{max} για το σενάριο διάρκειας βροχόπτωσης d=12h και συνολικής βροχόπτωσης I=280mm για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και για τις τρεις πιθανές καταστάσεις υγρασίας εδάφους (ξηρή, κανονική, υγρή).



Εικόνα 8.11 Διάγραμμα-στήλη μεγίστων παροχών Q_{max} για το σενάριο διάρκειας βροχόπτωσης d=24h και συνολικής βροχόπτωσης I=390mm για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και για τις τρεις πιθανές καταστάσεις υγρασίας εδάφους (ξηρή, κανονική, υγρή).



Εικόνα 8.12 Διάγραμμα μεγίστων παροχών Q_{max} για το σενάριο διάρκειας βροχόπτωσης d=8h και συνολικής βροχόπτωσης I=290mm για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και για τις τρεις πιθανές καταστάσεις υγρασίας εδάφους (ξηρή, κανονική, υγρή), στο οποίο έχουν προσαρμοστεί οι αντίστοιχες γραμμές τάσης τύπου y=ax+b.



Εικόνα 8.13 Διάγραμμα μεγίστων παροχών Q_{max} για το σενάριο διάρκειας βροχόπτωσης d=12h και συνολικής βροχόπτωσης I=280mm για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και για τις τρεις πιθανές καταστάσεις υγρασίας εδάφους (ξηρή, κανονική, υγρή), στο οποίο έχουν προσαρμοστεί οι αντίστοιχες γραμμές τάσης τύπου y=ax+b.



Εικόνα 8.14 Διάγραμμα μεγίστων παροχών Q_{max} για το σενάριο διάρκειας βροχόπτωσης d=24h και συνολικής βροχόπτωσης I=390mm για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και για τις τρεις πιθανές καταστάσεις υγρασίας εδάφους (ξηρή, κανονική, υγρή), στο οποίο έχουν προσαρμοστεί οι αντίστοιχες γραμμές τάσης τύπου y=ax+b. Επίσης, σχετικά με τα παραπάνω διαγράμματα, μπορούμε να σημειώσουμε ότι παρατηρούνται μικρότερες τιμές του συντελεστή κλίσης a όσο μεγαλώνει η χρονική διάρκεια της βροχόπτωσης για τις υγρές και κανονικές συνθήκες πρότερης υγρασίας, σε αντίθεση με τις ξηρές συνθήκες όπου ο δείκτης παρουσιάζει μια διαφορετική και πιο πολύπλοκη συμπεριφορά.

Το διάγραμμα 8.15 παρουσιάζει, για διάρκεια βροχόπτωσης d=24h, τις τιμές μέγιστων παροχών Qmax για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια μεταβολής του CN (στην περίπτωση κανονικής πρότερης υγρασίας εδάφους) και συνολικού ύψους βροχόπτωσης, στο οποίο έχουν επίσης προσαρμοστεί οι αντίστοιχες γραμμές τάσης τύπου y=ax+b. Από το εν λόγω διάγραμμα προκύπτει ότι ο συντελεστής κλίσης a των προσαρμοζόμενων γραμμών τάσης μειώνεται με τη μείωση του CN, ενώ επίσης, όσο μεγαλώνει το ύψος βροχόπτωσης (για σταθερό d), παρατηρείται ότι οι μέγιστες τιμές Qmax αποκλίνουν με μεγαλύτερο ρυθμό μεταξύ τους για τα διάφορα σενάρια μεταβολής του CN.



Εικόνα 8.15 Διάγραμμα μεγίστων παροχών Q_{max} για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια μεταβολής του CN, συνθηκών πρότερης υγρασίας εδάφους και συνολικού ύψους βροχόπτωσης για διάρκεια βροχόπτωσης d=24h, στο οποίο έχουν προσαρμοστεί οι αντίστοιχες γραμμές τάσης τύπου y=ax+b.

Στη συνέχεια, σχετικά με το επεισόδιο βροχόπτωσης της 8^{ης} Αυγούστου 2020 (διάρκειας 8 ωρών), εξετάζουμε τη διαφοροποίηση που παρατηρείται στα παραχθέντα υδρογραφήματα, συγκρίνοντας εκείνο που προέκυψε από εν λόγω επεισόδιο σε σχέση με το αντίστοιχο που θα προέκυπτε αν το ίδιο ύψος βροχόπτωσης είχε επιμεριστεί χρονικά με διαφορετικό τρόπο, πάλι σε διάστημα 8 ωρών, αλλά αυτή τη φορά με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ (εικόνα 8.16).



Εικόνα 8.16 Υετογράφημα επεισοδίου 8^{ης} Αυγούστου 2020 και του αντίστοιχου που θα προέκυπτε με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ, για ίση διάρκεια βροχόπτωσης (8 ωρών) και συνολικού ύψους βροχόπτωσης (294mm).

Τα υδρογραφήματα του ιστορικού επεισοδίου βροχόπτωσης μαζί με εκείνο που προέκυψε από τη μέθοδο εναλλασσόμενων μπλοκ, για τις τρεις πιθανές καταστάσεις πρότερης υγρασίας του εδάφους, παρουσιάζονται στην εικόνα 8.17. Μπορούμε να παρατηρήσουμε τα ακόλουθα:

- Σε όλα τα σενάρια υγρασίας εδάφους, οι μέγιστες παροχές Q_{max} δεν διαφέρουν σημαντικά. Με μια πιο λεπτομερή ανάλυση, προκύπτει ότι σε περίπτωση υγρής κατάστασης εδάφους η μέθοδος εναλλασσόμενων μπλοκ παράγει λίγο μεγαλύτερη Q_{max}, σε κανονική κατάσταση υγρασίας οι παροχές είναι ίσες, ενώ στην ξηρή κατάσταση η εκτιμώμενη Q_{max} του ιστορικού επεισοδίου είναι λίγο μεγαλύτερη.
- Σε όλα τα σενάρια εδαφικής υγρασίας, η Q_{max} παρατηρείται 1,5 ώρα νωρίτερα με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ (περίπου στις 15,5 ώρες από την έναρξη της βροχόπτωσης), σε σχέση με την ιστορική βροχόπτωση (περίπου στις 17 ώρες από την έναρξη της βροχόπτωσης).
- Σε κάθε ένα από τα δύο σενάρια βροχόπτωσης, παρατηρείται ότι το Q_{max} των τριών καταστάσεων εδαφικής υγρασίας συμβαίνει περίπου στον ίδιο χρόνο. Ακόμα, και στις δύο περιπτώσεις, η απόκλιση των Q_{max} ανάμεσα στις καταστάσεις εδαφικής υγρασίας σε κάθε σενάριο βροχόπτωσης φαίνεται να είναι περίπου σταθερή, με την απόσταση της ξηρής από την κανονική κατάσταση να είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την απόσταση της υγρής από την κανονική κατάσταση υγρασίας.



Εικόνα 8.17 Υδρογραφήματα που προκλήθηκαν από το επεισόδιο βροχόπτωσης της 8ης Αυγούστου 2020 (διάρκειας 8 ωρών) και ενός ακόμα αντίστοιχου που θα προέκυπτε αν το ίδιο ύψος βροχόπτωσης είχε επιμεριστεί χρονικά με διαφορετικό τρόπο, πάλι σε διάστημα 8 ωρών, αλλά αυτή τη φορά με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ (για όλες τις καταστάσεις πρότερη υγρασίας του εδάφους).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται εν είδει ανάλυσης ευαισθησίας για το σύνολο των εξεταζόμενων σεναρίων συνολικού ύψους βροχόπτωσης (ανάλογα με τη διάρκεια βροχόπτωσης):

- Τα υδρογραφήματα που παράγονται από διάρκεια βροχόπτωσης d=12h για το πραγματικό CN και κανονική κατάσταση πρότερης εδαφικής υγρασίας (εικόνα 8.18).
- Τα υδρογραφήματα που παράγονται από διάρκεια βροχόπτωσης d=24h για το πραγματικό CN και κανονική (εικόνα 8.19), ξηρή (εικόνα 8.20) και υγρή (εικόνα 8.21) κατάσταση πρότερης εδαφικής υγρασίας (εικόνα 8.19).

Στα παρακάτω διαγράμματα, είναι εμφανής η διαφοροποίηση των υδρογραφημάτων που προκαλούνται από μία συγκεκριμένη διάρκεια βροχόπτωσης, ανάλογα με το συνολικό ύψος της βροχόπτωσης (και φυσικά της περιόδου επαναφοράς). Ακόμα, μπορούμε να αντλήσουμε χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις προκύπτουσες μεταβολές όσον αφορά την παροχή αιχμής, τον πλημμυρικό όγκο και τον χρόνο εμφάνισης της μέγιστης παροχής, ο οποίος όμως δεν φαίνεται να διαφοροποιείται σημαντικά σε σχέση με το συνολικό ύψος βροχόπτωσης. Επίσης, είναι εμφανής η επιρροή της κατάστασης της πρότερης υγρασίας του εδάφους στα παραπάνω μεγέθη που χαρακτηρίζουν κάθε υδρογράφημα. Ειδικότερα, στην εικόνα 8.22, εξετάζοντας συγκεκριμένο ύψος βροχόπτωσης ανά κατάσταση εδαφικής υγρασίας, είναι φανερή η επιρροή της τελευταίας στην μέγιστη παροχή του υδρογραφήματος και στην οξύτητα της γεωμετρίας της αιχμής που το χαρακτηρίζει. Αντιθέτως, ξανά, η κατάσταση εδαφικής υγρασίας δεν φαίνεται να έχει σημαντικό αντίκτυπο στον χρόνο εμφάνισης της παροχής αιχμής.



Εικόνα 8.18 Υδρογραφήματα που παράγονται από διάρκεια βροχόπτωσης d=12h για το πραγματικό CN, κανονική κατάσταση πρότερης εδαφικής υγρασίας και για όλα τα εξεταζόμενα ύψη βροχόπτωσης.



Εικόνα 8.19 Υδρογραφήματα που παράγονται από διάρκεια βροχόπτωσης d=24h για το πραγματικό CN, κανονική κατάσταση πρότερης εδαφικής υγρασίας και για όλα τα εξεταζόμενα ύψη βροχόπτωσης.



Εικόνα 8.20 Υδρογραφήματα που παράγονται από διάρκεια βροχόπτωσης d=24h για το πραγματικό CN, ξηρή κατάσταση πρότερης εδαφικής υγρασίας και για όλα τα εξεταζόμενα ύψη βροχόπτωσης.



Εικόνα 8.21 Υδρογραφήματα που παράγονται από διάρκεια βροχόπτωσης d=24h για το πραγματικό CN, υγρή κατάσταση πρότερης εδαφικής υγρασίας και για όλα τα εξεταζόμενα ύψη βροχόπτωσης.



Εικόνα 8.22 Υδρογραφήματα που παράγονται από διάρκεια βροχόπτωσης d=24h για το πραγματικό CN, για τις τρεις καταστάσεις πρότερης εδαφικής υγρασίας και για συνολικό ύψος βροχόπτωσης I=390mm.

Στην εικόνα 8.23 παρουσιάζονται όλα τα εξεταζόμενα σενάρια συνολικού ύψους βροχόπτωσης για μία συγκεκριμένη χρονική διάρκεια βροχόπτωσης (d=24h). Με δεδομένο ότι κάθε σενάριο συνολικού ύψους βροχόπτωσης διαφοροποιείται από τα άλλα με τιμές πολλαπλάσιες των 20mm, το αποτέλεσμα της ανάλυσης, με όρους αθροιστικής παροχής, φαίνεται να υποκρύπτει μία όμοια συμπεριφορά που υπεισέρχεται σε όλα τα σενάρια, μιας και κάθε καμπύλη του διαγράμματος στην εικόνα 8.23 φαίνεται σχεδόν να ισαπέχει (στον κατακόρυφο άξονα) από την προηγούμενη.

Στην εικόνα 8.24 παρουσιάζονται οι αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής του πλημμυρικού όγκου συναρτήσει του χρόνου και στην εικόνα 8.25 η πιθανότητα μη υπέρβασης των αθροιστικών παροχών του συνόλου των παραπάνω εξεταζόμενων σεναρίων συνολικού ύψους βροχόπτωσης για τη συγκεκριμένη χρονική διάρκεια βροχόπτωσης (d=24h). Οι αθροιστικές συναρτήσεις εμφανίζουν κοινή μορφή, καθώς η κάθε μία από την άλλη διαφοροποιείται ελάχιστα, χωρίς αυτή η διαφοροποίηση να είναι ουσιαστικά εμφανής. Ακόμα, τα διαγράμματα πιθανότητας μη υπέρβασης των εξεταζόμενων σεναρίων συνολική και μορφή, τα οποία διαφοροποιούνται σε τάξεις μεγέθους λόγω των διαφορετικών υψών συνολικής βροχόπτωσης.



Εικόνα 8.23 Διάγραμμα αθροιστικής παροχής – χρόνου για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια συνολικού ύψους βροχόπτωσης για χρονική διάρκεια d=24h.



Εικόνα 8.24 Αθροιστικές συναρτήσεις κατανομής πλημμυρικού όγκου για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια συνολικού ύψους βροχόπτωσης για χρονική διάρκεια d=24h.



Εικόνα 8.25 Πιθανότητα μη υπέρβασης αθροιστικών παροχών για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια συνολικού ύψους βροχόπτωσης για χρονική διάρκεια d=24h.

Στην εικόνα 8.26 παρουσιάζεται το διάγραμμα αθροιστικής παροχής (m³/s) – χρόνου για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και πρότερης υγρασίας εδάφους που αφορά την περίπτωση διάρκειας βροχόπτωσης d=24h και συνολικού ύψους βροχόπτωσης I=390mm. Ακόμα, στην εικόνα 8.27 παρουσιάζονται τα διαγράμματα πιθανότητας μη υπέρβασης των αθροιστικών παροχών του συνόλου των παραπάνω εξεταζόμενων σεναρίων. Αυτή η ανάλυση ευαισθησίας καταδεικνύει τη διαφοροποίηση των διαγραμμάτων με βάση τα σενάρια CN και πρότερης υγρασίας εδάφους, καθώς και τις διαφορετικές κλίσεις των καμπυλών στις διάφορες περιπτώσεις. Η παρατηρούμενη έντονη διαφοροποίηση σε αυτά τα διαγράμματα των αθροιστικών παροχών δείχνει τη διακύμανση των παροχών σε καταστάσεις αλλαγής του συντελεστή απωλειών CN (ο οποίος εξαρτάται και μεταβάλλεται από αλλαγές στις χρήσεις γης, πιθανές πυρκαγιές, κατασκευαστικά ή μη μέτρα ανάσχεσης) και της πρότερης υγρασίας του εδάφους, επηρεάζοντας σημαντικά τις προκαλούμενες επιπτώσεις ενός πλημμυρικού γεγονότος (με όρους παροχών).

Στην εικόνα 8.28 παρουσιάζεται διαγραμματικά μία σύγκριση υδρογραφημάτων που αντιστοιχούν σε τρία ζεύγη διαφορετικών σεναρίων με ίσο συνολικό ύψος βροχόπτωσης αλλά διαφορετικής διάρκειας βροχόπτωσης, με δεδομένα (ίδια) CN και κατάσταση πρότερης υγρασίας εδάφους. Τα σενάρια αυτά είναι:

- Συνολικό ύψος βροχόπτωσης 100mm και διάρκειες βροχόπτωσης d=1h και d=3h
- Συνολικό ύψος βροχόπτωσης 240mm και διάρκειες βροχόπτωσης d=6h και d=12h
- Συνολικό ύψος βροχόπτωσης 270mm και διάρκειες βροχόπτωσης d=8h και d=24h

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

- Τα μεγέθη συνολικού όγκου απορροής και η μέγιστη παροχή Q_{max} είναι μεγαλύτερα όταν η ίδια ποσότητα βροχής κατακρημνίζεται σε λιγότερο χρονικό διάστημα. Ακόμα, στην περίπτωση αυτή, η παροχή αιχμής εμφανίζεται ταχύτερα (σε συντομότερο χρονικό διάστημα).
- Εν αντιθέσει, όταν ίδια ποσότητα βροχής κατακρημνίζεται σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, το υδρογράφημα «απλώνεται» χρονικά, με αποτέλεσμα ευμενέστερα αποτελέσματα παροχής αιχμής, με συνέπεια τη δυνατότητα ευκολότερης (συγκριτικά) αντιμετώπισης τέτοιου είδους επεισοδίων βροχής – απορροής. Αυτό είναι περισσότερο εμφανές όταν αναφερόμαστε σε επεισόδια βροχής με μεγαλύτερη διάρκεια.
- Από τα ζεύγη διαγραμμάτων της εικόνας 8.28 παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια δύο επεισοδίων που παράγουν την ίδια συνολική βροχόπτωση, η αιχμή του ενός τείνει να απομακρύνεται από την αιχμή του άλλου, τόσο χρονικά (οριζόντιος άξονας) όσο και σε όρους μέγιστης παροχής αιχμής Q_{max} (κατακόρυφος άξονας).



Εικόνα 8.26 Διάγραμμα αθροιστικής παροχής – χρόνου για d=24h, I=390mm και για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και πρότερης υγρασίας εδάφους.



Εικόνα 8.27 Πιθανότητα μη υπέρβασης αθροιστικών παροχών για d=24h, I=390mm και για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και πρότερης υγρασίας εδάφους.



Εικόνα 8.28 Σύγκριση υδρογραφημάτων με ίσο συνολικό ύψος βροχόπτωσης αλλά διαφορετικής διάρκειας βροχόπτωσης, για ίδιο CN και κατάσταση πρότερης υγρασίας εδάφους.

Στις εικόνες 8.29 και 8.30 έχουν αναπτυχθεί θερμικοί χάρτες (heatmaps) παροχών για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια βροχόπτωσης (για το πραγματικό CN σε κανονική κατάσταση υγρασίας). Μέσω αυτών, μπορούμε να διακρίνουμε τη διακύμανση των μεγίστων παροχών, τη χρονική στιγμή που αυτές συμβαίνουν, καθώς και τη διαφοροποίηση αυτών των μεγεθών στα διάφορα σενάρια διάρκειας βροχόπτωσης. Συγκρίνοντας τους χάρτες συμπεραίνουμε ότι όσο μεγαλώνει η διάρκεια του επεισοδίου βροχόπτωσης, η χρονική στιγμή της εμφάνισης της παροχής αιχμής τείνει να καθυστερεί, καθώς και ότι οι παροχές αιχμής τείνουν να ομαδοποιούνται σε (κοντινότερες) υψηλότερες τιμές.

	Heatmap: Διάρκεια βροχόπτωσης d=1h																																						
Ê	40	0 6 11	15	20	24	27	30	38	45	53	61	64	59	53	48	44	41	37	33	31	27	24	22	20	18	17	16	15	14	12	9	Δ	1	0	0	0	0		
Ē	50	0 9 15	21	20	35	39	43	54	64	76	88	92	85	76	69	63	59	53	47	45	38	34	32	20	26	25	22	21	19	18	13	6	2	1	0		0		
) E	60	0 12 20	29	38	46	52	58	72	85	102	117	123	113	101	92	84	79	70	63	59	51	45	42	39	35	33	30	28	26	24	18	8	3	1	0	1 0	ů		
3 -	70	0 15 26	36	48	59	66	73	91	108	129	148	155	143	128	116	106	100	89	79	75	65	58	53	49	44	42	38	36	33	30	22	10	3	1	0		0		
ų tė	80	0 18 31	44	59	72	81	89	111	132	158	180	189	174	156	141	130	122	108	97	92	79	70	65	60	54	51	46	44	40	36	27	10	4	1	0		0		
<u>ê</u>	90	0 22 37	53	70	85	96	106	132	157	197	214	225	207	195	168	154	145	120	115	100	0/	83	77	71	64	60	55	52	40	43	32	15	5	2	0		- ů		
ц.	100	0 25 43	61	82	99	111	123	154	183	218	249	261	241	215	195	179	168	150	133	126	109	97	89	83	75	70	63	61	55	50	37	17	5	2	0		0		
	110	0 29 50	70	94	114	127	141	176	209	249	285	299	275	246	223	205	192	171	153	145	125	111	102	95	85	80	73	69	63	57	42	19	6	2	0	1 0	ů		
l a	120	0 2 37	68	99	132	161	183	205	249	299	355	407	428	406	365	330	303	282	254	228	211	186	165	151	139	127	118	108	102	93	84	64	33	13	4		0		
LI	120	0 1 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		
		-1-1-													1				Χρόνο	ις (ώρες)																			
																																				-			
																		Heatma	ιρ: Διάρκει	α βροχόπτυ	υσης d=3h																		
_	70	0 1 12	24	34	46	57	65	72	88	105	125	144	152	145	130	118	108	101	91	81	75	67	59	54	50	45	42	38	36	33	30	23	12	5	1	0	0		
10 20	85	0 1 17	32	46	62	76	86	97	117	141	167	192	203	193	174	157	144	134	121	108	100	89	79	72	66	60	56	51	48	44	40	31	16	6	2	0	0		
E E	100	0 1 21	40	59	79	96	109	123	149	178	212	243	257	244	219	199	182	170	153	137	127	112	99	91	84	76	71	65	61	56	50	39	21	8	2	0	0		
X E	115	0 2 26	49	71	96	117	133	149	181	217	258	297	312	297	267	241	221	206	185	166	154	136	120	110	102	93	86	79	74	68	61	47	25	9	3	1	0		
d d m	130	0 2 31	59	85	114	139	158	177	215	258	306	351	369	351	315	285	262	244	219	197	182	161	142	130	120	110	102	93	88	80	72	55	29	11	3	1	0		
NK	145	0 2 15	51	83	115	148	173	193	226	273	327	382	427	418	386	348	315	293	269	238	220	199	175	157	145	132	122	112	104	98	89	75	49	21	8	2	0		
N N	160	0 3 42	78	112	151	183	208	234	284	341	405	464	487	462	415	376	345	321	289	259	240	212	188	172	158	144	134	123	116	106	95	73	38	14	4	1	0		
	175	0 3 47	88	127	169	206	234	263	320	384	455	522	547	519	466	422	387	361	324	291	270	238	211	193	178	162	150	138	130	119	107	81	42	16	5	1	0		
		0 1 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		
	Χρίνος (ώρες)																																						
	Heatmap: Ladgered Bpogitarius(rg, d=8h																																						
	9 0 0 1 2 9 9 23 37 52 69 83 96 113 125 159 183 204 205 198 185 171 157 144 129 119 107 95 86 79 71 66 60 56 52 47 40 28 17 10 5 2 1 0 0 110 0 1 3 12 9 50 70 93 111 128 152 181 213 255 772 73 283 246 272 290 199 171 157 144 129 116 95 87 80 74 69 62 67 47 40 28 17 10 5 2 1 0 0																																						
-	110 0 0 1 3 12 32 50 70 93 111 128 152 181 213 245 272 273 263 246 227 209 190 171 157 142 126 114 105 95 87 80 74 89 82 52 53 72 22 13 6 2 1 0 0 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10																																						
l line l	130	0 0 1	4	16	40	63	89	117	140	162	192	228	269	310	343	343	330	308	284	262	239	214	197	178	158	143	131	119	109	101	93	86	77	65	46	28	16	7 3	1 0
) E	150	0 0 2	5	20	50	77	109	143	171	197	233	278	327	376	416	415	399	373	344	317	289	259	238	215	191	173	159	144	132	122	113	104	94	78	56	33	19	9 3	1 0
3	170	0 0 2	7	25	59	92	129	169	202	233	276	329	387	444	490	489	470	439	404	372	340	304	280	253	225	203	186	169	156	143	132	122	110	92	65	38	22	10 4	1 0
Ļ,	190	0 0 2	8	29	69	107	150	196	234	270	320	381	448	514	566	565	541	505	466	429	391	350	323	291	259	234	215	194	179	165	152	141	126	106	74	44	25	12 4	1 0
â	210	0 0 3	9	34	80	123	171	224	266	307	365	434	510	584	643	640	614	573	528	486	443	397	366	330	293	265	243	220	203	187	173	160	143	119	84	49	28	13 5	1 0
μġ.	230	0 1 3	11	38	90	138	193	251	299	345	409	487	573	656	721	717	687	640	590	544	496	444	409	368	328	297	272	246	227	209	193	178	160	133	93	54	31	14 5	2 0
0	250	0 1 4	12	43	101	154	215	279	332	383	455	542	636	728	799	794	760	709	653	602	549	491	453	408	363	328	301	273	252	231	214	197	177	147	103	60	35	16 6	2 0
ΣUΛ	270	0 1 5	14	48	111	170	237	308	366	422	501	596	700	800	878	872	834	778	717	660	602	539	497	447	398	360	331	299	276	254	235	217	193	161	112	65	38	17 6	2 0
	290	0 1 5	16	53	122	187	259	336	400	461	548	651	764	873	957	950	909	847	780	719	655	587	541	487	433	392	360	326	301	276	256	236	210	174	122	70	41	19 7 1	2 1
	310	0 1 6	18	59	133	203	281	365	434	501	594	707	829	947	1037	1028	983	916	844	777	709	635	585	526	469	424	389	353	325	299	277	255	227	188	131	76	44	20 7	2 1
		0 1 2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38 39 4	40 41
																				Χρόνοι	ς (ώρες)																		

Εικόνα 8.29 Θερμικοί χάρτες (heatmaps) παροχών (m³/s) για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια βροχόπτωσης, διάρκειας βροχόπτωσης d=1h, d=3h, και d=8h (CN πραγματικό, κανονική κατάσταση υγρασίας). Σημειώνεται ότι στον οριζόντιο άξονα, στους τρεις χάρτες, το χρονικό βήμα είναι κοινό.

														Heat	map: Διάρ	κεια βροχό	πτωσης d=	24h											
	150	0 0	1	3	7	15	36	82	133	179	242	313	344	326	303	270	240	204	170	141	116	89	52	31	20	13	7	2	0
[170	0 0	1	4	9	18	43	98	159	213	288	370	406	384	355	317	281	239	199	165	136	103	60	36	23	15	8	3	0
Ê	190	0 0	1	4	10	22	52	115	185	248	334	429	468	442	409	365	323	275	229	189	156	118	68	41	27	17	9	3	0
Ē	210	0 0	2	5	12	26	60	133	213	284	381	488	532	501	463	412	365	310	258	213	175	133	76	46	30	18	10	4	0
a	230	0 0	0 2 6 15 30 69 151 240 321 429 548 595 560 517 460 407 346 288 237 195 148 85 51 33 20 11 4 0																										
71	250	0 0	2	7	17	34	78	169	269	358	478	608	660	620	572	509	450	382	318	262	215	163	93	56	36	22	12	4	1
ιόχο	270	0 0	3	8	19	39	88	188	298	395	527	669	725	680	627	557	492	418	347	286	235	178	101	61	39	24	13	5	1
Вро	290	0 1	3	10	22	43	98	208	327	433	576	731	790	741	682	606	535	454	377	311	255	192	110	66	42	26	14	5	1
ukų.	310	0 1	4	11	24	48	108	227	357	472	626	792	855	801	737	654	578	490	407	336	275	207	118	71	46	28	15	6	1
(ov	330	0 1	4	12	27	53	118	247	386	510	676	854	920	862	793	703	621	526	437	360	295	222	126	76	49	30	16	6	1
Σ	350	0 1	4	13	29	58	128	267	416	549	726	916	986	922	848	752	664	563	467	385	315	237	134	80	52	32	17	6	1
	370	0 1	5	14	32	63	139	287	447	588	776	978	1051	983	903	801	707	599	497	409	335	252	142	85	55	34	18	7	1
	390	0 1	5	16	35	69	149	307	477	627	827	1040	1117	1044	959	850	750	635	527	434	355	267	151	90	58	36	19	7	1
		0 2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56
															X	ດດ່າງດູດ (ເບິ່ງດູຣູເ	1												

Εικόνα 8.30 Θερμικός χάρτης (heatmap) παροχών (m³/s) για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια βροχόπτωσης, διάρκειας βροχόπτωσης d=24h (CN πραγματικό, κανονική κατάσταση υγρασίας).

9. Υδροδυναμική ανάλυση

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα και θα γίνει ο σχετικός σχολιασμός της υδραυλικής ανάλυσης. Λόγω του μεγάλου πλήθους των εξεταζόμενων σεναρίων, ακολουθήθηκε η μέθοδος της παράθεσης συγκεκριμένων σεναρίων με κοινά χαρακτηριστικά, ώστε να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων με πιο δόκιμο τρόπο. Σημειώνεται, ότι τα κύρια χαρακτηριστικά των αποτελεσμάτων της υδραυλικής προσομοίωσης είναι η καταγραφή του μέγιστου βάθους ροής και των μέγιστων ταχυτήτων κατά μήκος του υδατορέματος αλλά και σε όλη την εξεταζόμενη περιοχή μελέτης, όπως φαίνονται στις παρακάτω ενότητες.

9.1. Ανάλυση ευαισθησίας βάσει αριθμού CN για d=24h και I=370mm

Στην παρούσα ενότητα εξετάζεται η περίπτωση διάρκειας βροχόπτωσης d=24h και συνολικής βροχόπτωσης 370mm για τα διάφορα σενάρια μεταβολής του αριθμού CN (πραγματικό, -5%, +5%, +10%), εν είδει ανάλυσης ευαισθησίας.

Στη εικόνα 9.1 παρουσιάζονται τα βάθη ροής και η έκταση της πλημμύρας, μεγέθη που επιδεικνύουν την αναμενόμενη συμπεριφορά, καθώς για αυξανόμενο αριθμό CN, τα βάθη ροής και η έκταση πλημμύρας αυξάνονται, έστω και λίγο. Ακόμα, όπως σημειώνεται στον πίνακα 9.1, οι τιμές μέγιστου και μέσου βάθους αυξάνονται ανάλογα με το σενάριο με σχετικά μικρό ρυθμό, υποδεικνύοντας την μικρή επίδραση που έχει η μεταβολή του CN, το οποίο υπεισέρχεται μέσω των αντίστοιχων υδρογραφημάτων που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισαγωγής στο υδραυλικό μοντέλο, στα προαναφερόμενα μεγέθη βάθους ροής.

Πίνακας 9.1 Πίνακας μέγιστου και μέσου βάθους για d=24h, I=370mm και όλα τα σενάρια CN (κανονικές συνθήκες πρότερης υγρασίας).

	CN (-5%)	CN πραγματικό	CN (+5%)	CN (+10%)
Μέγιστο βάθος (m)	6.74	6.80	6.85	6.90
Μέσο βάθος(m)	1.01	1.02	1.03	1.03

Τέλος, στην εικόνα 9.2 παρουσιάζονται οι ταχύτητες ροής για τα εξεταζόμενα σενάρια, οι οποίες αυξάνονται με αναμενόμενο τρόπο με την αύξηση του CN.



Εικόνα 9.1 Μέγιστα βάθη ροής για d=24h, I=370mm και όλα τα σενάρια CN (κανονικές συνθήκες πρότερης υγρασίας).



Εικόνα 9.2 Μέγιστες ταχύτητες ροής για d=24h, I=370mm και όλα τα σενάρια CN (κανονικές συνθήκες πρότερης υγρασίας).

9.2. Ανάλυση ευαισθησίας βάσει κατάστασης εδαφικής υγρασίας για d=12h και I=300mm Στην παρούσα ενότητα εξετάζεται το σενάριο διάρκειας βροχόπτωσης d=12h και συνολικής βροχόπτωσης 300mm για τα διάφορα σενάρια μεταβολής της κατάστασης εδαφικής υγρασίας (ξηρή, κανονική, υγρή), εν είδει ανάλυσης ευαισθησίας.

Στην εικόνα 9.3 παρουσιάζονται τα βάθη ροής και η έκταση της πλημμύρας, μεγέθη που επιδεικνύουν την αναμενόμενη συμπεριφορά, καθώς για αυξανόμενο αριθμό CN (υπό την έννοια της εδαφικής υγρασίας), τα βάθη ροής και η έκταση πλημμύρας αυξάνονται αντίστοιχα, με μεγαλύτερο όμως ρυθμό σε σχέση με το σενάριο που αναπτύχθηκε στην ενότητα 9.1. Ακόμα, όπως σημειώνεται στον πίνακα 9.2, οι τιμές μέγιστου και μέσου βάθους αυξάνονται ανάλογα με το σενάριο, υποδεικνύοντας την επίδραση που έχει η μεταβολή των συνθηκών εδαφικής υγρασίας στα εξεταζόμενα μεγέθη βάθους ροής.

Πίνακας 9.2 Πίνακας μέγιστου και μέσου βάθους για d=12h, I=300mm και όλα τα σενάρια συνθηκών πρότερης εδαφικής υγρασίας (Ι, ΙΙ, ΙΙΙ).

	CN (I)	CN (II)	CN (III)
Μέγιστο βάθος (m)	6.21	6.62	6.80
Μέσο βάθος(m)	0.97	1.00	1.02



Εικόνα 9.3 Μέγιστα βάθη ροής για d=12h, I=300mm και όλα τα σενάρια πρότερης εδαφικής υγρασίας.

Με βάση τον πίνακα 9.2, αυτό που παρατηρούμε είναι ότι τα βάθη αυξάνονται με εντονότερο ρυθμό όταν εξετάζουμε την μεταβολή από ξηρή σε κανονική κατάσταση σε σχέση με τη μεταβολή από κανονική σε υγρή, κατά την οποία τα βάθη αυξάνονται με μικρότερο ρυθμό. Ακόμα, εξετάζονται συνδυαστικά τους πίνακες 9.1 και 9.2, βάσει της ανάλυσης που αναπτύχθηκε στην ενότητα 9.1 και στην παρούσα, παρατηρούμε ότι σημαντικότερη επίδραση στα βάθη ροής και στην έκταση πλημμύρας διαδραματίζει η κατάσταση της εδαφικής υγρασίας σε σχέση με την ποσοστιαία μεταβολή του CN (της τάξης του 5%).

Τέλος, στην εικόνα 9.4 παρουσιάζονται οι ταχύτητες ροής για τα εξεταζόμενα σενάρια, οι οποίες αυξάνονται σχεδόν αναλογικά με την αύξηση του CN.



Εικόνα 9.4 Μέγιστες ταχύτητες ροής για d=12h, I=300mm και όλα τα σενάρια πρότερης εδαφικής υγρασίας.

9.3. Σύγκριση ιστορικού επεισοδίου βροχόπτωσης 8^{ης} Αυγούστου 2020 με το αντίστοιχο που θα προέκυπτε με τη μέθοδο εναλλασσόμενων μπλοκ

Στην παρούσα ενότητα συγκρίνονται τα αποτελέσματα της υδραυλικής ανάλυσης που ενέκυψαν από τα υδρογραφήματα του ιστορικού επεισοδίου βροχόπτωσης της 8^{ης} Αυγούστου 2020 με το αντίστοιχο που θα προέκυπτε από ίδιας διάρκειας και συνολικής ποσότητας βροχόπτωσης με τη μέθοδο εναλλασσόμενων μπλοκ, για όλες τις πιθανές καταστάσεις εδαφικής υγρασίας. Στη εικόνα 9.5 παρουσιάζονται τα βάθη ροής και η έκταση της πλημμύρας, μεγέθη που επιδεικνύουν την αναμενόμενη συμπεριφορά σε σχέση με τη μεταβολή εδαφικής υγρασίας, καθώς για αυξανόμενη εδαφική υγρασία, τα βάθη ροής και η έκταση πλημμύρας αυξάνονται και στα δύο σενάρια.

Ακόμα, όπως σημειώνεται στον πίνακα 9.3, οι τιμές μέγιστου και μέσου βάθους επιδεικνύουν μια διαφορετική συμπεριφορά. Ειδικότερα, αν και τα μέσα βάθη ροής προκύπτουν σταθερά, παρατηρούμε (σε συνδυασμό με την εικόνα 9.5) ότι:

- Στην κατάσταση ξηρής πρότερης εδαφικής υγρασίας, το μέγιστο βάθος είναι μεγαλύτερο στα αποτελέσματα της ιστορικής βροχόπτωσης σε σχέση με αυτά της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ. Ακόμα, ίδια συμπεριφορά φαίνεται να έχει και η έκταση πλημμύρας.
- Στην κατάσταση κανονικής πρότερης εδαφικής υγρασίας, τα βάθη ροής καθώς και η έκταση πλημμύρας για τα δύο σενάρια φαίνεται να μην διαφοροποιούνται.
- Στην κατάσταση υγρής πρότερης εδαφικής υγρασίας, φαίνεται ότι το μέγιστο βάθος είναι σχεδόν ίδιο αλλά βάσει των χαρτών, η έκταση πλημμύρας είναι λίγο μεγαλύτερη κατά το σενάριο των εναλλασσόμενων μπλοκ.

Πίνακας 9.3 Πίνακας μέγιστου και μέσου βάθους για τα εξεταζόμενα σενάρια της ιστορικής βροχόπτωσης και της αντίστοιχης που θα προέκυπτε με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ για όλες τις καταστάσεις πρότερης εδαφικής υγρασίας.

	8/8/20 πραγμ.	8/8/20 alt.	8/8/20 πραγμ.	8/8/20 alt.	8/8/20 πραγμ.	8/8/20 alt.
	(CN-I)	block (CN-I)	(CN-II)	block (CN-II)	(CN-III)	block (CN-III)
Μέγιστο βάθος (m)	6.29	6.26	6.67	6.67	6.84	6.85
Μέσο βάθος(m)	0.97	0.97	1.01	1.01	1.03	1.03

Τέλος, στην εικόνα 9.6 παρουσιάζονται οι ταχύτητες ροής για τα εξεταζόμενα σενάρια.



Εικόνα 9.5 Μέγιστα βάθη ροής για το ιστορικό επεισόδιο της 8/8/2020 και αντίστοιχο που θα προέκυπτε με μέθοδο εναλλασσόμενων μπλοκ.



Εικόνα 9.6 Μέγιστες ταχύτητες ροής για το ιστορικό επεισόδιο της 8/8/2020 και αντίστοιχο που θα προέκυπτε με μέθοδο εναλλασσόμενων μπλοκ.

9.4. Σύγκριση σεναρίων με διαφορετικές διάρκειες βροχόπτωσης αλλά ίση συνολική βροχόπτωση

Στην παρούσα ενότητα εξετάζονται τρία ζεύγη σεναρίων, κάθε ένα εκ των οποίων αντιπροσωπεύει βροχοπτώσεις διαφορετικής διάρκειας αλλά ίδιας συνολικής ποσότητας βροχόπτωσης (mm). Πιο συγκεκριμένα, τα σενάρια που εξετάζονται είναι:

- I=100mm για d=1h και d=3h
- I=240mm yia d=6h kai d=12h
- I=270mm για d=8h και d=24h

Όλα τα σενάρια αφορούν κανονική κατάσταση πρότερης εδαφικής υγρασίας. Με βάση τις εικόνες 9.7 και 9.8 παρατηρούμε ότι σε όλα τα ζεύγη, η έκταση, τα βάθη πλημμύρας καθώς και οι ταχύτητες ροής είναι μεγαλύτερες για τα σενάρια που αφορούν μικρότερης διάρκειας βροχόπτωση. Συμπερασματικά λοιπόν προκύπτει ότι αν ίδια ποσότητα βροχόπτωσης κατακρημνιστεί σε λιγότερο χρόνο, οι υδραυλικές επιπτώσεις που θα προκληθούν από ένα τέτοιο επεισόδιο θα είναι σφοδρότερες σε σχέση με την περίπτωση που η ίδια συνολική βροχόπτωση είχε επεκταθεί χρονικά.

Πίνακας 9.4 Πίνακας μέγιστου και μέσου βάθους για τα εξεταζόμενα σενάρια ίδιας συνολικής βροχόπτωσης αλλά διαφορετικής διάρκειας βροχόπτωσης.

	d=1h,	d=3h,	d=6h,	d=12h,	d=8h,	d=24h,
	l=100mm	l=100mm	I=240mm	I=240mm	I=270mm	I=270mm
Μέγιστο βάθος (m)	4.45	4.43	6.30	6.15	6.49	6.16
Μέσο βάθος(m)	0.64	0.64	0.97	0.96	0.99	0.96

Επιπλέον, από τον Πίνακα 9.4 και σε συνδυασμό με τις εικόνες 9.7 και 9.8 προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση των διαρκειών βροχόπτωσης των εξεταζόμενων σεναρίων (με δεδομένη ίση συνολική βροχόπτωση), τόσο πιο μεγάλη είναι η διαφοροποίηση των τιμών μέσου βάθους, μέγιστου βάθους, έκτασης πλημμύρας και ταχύτητας ροής.



Εικόνα 9.7 Μέγιστα βάθη ροής για τα εξεταζόμενα σενάρια βροχοπτώσεων διαφορετικής διάρκειας αλλά ίδιας συνολικής ποσότητας βροχόπτωσης.


Εικόνα 9.8 Μέγιστες ταχύτητες ροής για τα εξεταζόμενα σενάρια βροχοπτώσεων διαφορετικής διάρκειας αλλά ίδιας συνολικής ποσότητας βροχόπτωσης.

9.5. Σύγκριση σεναρίων ίδιας διάρκειας βροχόπτωσης αλλά διαφορετικής συνολικής βροχόπτωσης

Στην παρούσα ενότητα εξετάζεται η υδραυλική προσομοίωση σεναρίων βροχοπτώσεων ίδιας διάρκειας αλλά διαφορετικής συνολικής ποσότητας (κανονικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας). Πιο συγκεκριμένα, τα σενάρια που εξετάζονται είναι:

- d=8h, I=90mm
- d=8h, I=130mm
- d=8h, I=170mm
- d=8h, I=210mm
- d=8h, I=250mm
- d=8h, I=270mm

Με βάση τις εικόνες 9.9 και 9.10 παρατηρούμε ότι σε όλα τα ζεύγη, η έκταση, τα βάθη πλημμύρας καθώς και οι ταχύτητες ροής είναι μεγαλύτερες για τα σενάρια που αφορούν ποσότητα μεγαλύτερης συνολικής βροχόπτωσης, το οποίο ήταν αναμενόμενο.

Ακόμα, σύμφωνα με τον πίνακα 9.5, παρατηρούμε ότι όσο μεγαλώνει η συνολική ποσότητα βροχόπτωσης, τόσο μειώνεται ο ρυθμός αύξησης του μέγιστου και του μέσου βάθους (αν εξετάσουμε τις παρακάτω τιμές ανά ζεύγη και εν σειρά).

Πίνακας 9.5 Πίνακας μέγιστου και μέσου βάθους για τα εξεταζόμενα σενάρια ίδιας διάρκειας βροχόπτωσης αλλά διαφορετικές συνολικής ποσότητας βροχόπτωσης.

	d=8h,	d=8h,	d=8h,	d=8h,	d=8h,	d=8h,
	I=90mm	l=130mm	l=170mm	l=210mm	I=250mm	l=270mm
Μέγιστο βάθος (m)	4.17	4.80	5.44	5.95	6.34	6.49
Μέσο βάθος(m)	0.60	0.77	0.88	0.95	0.97	0.99



Εικόνα 9.9 Μέγιστα βάθη ροής για d = 8h και I =
90, 130, 170, 210, 250 και 270mm.



Εικόνα 9.10 Μέγιστες ταχύτητες ροής για d = 8h και I =90, 130, 170, 210, 250 και 270mm.

10. Προειδοποίηση έναντι πλημμύρας με εκτίμηση της κρίσιμης βροχόπτωσης

Στα προηγούμενα κεφάλαια, υλοποιήσαμε το υδρολογικό και το υδραυλικό σκέλος της προτεινόμενης μεθοδολογίας με σκοπό την προετοιμασία διαμόρφωσης ενός συστήματος έκδοσης προειδοποιήσεων έναντι πλημμύρας. Στο παρόν κεφάλαιο, θα εφαρμόσουμε το προτεινόμενο σύστημα των Huang et al. (2019) σε ένα τμήμα εντός της εξεταζόμενης περιοχής μελέτης, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 10.1.



Εικόνα 10.1 Χάρτης περιοχής μελέτης όπου θα εφαρμοστεί το εξεταζόμενο σύστημα προειδοποίησης πλημμύρας.

Οι παραδοχές που εφαρμόζονται είναι οι ακόλουθες:

- Διάρκεια βροχόπτωσης 8h
- Κανονικές συνθήκες πρότερης υγρασίας εδάφους (ΙΙ)

10.1. Υπολογισμός κρίσιμης βροχόπτωσης

Αρχικά, είναι αναγκαίο να υπολογίσουμε την τιμή της κρίσιμης βροχόπτωσης R_c για τα δύο επίπεδα κινδύνου (βλ. κεφάλαιο 7.7), μέσω ενός παράγωγου μεγέθους που προκύπτει από την υδροδυναμική ανάλυση, του δείκτη κινδύνου (βλ. κεφάλαιο 7.5).

Όπως παρουσιάστηκε στην ενότητα 7.5, η σχέση από την οποία υπολογίζεται ο δείκτης κινδύνου σε κάποια θέση του πλημμυρικού πεδίου είναι:

$$HI = h (U + 1.5) \tag{7.25}$$

Όπου:

- ΗΙ ο δείκτης κινδύνου (hazard index),
- $h(\mathbf{m})$ to baddog rouss,
- $U = \sqrt{u^2 + v^2}$ (m/s), ка

Ακόμα, όπως έχει προαναφερθεί, για το σύστημα προειδοποίησης πλημμυρών αυτής της εργασίας, θεσπίζονται δύο επίπεδα κινδύνου, στα οποία ορίζονται δύο κρίσιμοι δείκτες κινδύνου *HI*_c:

- HI_c = 0.5, που αντιστοιχεί στο επίπεδο "προετοιμασίας εκκένωσης" (ΠΕ), και
- $HI_c = 1.0$, που αντιστοιχεί στο επίπεδο "άμεσης εκκένωσης" (AE)

Έχοντας αναπτύξει τα σενάρια υδροδυναμική προσομοίωσης μέσω HEC-RAS για διάρκεια βροχόπτωσης 8h και συνολική βροχόπτωση 90, 110, 130, 150, 170, 190, 210, 230, 250, 270, 290, και 310 mm, είμαστε πλέον σε θέση να υπολογίσουμε την κρίσιμη βροχόπτωση (θεωρώντας κανονικές συνθήκες πρότερης υγρασίας εδάφους).

Μέσω HEC-RAS και του εργαλείου RASter Calculator, δημιουργήθηκαν για κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια, οι χάρτες που αποτυπώνουν τον δείκτη κινδύνου HI του διδιάστατου (2D) υπολογιστικού πεδίου (εικόνες 10.2 και 10.3), με χρωματική διαβάθμιση που αντιστοιχεί στα επίπεδα κινδύνου ΠΕ και ΑΕ, βάσει των τιμών 0.5 και 1.0, αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην εικόνα 10.2 είναι εμφανή τα όρια του ποταμού Λήλαντα στην περιοχή μελέτης και των περιοχών που υπό κανονικές συνθήκες δεν καλύπτονται από ύδατα.

Από τις παρακάτω εικόνες και σύμφωνα με τα παραγόμενα δεδομένα από το HEC-RAS, παρατηρούμε ότι ο δείκτης κινδύνου στην περιοχή αρχίζει να καταλαμβάνει την κρίσιμη τιμή HI_c =0.5 (που αντιστοιχεί στο επίπεδο κινδύνου ΠΕ) για *I*=190mm, ενώ φτάνει την τιμή HI_c =1.0 (που αντιστοιχεί στο επίπεδο κινδύνου ΑΕ) για *I*=230mm. Με βάση την εφαρμοζόμενη μεθοδολογία, ορίζουμε:

- Τιμή κρίσιμης βροχόπτωσης (για κανονικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας) που αντιστοιχεί στο επίπεδο κινδύνου ΠΕ την R_c= 180mm.
- Τιμή κρίσιμης βροχόπτωσης (για κανονικές συνθήκες εδαφικής υγρασίας) που αντιστοιχεί στο επίπεδο κινδύνου AE το R_c= 220mm.



Εικόνα 10.2 Χάρτες όπου απεικονίζεται ο συνδυασμός HI = h (U+1.5) για το σενάριο βροχόπτωσης d = 8h και I = 130, 150, 170 και 190 mm.



Εικόνα 10.3 Χάρτης όπου απεικονίζεται ο συνδυασμός HI = h (U+1.5) για το σενάριο βροχόπτωσης d = 8h και I = 210, 230, 250 και 270 mm.

10.2. Παράδειγμα λειτουργίας συστήματος προειδοποίησης

Το παράδειγμα που αναπτύσσεται στην παρούσα ενότητα έχει τις εξής παραδοχές:

- Διάρκεια βροχόπτωσης 8h,
- Κανονικές συνθήκες πρότερης υγρασίας εδάφους (ΙΙ), και
- Η ωριαία πρόβλεψη βροχόπτωσης 8 ωρών αναγράφεται στον πίνακα 10.1.

Πίνακας	10.1	Πίνακας	πληροφοριών	σχετικά	με	τη	διαδικασία	πρόγνωσης	και	αξιολόγησης	της
βροχόπτα	οσης.										

Χρόνος	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈	t ₉
Χρονική στιγμή απόφασης t _d (h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Χρονική στιγμή ειδοποίησης t _w (h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Πρόγνωση βροχής r _p (mm) (t _k ~t _{k+1})	30	40	60	40	20	15	20	5	0
Παρατηρούμενη βροχή r _o (mm) (t _{k-1} ~t _k)	0	34	41	62	36	21	7	19	3
Αθροιστική βροχή τη στιγμή απόφασης r _d (mm)	0	34	75	137	173	194	201	220	223
Αθροιστική βροχή τη στιγμή ειδοποίησης rw = rp + rd	30	74	135	177	193	209	221	225	223

Για την έκδοση προειδοποίησης «προετοιμασίας εκκένωσης» (ΠΕ) ή άμεσης εκκένωσης (ΑΕ), ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

- 1. Καθώς η διάρκεια βροχόπτωσης είναι 8 ώρες, ανατρέχουμε στα σενάρια που έχουμε διαμορφώσει και έχουν διάρκεια βροχόπτωσης τις 8 ώρες.
- Όπως προαναφέρθηκε, οι συνθήκες πρότερης υγρασίας εδάφους είναι κανονικές, οπότε, από το σύνολο των σεναρίων του βήματος 1, επιλέγουμε εκείνα που αντιπροσωπεύουν την κανονική κατάσταση εδάφους (II).
- Σε αυτή την περίπτωση, από τη βάση δεδομένων κρίσιμων βροχοπτώσεων, αντλούμε τις τιμές για τα επίπεδα ασφαλείας ΠΕ και ΑΕ. Όπως υπολογίστηκε στην ενότητα 10.1, αυτά είναι R_c= 180mm και R_c= 220mm, αντίστοιχα.
- 4. Υπολογίζεται η αθροιστική βροχόπτωση τη στιγμή ειδοποίησης, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 10.1.
- 5. Τη χρονική στιγμή απόφασης t_d = t₅ = 4h, η αθροιστική βροχόπτωση είναι 173mm και η πρόγνωση της βροχόπτωσης για την επόμενη ώρα είναι 20mm. Κατά συνέπεια, η αθροιστική βροχόπτωση την χρονική στιγμή ειδοποίησης είναι 193mm. Αν θεωρήσουμε ότι η βροχόπτωση κατακρημνίζεται ομοιόμορφα στο χρόνο, προκύπτει ότι θα αγγίξει τα 180mm την χρονική στιγμή t=4.35h, οπότε την t_w=4h θα πρέπει να εκδοθεί ειδοποίηση ΠΕ (προετοιμασία εκκένωσης) για τη συγκεκριμένη περιοχή. Με όμοιο τρόπο, η αθροιστική βροχόπτωση αναμένεται να γίνει ίση με 220mm τη χρονική στιγμή t=6.90h, οπότε την t_w=6h θα πρέπει να εκδοθεί ειδοποίηση ΑΕ (άμεση εκκένωση) για την περιοχή μελέτης.

Τέλος, τονίζεται για μία ακόμα φορά ότι η χρονική διακριτοποίηση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων βάσει υδρομετεωρολογικών προγνώσεων, η επιχειρησιακή λειτουργία, ο γενικότερος σχεδιασμός ενός ΣΕΠΠ καθώς και η επιλογή για τροποποίηση επιμέρους χαρακτηριστικών του είναι στην ευχέρεια των αρμόδιων φορέων που θα κληθούν να το υλοποιήσουν, συμπεριλαμβάνοντας την ιστορική υδρολογική πληροφορία και όλα τα ειδικά χαρακτηριστικά μιας υπό εξέταση λεκάνης απορροής. Στο πλαίσιο αυτό, το ΣΕΠΠ που εφαρμόζεται σε αυτή την εργασία, συμπεριλαμβανομένων των κριτηρίων και του χρόνου λήψης αποφάσεων για την έκδοση προειδοποιήσεων προετοιμασίας ή άμεσης εκκένωσης, βασίζεται σε λογικές παραδοχές που εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας και κρίνεται ως απαραίτητο να τροποποιηθεί με βάση τις ανάγκες, την κρίση και την εμπειρία της ομάδας επιχειρησιακής λειτουργίας που θα κληθεί να το εφαρμόσει στην πράξη.

11. Συμπεράσματα

11.1. Δυνατότητες και προοπτικές της χρήσης νέων τεχνολογιών στα ΣΕΠΠ

Τα σημαντικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν τη χρήση των νέων τεχνολογιών στα ΣΕΠΠ, με εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης και εθελοντικού διαμοιρασμού δεδομένων είναι:

- Οι αλγόριθμοι Μηχανικής Όρασης μπορεί να φανούν χρήσιμοι ως μέσο εξαγωγής κάποιων πληροφοριών, αλλά συνήθως υστερούν σε ακρίβεια. Αξίζει να σημειωθεί ότι γίνεται εκτενής και εξελισσόμενη έρευνα στη σύγκριση φωτογραφιών crowdsourcing με δεδομένα που αντλούνται από άλλες βάσεις δεδομένων, όπως το Google Street View, το οποίο αναμένεται τα επόμενα χρόνια να αυξήσει σημαντικά το επίπεδο αξιοπιστίας τέτοιων αναλύσεων στον τομέα της παρακολούθησης πλημμυρικών φαινομένων.
- Κύριο συμπέρασμα των παραπάνω είναι η δυνατότητα σύνδεσης δεδομένων crowdsourcing με αντίστοιχα δορυφορικά, μειώνοντας τα κενά της αδρής διατιθέμενης χρονικής ανάλυσης των τελευταίων, αυξάνοντας τη χωρική ανάλυση των υπολογισμών και την συνεπακόλουθη ακρίβειά τους. Σε πολλές περιπτώσεις, τα συμπληρωματικά δεδομένα crowdsourcing μπορούν να συμβάλουν αποφασιστικά στη μοντελοποίηση, μειώνοντας τις αβεβαιότητες που αναπόφευκτα προκύπτουν κατά την υπολογιστική διαδικασία. Επιπλέον, οι γεωστατιστικές αναλύσεις δείχνουν ότι οι αναρτήσεις των χρηστών συντελούν στην εξαγωγή συμπερασμάτων αναφορικά με τη πιθανότητα πλημμύρας συγκεκριμένων περιοχών, καθώς προκύπτει ότι οι χρήστες τείνουν να δημοσιεύουν αυξημένο περιεχόμενο κατά το στάδιο της πλημμυρικής αιχμής. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να προσφέρουν ευεργετικές δυνατότητες κατά τη διαμόρφωση πλάνων απόκρισης και μετριασμού των επιπτώσεων πλημμυρών.
- Οι δυνατότητες των ερευνητικών πρωτοβουλιών με αποδέκτες τους πολίτες για τη βελτίωση της αξιολόγησης του κινδύνου πλημμύρας, σε συνεργασία με τις τοπικές κοινωνίες, είναι θεμελιώδους σημασίας. Βασικοί μοχλοί επιτυχίας φαίνεται να είναι: η θέσπιση σαφώς ορισμένης και απλής διαδικασίας, η χρήση κατάλληλων εργαλείων για τη συλλογή και την επεξεργασία των δεδομένων, ένα αποτελεσματικό σχέδιο επικοινωνίας, η υποστήριξη των τοπικών αρχών και η ευαισθητοποίηση του κοινού για τους φυσικούς κινδύνους. Πέρα από τις τεχνικές και επικοινωνιακές προκλήσεις, με τον τρόπο αυτό ενισχύεται και η κουλτούρα της αντιπλημμυρικής προστασίας και εκπαιδεύονται οι πολίτες ώστε να συλλογίζονται και να ενεργούν συλλογικά.
- Οι εφαρμογές crowdsourcing προσφέρουν δυνατότητες που δεν υπήρχαν έως και πρόσφατα στη βαθμονόμηση και την επαλήθευση των υδρολογικών και υδροδυναμικών μοντέλων, αυξάνοντας την αξιοπιστία τους και περιορίζοντας την αβεβαιότητα που κατεξοχήν χαρακτηρίζουν τα αποτελέσματα αυτών των αναλύσεων. Αυτές οι δυνατότητες αναμένεται να αυξηθούν ακόμα περισσότερο τα επόμενα χρόνια.

11.2. Συμπεράσματα υδρολογικής ανάλυσης

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την υδρολογική ανάλυση των εξεταζόμενων σεναρίων είναι τα ακόλουθα:

- Στις αναλύσεις που έγιναν εν είδει ανάλυσης ευαισθησίας, στα υδρογραφήματα που εξετάστηκαν για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια CN και για τις τρεις πιθανές καταστάσεις υγρασίας εδάφους (ξηρή, κανονική, υγρή) προέκυψε ότι ο χρόνος εμφάνισης του Q_{max} δεν διαφοροποιείται ανά σενάριο, τα υδρογραφήματα επιδεικνύουν παρόμοια κατανομή, ενώ ακόμα ότι οι τιμές των παροχών καθ' όλη την εξεταζόμενη διάρκεια όσο και τα Q_{max} κάθε σεναρίου προέκυψαν μεταβαλλόμενες με όμοιο τρόπο, εξαρτώμενες από τις υδρολογικές απώλειες και τις καταστάσεις πρότερης υγρασίας του εδάφους. Ακόμα, οι διαφοροποιήσεις των τιμών των υδρογραφημάτων ανά σενάριο CN προέκυψαν μικρότερες στην υγρή κατάσταση υγρασίας του εδάφους σε σχέση με την αντίστοιχη ξηρή και κανονική, υποδεικνύοντας τον σημαντικό ρόλο της υγρασία του εδάφους στην εμφάνιση και το μέγεθος των μέγιστων παροχών.
- Στα διαγράμματα μεγίστων παροχών Q_{max} για τρία σενάρια διάρκειας βροχόπτωσης 8, 12 και 24 ωρών που αντιστοιχούν σε υψηλές τιμές συνολικών βροχοπτώσεων (δηλαδή υψηλών περιόδων επαναφοράς, άνω των 300 ετών), ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσίασαν οι γραμμές τάσεις τύπου y=ax+b, με τον συντελεστή κλίσης a των γραμμών τάσεων να είναι μικρότερος στις υγρές συνθήκες πρότερης υγρασίας, μεγαλύτερος στην κανονική κατάσταση και τέλος, ακόμα μεγαλύτερος στην ξηρή κατάσταση εδάφους. Ακόμα, τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας καταδεικνύουν τη σημαντική επιρροή που έχει ο αριθμός CN στην τιμή της μέγιστης παροχής Q_{max} σε ξηρή κατάσταση εδάφους (δηλαδή σε μικρότερες τιμές CN), σε αντίθεση με τις υγρές συνθήκες συνθήκες υγρασίας (μεγαλύτερες τιμές CN), όπου η μέγιστη παροχή δεν παρουσιάζει τόσο μεγάλη διαφοροποίηση. Επίσης, μπορούμε να σημειώσουμε ότι παρατηρούνται μικρότερες τιμές του συντελεστή κλίσης a όσο μεγαλώνει η χρονική διάρκεια της βροχόπτωσης για τις υγρές και κανονικές συνθήκες πρότερης υγρασίας, σε αντίθεση με τις ξηρές συνθήκες όπου ο δείκτης παρουσιάζει μια διαφορετική και πιο πολύπλοκη συμπεριφορά.
- Σχετικά με τη σύγκριση των υδρογραφημάτων που προέκυψαν από το επεισόδιο • βροχόπτωσης της 8^{ης} Αυγούστου 2020 (διάρκειας 8 ωρών), σε σχέση με το αντίστοιχο που θα προέκυπτε αν το ίδιο ύψος βρογόπτωσης είγε επιμεριστεί γρονικά με διαφορετικό τρόπο, πάλι σε διάστημα 8 ωρών αλλά με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σε όλα τα σενάρια υγρασίας εδάφους, οι μέγιστες παροχές Qmax δεν διαφέρουν σημαντικά. Με μια πιο λεπτομερή ανάλυση, προέκυψε ότι σε περίπτωση υγρής κατάστασης εδάφους η μέθοδος εναλλασσόμενων μπλοκ παράγει λίγο μεγαλύτερη Q_{max}, σε κανονική κατάσταση υγρασίας οι παροχές είναι ίσες, ενώ στην ξηρή κατάσταση η εκτιμώμενη Qmax του ιστορικού επεισοδίου είναι λίγο μεγαλύτερη. Επιπλέον, σε όλα τα σενάρια εδαφικής υγρασίας, η Qmax παρατηρείται 1,5 ώρα νωρίτερα με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ σε σχέση με την ιστορική βροχόπτωση. Επιπλέον, σε κάθε ένα από τα δύο σενάρια βροχόπτωσης παρατηρείται ότι το Qmax των τριών καταστάσεων εδαφικής υγρασίας συμβαίνει περίπου στον ίδιο χρόνο. Τέλος, και στις δύο περιπτώσεις, η απόκλιση των Qmax ανάμεσα στις καταστάσεις εδαφικής υγρασίας σε κάθε σενάριο βροχόπτωσης φαίνεται να είναι περίπου σταθερή, με την απόσταση της ξηρής από την κανονική κατάσταση να είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την απόσταση της υγρής από την κανονική κατάσταση υγρασίας.

- Σχετικά με τα εξεταζόμενα σενάρια CN και πρότερης υγρασίας εδάφους που αφορά την περίπτωση διάρκειας βροχόπτωσης d=24h και συνολικού ύψους βροχόπτωσης I=390mm, διαμορφώθηκαν τα διαγράμματα αθροιστικής παροχής (m³/s) χρόνου και τα διαγράμματα πιθανότητας μη υπέρβασης των αθροιστικών παροχών. Από την ανάλυση ευαισθησίας προέκυψε η διαφοροποίηση των διαγραμμάτων με βάση τα σενάρια CN και πρότερης υγρασίας εδάφους, καθώς και οι διαφορετικές κλίσεις των καμπυλών στις διάφορες περιπτώσεις. Η παρατηρούμενη έντονη διαφοροποίηση σε αυτά τα διαγράμματα των αθροιστικών παροχών δείχνει τη διακύμανση των παροχών σε καταστάσεις αλλαγής του συντελεστή απωλειών CN (ο οποίος εξαρτάται και μεταβάλλεται από αλλαγές στις χρήσεις γης, πιθανές πυρκαγιές, κατασκευαστικά ή μη μέτρα ανάσχεσης) και της πρότερης υγρασίας του εδάφους, επηρεάζοντας σημαντικά τις προκαλούμενες επιπτώσεις ενός πλημμυρικού γεγονότος (με όρους παροχών).
- Τα μεγέθη συνολικού όγκου απορροής και η μέγιστη παροχή Q_{max} είναι μεγαλύτερα όταν η ίδια ποσότητα βροχής κατακρημνίζεται σε λιγότερο χρονικό διάστημα. Ακόμα, στην περίπτωση αυτή, η παροχή αιχμής εμφανίζεται ταχύτερα (σε συντομότερο χρονικό διάστημα).
- Εν αντιθέσει, όταν ίδια ποσότητα βροχής κατακρημνίζεται σε μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, το υδρογράφημα «απλώνεται» χρονικά, με αποτέλεσμα ευμενέστερα αποτελέσματα παροχής αιχμής και με συνέπεια τη δυνατότητα ευκολότερης (συγκριτικά) αντιμετώπισης τέτοιου είδους επεισοδίων βροχής – απορροής. Αυτό είναι περισσότερο εμφανές όταν αναφερόμαστε σε επεισόδια βροχής με μεγαλύτερη διάρκεια.
- Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια δύο επεισοδίων που παράγουν την ίδια συνολική βροχόπτωση, η αιχμή του ενός τείνει να απομακρύνεται από την αιχμή του άλλου, τόσο χρονικά (οριζόντιος άξονας) όσο και σε όρους μέγιστης παροχής αιχμής Qmax (κατακόρυφος άξονας).
- Με τους θερμικούς χάρτες μεγίστων παροχών που αναπτύχθηκαν (heatmaps) για όλα τα εξεταζόμενα σενάρια βροχόπτωσης, διακρίνουμε τη διακύμανση των μεγίστων παροχών, τη χρονική στιγμή που αυτές συμβαίνουν, καθώς και τη διαφοροποίηση αυτών των μεγεθών στα διάφορα σενάρια διάρκειας βροχόπτωσης. Συγκρίνοντας τους χάρτες συμπεραίνουμε ότι όσο μεγαλώνει η διάρκεια του επεισοδίου βροχόπτωσης, η χρονική στιγμή της εμφάνισης της παροχής αιχμής τείνει να καθυστερεί, καθώς και ότι οι παροχές αιχμής τείνουν να ομαδοποιούνται σε (κοντινότερες) υψηλότερες τιμές.

11.3. Συμπεράσματα υδραυλικής ανάλυσης

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την υδραυλική ανάλυση των εξεταζόμενων σεναρίων είναι τα ακόλουθα:

Με την ανάλυση ευαισθησίας για τα διάφορα σενάρια μεταβολής του αριθμού CN (πραγματικό, -5%, +5%, +10%) καθώς και για τις τρεις καταστάσεις υγρασίας του εδάφους, τα βάθη και η έκταση της πλημμύρας επιδεικνύουν την αναμενόμενη αυξητική συμπεριφορά για αντίστοιχα αυξανόμενο αριθμό CN. Ακόμα, οι τιμές μέγιστου και μέσου βάθους αυξάνονται ανάλογα με το σενάριο με σχετικά μικρό ρυθμό, υποδεικνύοντας την μικρή επίδραση που έχει η μεταβολή του CN (πραγματικό, -5%, +5%, +10%), το οποίο

υπεισέρχεται μέσω των αντίστοιχων υδρογραφημάτων που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισαγωγής στο υδραυλικό μοντέλο, στα προαναφερόμενα μεγέθη βάθους ροής.

- Τα πλημμυρικά βάθη αυξάνονται με εντονότερο ρυθμό όταν εξετάζουμε τη μεταβολή από ξηρή σε κανονική κατάσταση σε σχέση με τη μεταβολή από κανονική σε υγρή, κατά την οποία τα βάθη αυξάνονται με μικρότερο ρυθμό. Ακόμα, παρατηρούμε ότι σημαντικότερη επίδραση στα βάθη ροής και στην έκταση πλημμύρας διαδραματίζει η κατάσταση της εδαφικής υγρασίας σε σχέση με την ποσοστιαία μεταβολή του CN (της τάξης του 5%).
- Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της υδραυλικής ανάλυσης που ενέκυψαν από τα υδρογραφήματα του ιστορικού επεισοδίου βροχόπτωσης της 8ης Αυγούστου 2020 σε σχέση με το αντίστοιχο που θα προέκυπτε από ίδιας διάρκειας και συνολικής ποσότητας βροχόπτωσης με τη μέθοδο εναλλασσόμενων μπλοκ, για όλες τις πιθανές καταστάσεις εδαφικής υγρασίας προέκυψε ότι στην κατάσταση ξηρής πρότερης εδαφικής υγρασίας το μέγιστο βάθος είναι μεγαλύτερο στα αποτελέσματα της ιστορικής βροχόπτωσης σε σχέση με αυτά της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ. Ακόμα, ίδια συμπεριφορά φαίνεται να έχει και η έκταση πλημμύρας. Επιπλέον, στην κατάσταση κανονικής πρότερης εδαφικής υγρασίας, τα βάθη ροής καθώς και η έκταση πλημμύρας για τα δύο σενάρια φαίνεται να μην διαφοροποιούνται. Τέλος, στην κατάσταση υγρής πρότερης εδαφικής υγρασίας, φαίνεται ότι το μέγιστο βάθος είναι σχεδόν ίδιο αλλά βάσει των χαρτών, η έκταση πλημμύρας είναι λίγο μεγαλύτερη κατά το σενάριο των εναλλασσόμενων μπλοκ.
- Αν ίδια ποσότητα βροχόπτωσης κατακρημνιστεί σε λιγότερο χρόνο, οι υδραυλικές επιπτώσεις (έκταση πλημμύρας, βάθη πλημμύρας και ταχύτητες ροής) που θα προκληθούν από ένα τέτοιο επεισόδιο θα είναι σφοδρότερες σε σχέση με την περίπτωση που η ίδια συνολική βροχόπτωση είχε επιμηκυνθεί χρονικά.
- Με δεδομένη σταθερή συνολική βροχόπτωση, όσο μεγαλύτερη είναι η απόκλιση των διαρκειών βροχόπτωσης των εξεταζόμενων σεναρίων, τόσο πιο μεγάλη είναι η διαφοροποίηση των τιμών μέσου βάθους, μέγιστου βάθους, έκτασης πλημμύρας και ταχύτητας ροής.
- Σε περίπτωση σεναρίων βροχόπτωσης ίσης διάρκειας, η έκταση, τα βάθη πλημμύρας καθώς και οι ταχύτητες ροής είναι μεγαλύτερες για τα σενάρια που αφορούν ποσότητα μεγαλύτερης συνολικής βροχόπτωσης, το οποίο ήταν αναμενόμενο. Ακόμα, παρατηρούμε ότι όσο μεγαλώνει η συνολική ποσότητα βροχόπτωσης, τόσο μειώνεται ο ρυθμός αύξησης του μέγιστου και του μέσου βάθους.

11.4. Εφαρμογή συστήματος προειδοποίησης

Η υδρολογική και η υδραυλική ανάλυση οδήγησε στην εφαρμογή του προτεινόμενου συστήματος προειδοποίησης, με τον υπολογισμό του κρίσιμου δείκτη κινδύνου *HI*_c και της κρίσιμης βροχόπτωσης *R*_c για τα δύο επίπεδα κινδύνου. Ακόμα, περιγράφηκε ο τρόπος λειτουργίας του εν λόγω συστήματος προειδοποίησης στο πλαίσιο ενός παραδείγματος. Το σύστημα, όπως παρουσιάστηκε στην πράξη, χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

 Η κρίσιμη βροχή που υπολογίζεται δεν είναι απαραίτητο να είναι σταθερή στον χώρο, γεγονός που γεννά την προσδοκία καλύτερου χειρισμού της χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης κατά την πραγματική επιχειρησιακή διαδικασία.

- Ο μηχανισμός προειδοποίησης συγκρίνει ευθέως τα αθροιστικά ύψη βροχόπτωσης και την προκαθορισμένη κρίσιμη βροχόπτωση, χωρίς να χρειάζεται να οριστεί ένα κατώφλι για τα μεγέθη παροχής, αποφεύγοντας τις εν γένει δυσκολίες και τους περιορισμούς που προκύπτουν από τις αποκλίσεις που αναπόφευκτα υπεισέρχονται κατά τη διαδικασία υπολογισμού τέτοιων χαρακτηριστικών μεγεθών σε διαφορετικές χωρικά και γεωμετρικά διατομές.
- Οι επιφανειακές ροές υπολογίζονται με χρήση ενός πλήρους υδροδυναμικού μοντέλου, το οποίο περιλαμβάνει την επιρροή της έντασης της βροχόπτωσης, τις τοπογραφικές κλίσεις, την υγρασία του εδάφους, καθώς και τους μηχανισμούς απωλειών (διήθησης).

11.5. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, μπορούν να προταθούν επιπρόσθετα πεδία για μελλοντική έρευνα που θα μπορούσαν να εμβαθύνουν περαιτέρω στη βελτίωση των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης πλημμυρών και της εκτίμησης της κρίσιμης βροχόπτωσης.

Προσπάθειες για μελλοντική έρευνα θα μπορούσαν να επικεντρωθούν στην εφαρμογή της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε σε άλλες λεκάνες απορροής με διαφορετικά κλιματικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, ώστε να αξιολογηθεί η γενίκευση και η προσαρμοστικότητα της σε διαφορετικά δεδομένα. Παράλληλα, θα μπορούσε να εξεταστεί η χρήση καινοτόμων τεχνικών μηχανικής μάθησης για την αυτόματη βελτιστοποίηση των παραμέτρων των υδρολογικών και υδροδυναμικών μοντέλων, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια στην πρόβλεψη πλημμυρών. Επιπρόσθετα, η διερεύνηση της επίδρασης διαφόρων σεναρίων κλιματικής αλλαγής/μεταβλητότητας στις κρίσιμες βροχοπτώσεις και τα πλημμυρικά φαινόμενα θα μπορούσε να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την προσαρμογή των συστημάτων προειδοποίησης σε μελλοντικές υδροκλιματικές συνθήκες.

Τέλος, προτείνεται η ανάπτυξη ενός πιο ολοκληρωμένου συστήματος προειδοποίησης που θα συνδυάζει τα ευρήματα της υδρολογικής-υδροδυναμικής μοντελοποίησης με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από αισθητήρες και δορυφόρους, ενισχύοντας την ικανότητα πρόγνωσης σε σύντομο χρονικό διάστημα και με μεγαλύτερη αξιοπιστία.

12. Αναφορές

- Abedin, B., A. Babar and A. Abbasi, Characterization of the Use of Social Media in Natural Disasters: A Systematic Review, 2014 IEEE Fourth International Conference on Big Data and Cloud Computing, 2014, pp. 449-454.
- Alysha M. Helmrich, Benjamin L. Ruddell, Kelly Bessem, Mikhail V. Chester, Nicholas Chohan, Eck Doerry, Joseph Eppinger, Margaret Garcia, Jonathan L. Goodall, Christopher Lowry, Faria T. Zahura, Opportunities for crowdsourcing in urban flood monitoring, Environmental Modelling & Software, Volume 143, 2021, 105124, ISSN 1364-8152.
- AMS (2017). Flash Floods: The Role of Science, Forecasting, and Communications in Reducing Loss of Life and Economic Disruptions. Information Statement of the American Meteorological Society. Link: <u>https://www.ametsoc.org/index.cfm/ams/about-ams/ams-statements/statements-of-the-ams-in-force/flash-floods-the-role-of-science-forecasting-and-communications-in-reducing-loss-of-life-and-economic-disruptions/</u> [Προσπέλαση ιστοσελίδας: Μάρτιος 2022]
- Brunner, G. W. (2016). Combined 1D and 2D Modelling with HEC-RAS v. 5. US Army Corps of Engineers.
- Cao, Z., Wang, X., Zhang, S., and Pender, G. (2010). Hydrodynamic modelling in support of flash flood warning. ICE Water Management, 163, 327–340.
- Chen, R., Sakamoto, Y., 2013. Perspective matters: Sharing of crisis information in social media. In: System Sciences (HICSS), 2013 46th Hawaii International Conference on. IEEE, pp. 2033–2041.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays L.W. (1988). Applied Hydrology, New York, Mc Graw-Hill.
- CORINE Land Cover (2018) Land Cover Dataset for 2012. <u>https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012</u>

[Προσπέλαση ιστοσελίδας: Αύγουστος 2024

Defra and Environment Agency (DEA) (2006). Flood and Coastal Defence R&D Programme, R&D Outputs: Flood Risks to People. (Phase 2 Project Record, FD2321/PR); DEA: London, UK.

- Eikenberg, C. (1998). Journalistenhandbuch zum Katastrophenman-agement, fifth edition, German IDNDR-Committee, Bonn.
- Eilander, D., Trambauer, P., Wagemaker, J., van Loenen, A., Harvesting social media for generation of near real-time flood maps, Procedia Eng 154, 176–183, 2016
- 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.
- Frigerio, S., Schenato, L., Bossi, G., Mantovani, M., Marcato, G., and Pasuto, A. (2018). Hands-On Experience of Crowdsourcing for Flood Risks. An Android Mobile Application Tested in Frederikssund, Denmark. International journal of environmental research and public health, 15(9), 1926.
- Giandotti M. (1934). Previsione delle piene e delle magre dei crosi d'acqua. Roma: Ministero dei Lavori Pubblici.
- Hapuarachchi, H.A.P., Wang, Q.J., and Pagano, T.C. (2011). A review of advances in flash flood forecasting. Hydrological Processes, 25, 2771–2784.
- Hess, L.L., Melack, J.M., Filoso, S., Wang, Y., 1995. Delineation of inundated area and vegetation along the Amazon floodplain with the SIR-C synthetic aperture radar. IEEE Trans. Geoscience Remote Sens. 33 (4), 896–904.
- Hess, L.L., Melack, J.M., Novo, E.M., Barbosa, C.C., Gastil, M., 2003. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin. Remote Sens. Environ. 87 (4), 404–428.
- Hirschberg. J., and Christopher Manning, C., Advances in natural language processing, Science, Vol 349, Issue 6245 pp. 261-266, 2015.
- Holderness, T., Turpin, E. (2015), From Social Media to GeoSocial Intelligence: Crowdsourcing Civic Co-management for Flood Response in Jakarta, Indonesia, In: Nepal, S., Paris, C., Georgakopoulos, D. (eds) Social Media for Government Services, Springer, Cham.
- Huang, Y. (2005). Appropriate modeling for integrated flood risk assessment (p. 176). The Netherlands: University of Twente
- Huang, W., Cao, Z., Huang, M., Duan, W., Ni, Y., and Yang, W. (2019). A New Flash Flood Warning Scheme Based on Hydrodynamic Modelling. Water, 11, 1221.
- ICE (2001). Learning to live with rivers, Institution of Civil Engineers, London, UK.

- Integrated Research on Disaster Risk (2014). Peril Classification and Hazard Glossary (IRDR DATA Publication No. 1). Beijing: Integrated Research on Disaster Risk.
- Le Coz, J., Patalano, A., Collins, D., Guillén, N.F., Carlos Marcelo García, Graeme M. Smart, Jochen Bind, Antoine Chiaverini, Raphaël Le Boursicaud, Guillaume Dramais, Isabelle Braud, Crowdsourced data for flood hydrology: Feedback from recent citizen science projects in Argentina, France and New Zealand, Journal of Hydrology, Volume 541, Part B, 2016, Pages 766-777, ISSN 0022-1694.
- Li, Z., Wang, C., Emrich, C.T., and Guo, G., (2018) A novel approach to leveraging social media for rapid flood mapping: a case study of the 2015 South Carolina floods, Cartography and Geographic Information Science, 45:2, 97-110.
- Manual, H. R. (2016). HEC-RAS river analysis system. Hydraulic reference manual, Version 5.0. US Army Corps of Engineers, Institute of Water Resources, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- Mazzoleni, M., Verlaan, M., Alfonso, L., Monego, M., Norbiato, D., Ferri, M., and Solomatine, D. P., Can assimilation of crowdsourced data in hydrological modelling improve flood prediction?, Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, 839–861.
- Middleton, S.E., L. Middleton and S. Modafferi, Real-Time Crisis Mapping of Natural Disasters Using Social Media, in IEEE Intelligent Systems, vol. 29, no. 2, pp. 9-17, Mar.-Apr. 2014.
- Mockus V. (1957). Use of storm and watershed characteristics in synthetic hydrograph analysis and application. US Department of Agriculture.
- Naik, N, Flooded streets A crowdsourced sensing system for disaster response: A case study, 2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE), 2016, pp. 1-3.
- NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (2013). Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global. Distributed by OpenTopography. https://doi.org/10.5069/G9445JDF. Accessed: 2024-02-04
- Panteras, G., and Cervone, G., Enhancing the temporal resolution of satellite-based flood extent generation using crowdsourced data for disaster monitoring, International Journal of Remote Sensing, 39:5, 1459-1474, 2018.
- Patalano, A., Moreno, L., García, C.M., Guillén, N.F., 2015. Desarrollo e implementación del proyecto "Cazadores de crecidas" en ríos de la provincial de Córdoba [Development and implementation of the Cazadores de crecidas project in rivers of the Córdoba province, in Spanish], IV Simposio sobre métodos experimentales en hidráulica, La Plata, Argentina, 2 p.
- Patel, D. P., Ramirez, J. A., Srivastava, P. K., Bray, M., and Han, D. (2017). Assessment of flood inundation mapping of Surat city by coupled 1D/2D hydrodynamic modeling: a case application of the new HEC-RAS 5. Natural Hazards, 89(1), 93-130.
- Plate, E. (2002). Flood risk and flood management. Journal of Hydrology, 267 (1-2), 2-11.
- Sampson, C. C., Smith, A. M., Bates, P. D., Neal, J. C., Alfieri, L., and Freer, J. E. (2015). A high-resolution global flood hazard model, Water Resources Research, 51 (9), 7358-7381
- Schanze, J., Zeman, E., and Marsalek, J. (2016). Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures. NATO Science Series, 67. Springer, Dordrecht.
- SCS (1972). National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology; US Government Printing Office: Washington, DC, USA.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2016). HEC-RAS River Analysis System: User's 21. Manual, Version 6.0, Hydrologic Engineering Center, CPD-68, Davis, CA.
- UCAR (University Corporation for Atmospheric Research) (2010). Flash flood early warning system. ISBN 978-0-615-37421-5
- United Nations (2015). Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. [Online] Available at: https://www.undrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030 [Προσπέλαση ιστοσελίδας: Ιούλιος 2023]
- UN/ISDR (2004). Living with risk: a global review of disaster reduction initiatives. ISBN/ISSN/DOI: 9211010640. <u>https://www.undrr.org/publication/living-risk-global-review-disaster-reduction-initiatives</u> [Προσπέλαση ιστοσελίδας: Νοέμβριος 2024]
- Vallimeena, P., Nair, B. B., and Rao, S.N., "Machine Vision Based Flood Depth Estimation Using Crowdsourced Images of Humans," 2018 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICCIC.2018.8782363.

- Verbeiren, B, Seyoum, SD, Lubbad, I, Xin, T, Veldhuis, MC, Onof, C, Wang, LP, Ochoa-Rodriguez, S, Veeckman, C, Boonen, M, See, L, Nalpas, D, O'Brien, B, Johnston, A, and Willems, P, FloodCitiSense: Early Warning Service for Urban Pluvial Floods for and by Citizens and City Authorities, In: Mannina, G. (eds) New Trends in Urban Drainage Modelling. UDM 2018. Green Energy and Technology, 2019 Springer, Cham.
- Wang, R.G., Mao, H., Wang, Y., Rae, C., Shaw, W., Hyper-resolution monitoring of urban flooding with social media and crowdsourcing data, Computers & Geosciences, Volume 111, 2018, Pages 139-147, ISSN 0098-3004.
- Wang, R.Q., Chapter 13 Artificial Intelligence for Flood Observation, Editor(s): Guy J-P. Schumann, In Earth Observation, Earth Observation for Flood Applications, Elsevier, 2021, Pages 295-304, ISBN 9780128194126.
- Wehn, U., Jaap Evers, The social innovation potential of ICT-enabled citizen observatories to increase eParticipation in local flood risk management, Technology in Society, Volume 42, 2015, Pages 187-198, ISSN 0160-791X.
- WMO (2008) Capacity Assessment of National Meteorological and Hydrological Services in Support of Disaster Risk Reduction. Analysis of the 2006 WMO Disaster Risk Reduction Country-level Survey. <u>https://library.wmo.int/idurl/4/32236</u> [Προσπέλαση ιστοσελίδας: Ιούλιος 2023]
- Xia, J., Falconer, R.A., Lin, B., and Tan, G. (2011). Numerical assessment of flood hazard risk to people and vehicles in flash floods. Environmental Modelling & Software, 2011, 26, 987–998.
- Ανδρικοπούλου, Θ. (2019). Ολοκληρωμένη προσέγγιση στην εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου η περίπτωση του Πηνειού ποταμού. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Κάβουρας Μ., Δάρρα Α., Κονταξάκη Σ., και Τομαή Ε. (2016). Επιστήμη Γεωγραφικής Πληροφορίας Αρχές και Τεχνολογίες, [ηλεκτρ. βιβλ.], Διαθέσιμο στο: <u>http://hdl.handle.net/11419/6392</u>
- Μανδραβέλλος, Ν. (2022). Ανάλυση του πλημμυρικού επεισοδίου βροχής απορροής Αυγούστου 2020 στον ποταμό Λήλαντα Ευβοίας. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Οδηγία 2007/60/ΕΚ. (2007). Αξιολόγηση και Διαχείριση Πλημμυρικών Κινδύνων. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και Συμβούλιο.
- ΠΔ (Προεδρικό Διάταγμα). (1974). Περί αμοιβών μηχανικών δια σύνταξιν μελετών, επίβλεψιν, παραλαβήν κλπ. Συγκοινωνιακών, Υδραυλικών και κτιριακών Εργων, ως και Τοπογραφικών Κτηματογραφικών και Χαρτογραφικών Εργασιών και σχετικών τεχνικών προδιαγραφών μελετών.
- Ραΐσης, Φ. (2020). Υδρολογική υδραυλική προσομοίωση και διερεύνηση της στερεομεταφοράς στη λεκάνη απορροής του Σπερχειού ποταμού. Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Σαρχάνη, Σ. (2018). Ανάλυση ευαισθησίας παραμέτρων υδρολογικής προσομοίωσης πλημμυρικού γεγονότος & προσομοίωσης υδραυλικού κύματος σε μια μικρής έκτασης υδρολογική λεκάνη». Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Ειδική Γραμματεία Υδάτων (2017), 1η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07), Ενδιάμεση Φάση 1, Παραδοτέο Π13: Προσχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών, 2017.
- Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας, Στάδιο ΙΙ, 1η Φάση, Παραδοτέο 15, Πρόγραμμα Διαβούλευσης, Τεχνική έκθεση, 2018.
- Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας, Στάδιο ΙΙ, 4η Φάση, Παραδοτέο 17, Έκθεση Αποτελεσμάτων Διαβούλευσης, Τεχνική έκθεση ,2018.
- ΥΠΕΝ (2010). Προδιαγραφές Μελετών. Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας.
- ΥΠΕΝ. (χ.χ.). Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας - Πλημμυρικά Υδρογραφήματα. Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας.
- ΥΠΕΚΑ (2016). Κατάρτιση Ομβρίων Καμπυλών σε επίπεδο χώρας εφαρμογή οδηγίας 2007/60/ΕΚ. https://www.floods.ypeka.gr/, Προσπέλαση ιστοσελίδας: Αύγουστος 2021

13. Παράρτημα

13.1. Πίνακας Π-1: Επικρατούντες υδρολογικοί εδαφικοί τύποι των κυριότερων πετρωμάτων στην Ελλάδα (πηγή: floods.ypeka.gr)

Τύπος	Υφή	Ομάδα					
Πλουτώνια πετρώματα							
Γρανίτης	Αμμώδη έως πηλώδη	А					
Συηνίτης	Βαρύτερα του γρανίτη	В					
Διορίτης	Αργιλώδη ή αργιλοπηλώδη	D					
Γάββρος και Περιδοτίτης	Πηλώδη μέχρι αργιλώδη	B, C, D					
Eĸ	ρηξιγενή πετρώματα						
Διαβάσης	Αργιλώδη	D					
Οφείτης	Λεπτή ή μέτρια λεπτή υφή	C, D					
Ρυόλιθος	Αμμώδη	А					
Τραχείτης	Αμμώδη	А					
Ανδεσίτης	Αργιλώδη	D					
Βασάλτης	Αργιλώδη	D					
Μηχανικ	κά ιζηταμογενή πετρώματα						
Αμμόλιθοι και ψαμμίτες	Αμμώδη έως αμμοπηλώδη	А					
Κροκαλοπαγή, λατυποπαγή	Αμμοπηλώδη	А					
Σχιστή άργιλος, αργιλίτες	Αργιλώδη	D					
Φλύσχης Αδριατικοϊόνιας ζώνης και Ωλονού - Πίνδου	Αμμοαργιλώδη έως αργιλώδη	D					
Φλύσχης Πίνδου	Ελαφρύτερα της προηγούμενης	В					
Φλύσχης Τριπόλεως - Γαβρόβου	Ενδιάμεση υφή μεταξύ των προηγούμενων	С					
Χημικά και β	ιογενή ιζηματογενή πετρώματα						
Σκληροί ασβεστόλιθοι	Αργηλοπηλώδη έως αργιλώδη	D					
Ασβεστολιθικές μάργες	Πηλώδη έως αργιλοπηλώδη	С					
Μεταμ	ιορφωσιγενή πετρώματα						
Γνεύσιος	Αμμοπηλώδη έως πηλώδη	A, B					
Σχιστόλιθος (μαρμαρυγιακός)	Αμμοπηλώδη	A, B					
Σχιστόλιθος (σερικιτικός)	Αμμώδη έως πηλοαμμώδη	A, B					
Σχιστόλιθος (χλωριτικός)	Βαρύτερα από τα τρία παραπάνω	В					
Αργιλικός σχιστόλιθος ή σχίστης	Βαριά εδάφη	D					
Χαλαζίτης	Αμμώδη	А					

13.2. Πίνακας Π-2 Τιμές αριθμού καμπύλης απορροής CN βάσει της ομάδας διηθητικότητας του εδάφους και της φυτοκάλυψης (Πηγή: YΠΕΝ, CORINE)

Kasuche	Ποοινοκοά		Ομάδα διηθησιμότητας				
κωσικός	Περιγραφη	Α	В	С	D		
111	Συνεχής αστική οικοδόμηση	69	80	87	90		
112	Διακεκομμένη αστική οικοδόμηση	66	77	83	86		

Vosuás	Πορωραφά		Ομάδα διηθησιμότητας				
κωσικός	Περιγραφη	Α	В	С	D		
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	85	90	93	94		
122	Οδικά σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη		92	94	95		
123	Ζώνες λιμένων	85	90	93	94		
124	Αεροδρόμια	85	90	93	94		
131	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	69	80	87	90		
132	Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων						
133	Χώροι οικοδόμησης	69	80	87	90		
141	Περιοχές αστικού πράσινου	44	65	62	82		
142	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	50	70	80	85		
211	Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη	67	76	83	86		
212	Μόνιμα αρδευόμενη γη	67	76	83	86		
213	Ορυζώνες	59	72	81	85		
221	Αμπελώνες	63	72	79	82		
222	Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	44	66	77	83		
223	Ελαιώνες	49	59	72	82		
231	Λιβάδια 54 70 80 85	54	70	80	58		
241	Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες	(7	76	02	96		
241	καλλιέργειες	07	/0	83	80		
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	67	76	83	86		
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	67	76	83	86		
244	Γεφονο-δασικές περιογές			I			
311	Δάσος πλατύωυλλων	35	61	74	80		
312	Δάσος κωνοφόρων	35	61	74	80		
313	Μικτό δάσος	35	61	74	80		
321	Φυσικοί βοσκότοποι	49	69	79	84		
322	Θάμνοι και γερσότοποι	42	62	74	80		
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	42	62	74	80		
324	Μεταβατικές δασώδεις θαμνώδεις εκτάσεις	42	62	74	80		
331	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	42	62	74	80		
332	Απογυμνωμένοι βράγοι	76	86	90	92		
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	42	62	74	80		
334	Αποτεφρωμένες εκτάσεις			<u> </u>			
335	Παγετώνες και αιώνιο γιόνι						
411	Βάλτοι στην ενδοχώρα	95	95	95	95		
412	Τυρφώνες			I			
421	Παραθαλάσσιοι βάλτοι	95	95	95	95		
422	Αλυκές	95	95	95	95		
423	Ζώνες που καλύπτονται από παλιορροιακά ύδατα	-					
511	Υδατορρεύματα	100	100	100	100		
512	Επιφάνειας στάσιμου ύδατος	100	100	100	100		
521	Παράκτιες λιμνοθάλασσες	100	100	100	100		
522	Εκβολές ποταμών						
523	Θάλασσες και ωκεανοί	100	100	100	100		

13.3. Υετογραφήματα εξεταζόμενων σεναρίων















































































d(h) - I(mm)	Σενάριο CN	Κατάσταση εδάφους	Qmax (m3/s)
RUN:01H 040mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	34.02
RUN:01H 050mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	50.76
RUN:01H 060mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	69.94
RUN:01H 070mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	91.30
RUN:01H 080mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	114.55
RUN:01H 090mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	139.49
RUN:01H 100mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	165.93
RUN:01H 110mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	193.70
RUN:03H 070mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	89.45
RUN:03H 085mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	124.22
RUN:03H 100mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	162.49
RUN:03H 115mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	203.68
RUN:03H 130mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	247.33
RUN:03H 145mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	293.22
RUN:03H 160mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	340.86
RUN:03H 175mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	390.21
RUN:06H 080mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	107.68
RUN:06H 100mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	155.94
RUN:06H 120mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	209.30
RUN:06H 140mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	266.71
RUN:06H 160mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	327.59
RUN:06H 180mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	391.19
RUN:06H 200mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	457.09
RUN:06H 220mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	525.06
RUN:06H 240mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	594.58
RUN:08H 090mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	127.10
RUN:08H 110mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	176.70
RUN:08H 130mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	230.64
RUN:08H 150mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	288.19
RUN:08H 170mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	348.74
RUN:08H 190mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	411.90
RUN:08H 210mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	477.07
RUN:08H 230mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	543.91
RUN:08H 250mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	612.46
RUN:08H 270mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	682.24
RUN:08H 290mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	753.17
RUN:08H 310mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	825.08
RUN:12H 120mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	191.60
RUN:12H 140mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	244.28
RUN:12H 160mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	300.21
RUN:12H 180mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	358.86
RUN:12H 200mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	419.60
RUN:12H 220mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	482.24
RUN:12H 240mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	546.42

13.4. Πίνακας Π-3 Μέγιστες εκτιμώμενες παροχές Qmax (m³/s) εξεταζόμενων σεναρίων

RUN-12H 260mm	Ποανιματικό CN=77.8	Ξηρή	612.01
RUN:12H 280mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	678.80
RUN:12H 300mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	746.59
RUN:24H 150mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	235.04
RUN:24H 170mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	284.62
RUN:24H 190mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	336.41
RUN:24H 210mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	390.02
RUN:24H 230mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	445.15
RUN:24H 250mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	501.52
RUN:24H 270mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	559.09
RUN:24H 290mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	617.70
RUN:24H 310mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	677.22
RUN:24H 330mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	737.48
RUN:24H 350mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	798.36
RUN:24H 370mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	859.89
RUN:24H 390mm	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	921.93
RUN:HISTORICAL	Πραγματικό CN=77.8	Ξηρή	781.21
RUN:01H 040mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	64.32
RUN:01H 050mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	92.34
RUN:01H 060mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	122.98
RUN:01H 070mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	155.70
RUN:01H 080mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	190.08
RUN:01H 090mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	225.83
RUN:01H 100mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	262.71
RUN:01H 110mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	300.53
RUN:03H 070mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	152.23
RUN:03H 085mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	203.07
RUN:03H 100mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	256.62
RUN:03H 115mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	312.18
RUN:03H 130mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	369.27
RUN:03H 145mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	427.73
RUN:03H 160mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	487.08
RUN:03H 175mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	547.37
RUN:06H 080mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	178.74
RUN:06H 100mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	246.90
RUN:06H 120mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	318.67
RUN:06H 140mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	392.89
RUN:06H 160mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	469.11
RUN:06H 180mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	546.66
RUN:06H 200mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	625.26
RUN:06H 220mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	704.83
RUN:06H 240mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	784.95
RUN:08H 090mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	206.24
RUN:08H 110mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	274.63
RUN:08H 130mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	345.80
RUN:08H 150mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	419.06

RUN:08H 170mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	493.92
RUN:08H 190mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	570.11
RUN:08H 210mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	647.14
RUN:08H 230mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	724.78
RUN:08H 250mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	803.23
RUN:08H 270mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	882.07
RUN:08H 290mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	961.31
RUN:08H 310mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	1040.86
RUN:12H 120mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	293.19
RUN:12H 140mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	361.80
RUN:12H 160mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	432.12
RUN:12H 180mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	503.87
RUN:12H 200mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	576.52
RUN:12H 220mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	649.99
RUN:12H 240mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	724.05
RUN:12H 260mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	798.67
RUN:12H 280mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	873.73
RUN:12H 300mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	949.10
RUN:24H 150mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	344.51
RUN:24H 170mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	406.52
RUN:24H 190mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	469.51
RUN:24H 210mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	533.32
RUN:24H 230mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	597.76
RUN:24H 250mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	662.62
RUN:24H 270mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	727.98
RUN:24H 290mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	793.54
RUN:24H 310mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	859.32
RUN:24H 330mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	925.29
RUN:24H 350mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	991.39
RUN:24H 370mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	1057.70
RUN:24H 390mm	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	1124.11
RUN:HISTORICAL	Πραγματικό CN=77.8	Κανονική	980.34
RUN:01H 040mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	101.35
RUN:01H 050mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	139.00
RUN:01H 060mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	178.37
RUN:01H 070mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	218.95
RUN:01H 080mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	260.42
RUN:01H 090mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	302.55
RUN:01H 100mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	345.19
RUN:01H 110mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	388.24
RUN:03H 070mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	213.45
RUN:03H 085mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	274.14
RUN:03H 100mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	336.37
RUN:03H 115mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	399.45
RUN:03H 130mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	463.14
RUN:03H 145mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	527.41

RUN:03H 160mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	591.93
RUN:03H 175mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	656.85
RUN:06H 080mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	244.54
RUN:06H 100mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	323.81
RUN:06H 120mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	404.61
RUN:06H 140mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	486.25
RUN:06H 160mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	568.67
RUN:06H 180mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	651.44
RUN:06H 200mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	734.47
RUN:06H 220mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	817.85
RUN:06H 240mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	901.26
RUN:08H 090mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	276.21
RUN:08H 110mm	Πραγματικό CN=77.8	Υνρή	354.37
RUN:08H 130mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	433.49
RUN:08H 150mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	513.31
RUN:08H 170mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	593.65
RUN:08H 190mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	674.46
RUN:08H 210mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	755.40
RUN:08H 230mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	836.41
RUN:08H 250mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	917.76
RUN:08H 270mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	999.13
RUN:08H 290mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	1080.58
RUN:08H 310mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	1162.07
RUN:12H 120mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	373.35
RUN:12H 140mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	448.80
RUN:12H 160mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	524.77
RUN:12H 180mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	601.23
RUN:12H 200mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	677.82
RUN:12H 220mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	754.64
RUN:12H 240mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	831.57
RUN:12H 260mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	908.64
RUN:12H 280mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	985.81
RUN:12H 300mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	1063.03
RUN:24H 150mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	423.84
RUN:24H 170mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	490.15
RUN:24H 190mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	556.64
RUN:24H 210mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	623.33
RUN:24H 230mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	690.15
RUN:24H 250mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	756.97
RUN:24H 270mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	823.94
RUN:24H 290mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	890.85
RUN:24H 310mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	957.75
RUN:24H 330mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	1024.64
RUN:24H 350mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	1091.50
RUN:24H 370mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	1158.43
RUN:24H 390mm	Πραγματικό CN=77.8	Υγρή	1225.33

RUN:HISTORICAL	Πρανματικό CN=77.8	Υνρή	1089.29
RUN:01H 040mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	28.53
RUN:01H 050mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	42.87
RUN:01H 060mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	59.47
RUN:01H 070mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	78.07
RUN:01H 080mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	98.52
RUN:01H 090mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	120.61
RUN:01H 100mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	144.18
RUN:01H 110mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	169.09
RUN:03H 070mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	76.52
RUN:03H 085mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	107.17
RUN:03H 100mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	141.26
RUN:03H 115mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	178.28
RUN:03H 130mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	217.84
RUN:03H 145mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	259.72
RUN:03H 160mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	303.49
RUN:03H 175mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	349.10
RUN:06H 080mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	92.59
RUN:06H 100mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	135.47
RUN:06H 120mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	183.47
RUN:06H 140mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	235.65
RUN:06H 160mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	291.48
RUN:06H 180mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	350.27
RUN:06H 200mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	411.59
RUN:06H 220mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	475.22
RUN:06H 240mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	540.65
RUN:08H 090mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	109.82
RUN:08H 110mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	154.15
RUN:08H 130mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	202.90
RUN:08H 150mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	255.43
RUN:08H 170mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	311.16
RUN:08H 190mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	369.71
RUN:08H 210mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	430.51
RUN:08H 230mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	493.23
RUN:08H 250mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	557.87
RUN:08H 270mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	623.97
RUN:08H 290mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	691.42
RUN:08H 310mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	760.04
RUN:12H 120mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	167.88
RUN:12H 140mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	215.73
RUN:12H 160mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	266.82
RUN:12H 180mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	320.84
RUN:12H 200mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	377.29
RUN:12H 220mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	435.84
RUN:12H 240mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	496.17
RUN:12H 260mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	558.11

1	I	I	I
RUN:12H 280mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	621.46
RUN:12H 300mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	686.01
RUN:24H 150mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	208.05
RUN:24H 170mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	253.63
RUN:24H 190mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	301.43
RUN:24H 210mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	351.22
RUN:24H 230mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	402.88
RUN:24H 250mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	455.98
RUN:24H 270mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	510.46
RUN:24H 290mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	566.00
RUN:24H 310mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	622.50
RUN:24H 330mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	679.89
RUN:24H 350mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	738.12
RUN:24H 370mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	797.30
RUN:24H 390mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	857.12
RUN:HISTORICAL	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Ξηρή	720.37
RUN:01H 040mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	55.77
RUN:01H 050mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	80.94
RUN:01H 060mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	108.81
RUN:01H 070mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	138.87
RUN:01H 080mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	170.74
RUN:01H 090mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	204.13
RUN:01H 100mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	238.78
RUN:01H 110mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	274.52
RUN:03H 070mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	135.87
RUN:03H 085mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	183.12
RUN:03H 100mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	233.42
RUN:03H 115mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	286.03
RUN:03H 130mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	340.48
RUN:03H 145mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	396.53
RUN:03H 160mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	453.71
RUN:03H 175mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	512.01
RUN:06H 080mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	160.56
RUN:06H 100mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	224.45
RUN:06H 120mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	292.47
RUN:06H 140mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	363.43
RUN:06H 160mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	436.79
RUN:06H 180mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	511.85
RUN:06H 200mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	588.24
RUN:06H 220mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	665.85
RUN:06H 240mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	744.23
RUN:08H 090mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	186.34
RUN:08H 110mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	250.81
RUN:08H 130mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	318.56
RUN:08H 150mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	388.84
RUN:08H 170mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	461.09
1	1	i de la companya de l	I.
----------------	-------------------------	---	---------
RUN:08H 190mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	534.99
RUN:08H 210mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	610.00
RUN:08H 230mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	685.86
RUN:08H 250mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	762.70
RUN:08H 270mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	840.12
RUN:08H 290mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	918.09
RUN:08H 310mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	996.49
RUN:12H 120mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	268.75
RUN:12H 140mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	334.30
RUN:12H 160mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	401.95
RUN:12H 180mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	471.37
RUN:12H 200mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	541.97
RUN:12H 220mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	613.63
RUN:12H 240mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	686.10
RUN:12H 260mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	759.30
RUN:12H 280mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	833.09
RUN:12H 300mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	907.33
RUN:24H 150mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	318.89
RUN:24H 170mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	378.69
RUN:24H 190mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	439.76
RUN:24H 210mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	501.91
RUN:24H 230mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	564.89
RUN:24H 250mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	628.47
RUN:24H 270mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	692.71
RUN:24H 290mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	757.29
RUN:24H 310mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	822.20
RUN:24H 330mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	887.41
RUN:24H 350mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	952.83
RUN:24H 370mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	1018.55
RUN:24H 390mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	1084.42
RUN:HISTORICAL	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Κανονική	939.84
RUN:01H 040mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	91.71
RUN:01H 050mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	127.26
RUN:01H 060mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	164.82
RUN:01H 070mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	203.83
RUN:01H 080mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	243.93
RUN:01H 090mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	284.87
RUN:01H 100mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	326.47
RUN:01H 110mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	368.60
RUN:03H 070mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	198.87
RUN:03H 085mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	257.70
RUN:03H 100mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	318.14
RUN:03H 115mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	379.85
RUN:03H 130mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	442.43
RUN:03H 145mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	505.77
RUN:03H 160mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	569.48

	RUN:03H 175mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	633.70
Ì	RUN:06H 080mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	229.19
Ì	RUN:06H 100mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	306.46
ĺ	RUN:06H 120mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	385.72
ĺ	RUN:06H 140mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	466.16
ĺ	RUN:06H 160mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	547.61
ĺ	RUN:06H 180mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	629.59
ĺ	RUN:06H 200mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	711.97
ĺ	RUN:06H 220mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	794.81
ĺ	RUN:06H 240mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	877.76
ĺ	RUN:08H 090mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	260.18
Ì	RUN:08H 110mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	336.65
ľ	RUN:08H 130mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	414.46
ľ	RUN:08H 150mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	493.25
ľ	RUN:08H 170mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	572.75
ľ	RUN:08H 190mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	652.89
ľ	RUN:08H 210mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	733.29
ľ	RUN:08H 230mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	813.84
Ì	RUN:08H 250mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	894.80
ľ	RUN:08H 270mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	975.84
Ì	RUN:08H 290mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	1057.02
Ì	RUN:08H 310mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	1138.27
ĺ	RUN:12H 120mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	355.77
Ì	RUN:12H 140mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	430.15
ĺ	RUN:12H 160mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	505.27
ĺ	RUN:12H 180mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	581.05
ĺ	RUN:12H 200mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	657.10
ľ	RUN:12H 220mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	733.47
ĺ	RUN:12H 240mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	810.03
ľ	RUN:12H 260mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	886.80
ľ	RUN:12H 280mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	963.72
ľ	RUN:12H 300mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	1040.72
ľ	RUN:24H 150mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	407.13
ľ	RUN:24H 170mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	472.87
ľ	RUN:24H 190mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	538.93
Ì	RUN:24H 210mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	605.29
Ì	RUN:24H 230mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	671.86
ľ	RUN:24H 250mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	738.49
Ì	RUN:24H 270mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	805.33
Ì	RUN:24H 290mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	872.14
ļ	RUN:24H 310mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	938.97
ļ	RUN:24H 330mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	1005.82
ļ	RUN:24H 350mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	1072.66
ļ	RUN:24H 370mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υνοή	1139.58
ļ	RUN:24H 390mm	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υνρή	1206.49
ļ	RUN:HISTORICAL	Σενάριο1 CN=73.91 (-5%)	Υγρή	1068.11
1				

RUN:01H 040mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	41.17
RUN:01H 050mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	60.87
RUN:01H 060mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	83.20
RUN:01H 070mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	107.76
RUN:01H 080mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	134.26
RUN:01H 090mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	162.43
RUN:01H 100mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	192.06
RUN:01H 110mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	222.98
RUN:03H 070mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	105.53
RUN:03H 085mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	145.03
RUN:03H 100mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	187.97
RUN:03H 115mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	233.70
RUN:03H 130mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	281.72
RUN:03H 145mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	331.79
RUN:03H 160mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	383.41
RUN:03H 175mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	436.56
RUN:06H 080mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	126.23
RUN:06H 100mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	180.53
RUN:06H 120mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	239.73
RUN:06H 140mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	302.66
RUN:06H 160mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	368.75
RUN:06H 180mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	437.21
RUN:06H 200mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	507.64
RUN:06H 220mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	579.82
RUN:06H 240mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	653.27
RUN:08H 090mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	148.11
RUN:08H 110mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	203.54
RUN:08H 130mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	263.05
RUN:08H 150mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	325.86
RUN:08H 170mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	391.33
RUN:08H 190mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	459.09
RUN:08H 210mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	528.54
RUN:08H 230mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	599.36
RUN:08H 250mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	671.61
RUN:08H 270mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	744.84
RUN:08H 290mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	818.98
RUN:08H 310mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	893.87
RUN:12H 120mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	219.67
RUN:12H 140mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	277.67
RUN:12H 160mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	338.50
RUN:12H 180mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	401.72
RUN:12H 200mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	466.72
RUN:12H 220mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	533.32
RUN:12H 240mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	601.18
RUN:12H 260mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	670.20
RUN:12H 280mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	740.18

1		I.	1
RUN:12H 300mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	810.94
RUN:24H 150mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	266.26
RUN:24H 170mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	320.12
RUN:24H 190mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	375.77
RUN:24H 210mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	432.96
RUN:24H 230mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	491.58
RUN:24H 250mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	551.31
RUN:24H 270mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	612.06
RUN:24H 290mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	673.49
RUN:24H 310mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	735.54
RUN:24H 330mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	798.15
RUN:24H 350mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	861.21
RUN:24H 370mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	924.78
RUN:24H 390mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	988.71
RUN:HISTORICAL	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Ξηρή	845.23
RUN:01H 040mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	74.67
RUN:01H 050mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	105.82
RUN:01H 060mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	139.41
RUN:01H 070mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	174.87
RUN:01H 080mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	211.79
RUN:01H 090mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	249.88
RUN:01H 100mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	288.91
RUN:01H 110mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	328.71
RUN:03H 070mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	170.85
RUN:03H 085mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	225.25
RUN:03H 100mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	281.96
RUN:03H 115mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	340.29
RUN:03H 130mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	399.84
RUN:03H 145mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	460.48
RUN:03H 160mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	521.90
RUN:03H 175mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	584.19
RUN:06H 080mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	199.11
RUN:06H 100mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	271.44
RUN:06H 120mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	346.71
RUN:06H 140mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	423.90
RUN:06H 160mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	502.66
RUN:06H 180mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	582.39
RUN:06H 200mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	662.88
RUN:06H 220mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	744.09
RUN:06H 240mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	825.65
RUN:08H 090mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	228.25
RUN:08H 110mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	300.39
RUN:08H 130mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	374.71
RUN:08H 150mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	450.64
RUN:08H 170mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	527.78
RUN:08H 190mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	605.94

RUN:08H 210mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	684.66
RUN:08H 230mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	763.79
RUN:08H 250mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	843.53
RUN:08H 270mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	923.52
RUN:08H 290mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	1003.77
RUN:08H 310mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	1084.22
RUN:12H 120mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	319.37
RUN:12H 140mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	390.76
RUN:12H 160mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	463.43
RUN:12H 180mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	537.19
RUN:12H 200mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	611.56
RUN:12H 220mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	686.53
RUN:12H 240mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	761.88
RUN:12H 260mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	837.63
RUN:12H 280mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	913.68
RUN:12H 300mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	989.92
RUN:24H 150mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	371.26
RUN:24H 170mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	435.15
RUN:24H 190mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	499.73
RUN:24H 210mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	564.90
RUN:24H 230mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	630.49
RUN:24H 250mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	696.32
RUN:24H 270mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	762.52
RUN:24H 290mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	828.80
RUN:24H 310mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	895.19
RUN:24H 330mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	961.69
RUN:24H 350mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	1028.25
RUN:24H 370mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	1094.95
RUN:24H 390mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	1161.69
RUN:HISTORICAL	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Κανονική	1019.62
RUN:01H 040mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	112.01
RUN:01H 050mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	151.68
RUN:01H 060mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	192.73
RUN:01H 070mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	234.72
RUN:01H 080mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	277.39
RUN:01H 090mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	320.55
RUN:01H 100mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	364.09
RUN:01H 110mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	407.93
RUN:03H 070mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	228.66
RUN:03H 085mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	291.25
RUN:03H 100mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	354.83
RUN:03H 115mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	419.01
RUN:03H 130mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	483.59
RUN:03H 145mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	548.63
RUN:03H 160mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	613.79
RUN:03H 175mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	679.27

	I		
RUN:06H 080mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	260.27
RUN:06H 100mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	341.22
RUN:06H 120mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	423.28
RUN:06H 140mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	505.88
RUN:06H 160mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	589.05
RUN:06H 180mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	672.42
RUN:06H 200mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	755.96
RUN:06H 220mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	840.02
RUN:06H 240mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	924.05
RUN:08H 090mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	292.44
RUN:08H 110mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	372.00
RUN:08H 130mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	452.16
RUN:08H 150mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	532.78
RUN:08H 170mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	613.74
RUN:08H 190mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	695.05
RUN:08H 210mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	776.39
RUN:08H 230mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	857.73
RUN:08H 250mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	939.34
RUN:08H 270mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	1020.93
RUN:08H 290mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	1102.57
RUN:08H 310mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	1184.32
RUN:12H 120mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	390.66
RUN:12H 140mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	466.94
RUN:12H 160mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	543.55
RUN:12H 180mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	620.49
RUN:12H 200mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	697.47
RUN:12H 220mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	774.60
RUN:12H 240mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	851.76
RUN:12H 260mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	929.03
RUN:12H 280mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	1006.36
RUN:12H 300mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	1083.70
RUN:24H 150mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	439.83
RUN:24H 170mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	506.51
RUN:24H 190mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	573.27
RUN:24H 210mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	640.14
RUN:24H 230mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	707.08
RUN:24H 250mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	773.97
RUN:24H 270mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	840.99
RUN:24H 290mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	907.91
RUN:24H 310mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	974.80
RUN:24H 330mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	1041.68
RUN:24H 350mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	1108.51
RUN:24H 370mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	1175.40
RUN:24H 390mm	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	1242.25
RUN:HISTORICAL	Σενάριο2 CN=81.69 (+5%)	Υγρή	1108.89
RUN:01H 040mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	50.95

RUN:01H 050mm Σενάριο3 CN=85.36 (+10%) Ξηρή 100.56 RUN:01H 060mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 100.56 RUN:01H 070mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 128.95 RUN:01H 080mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 128.95 RUN:01H 090mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 191.06 RUN:01H 100mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 224.25 RUN:03H 070mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 126.20 RUN:03H 070mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 126.20 RUN:03H 085mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 126.20 RUN:03H 100mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 126.20 RUN:03H 100mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 129.30 RUN:03H 115mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 322.56 RUN:03H 145mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 322.56 RUN:03H 160mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 432.59 RUN:03H 175mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή
RUN:01H 000mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή100.30RUN:01H 070mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή128.95RUN:01H 080mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή199.06RUN:01H 090mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή191.06RUN:01H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή224.25RUN:01H 110mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή126.20RUN:03H 070mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή126.20RUN:03H 070mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή121.930RUN:03H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή219.30RUN:03H 115mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή269.93RUN:03H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή322.56RUN:03H 145mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 160mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 175mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή449.49RUN:06H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή149.71RUN:06H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 120mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 120mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:
RUN:01H 2ενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 1128.53 RUN:01H 080mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 199.06 RUN:01H 090mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 191.06 RUN:01H 100mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 224.25 RUN:01H 100mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 224.25 RUN:03H 070mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 126.20 RUN:03H 070mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 121.03 RUN:03H 100mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 219.30 RUN:03H 115mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 322.56 RUN:03H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 322.56 RUN:03H 145mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 432.59 RUN:06H Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 449.49 RUN:06H Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 149.71 RUN:06H R0mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)
RUN:01H 090mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή1135.22RUN:01H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή224.25RUN:01H 110mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή224.25RUN:03H 070mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή126.20RUN:03H 070mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή126.20RUN:03H 085mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή127.15RUN:03H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή219.30RUN:03H 115mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή222.56RUN:03H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή322.56RUN:03H 145mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 145mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 175mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή449.49RUN:06H 080mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή244.99RUN:06H 120mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή449.91RUN:06H 140mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 160mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 240mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 240mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:08H 110mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:
RUN:01H 050mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή191.00RUN:01H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή224.25RUN:03H 070mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή126.20RUN:03H 070mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή171.15RUN:03H 085mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή129.30RUN:03H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή219.30RUN:03H 115mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή222.56RUN:03H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή322.56RUN:03H 145mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 145mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 160mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή449.49RUN:03H 175mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 080mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή449.91RUN:06H 140mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή449.95RUN:06H 140mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 160mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή644.05RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 220mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 240mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:08H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:08H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:0
RUN:011 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή224.23RUN:03H 070mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή258.59RUN:03H 070mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή126.20RUN:03H 085mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή129.30RUN:03H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή219.30RUN:03H 115mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή222.56RUN:03H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή322.56RUN:03H 145mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή376.95RUN:03H 145mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 160mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή449.49RUN:03H 175mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή149.71RUN:06H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή344.99RUN:06H 140mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 160mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 180mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 220mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 220mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 240mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:08H 110mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή74.36RUN:08H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08
RUN:011 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή126.20RUN:03H 085mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή171.15RUN:03H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή219.30RUN:03H 115mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή269.93RUN:03H 115mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή322.56RUN:03H 145mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή376.95RUN:03H 145mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 160mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 175mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή449.49RUN:06H 080mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 120mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή344.99RUN:06H 140mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 180mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 180mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 220mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 240mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:08H 110mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή736.21RUN:08H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 150mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 170mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:0
RUN:03H 085mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή171.15RUN:03H 100mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή219.30RUN:03H 115mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή269.93RUN:03H 115mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή322.56RUN:03H 130mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή322.56RUN:03H 145mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 160mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 175mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή449.49RUN:06H 080mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή149.71RUN:06H 100mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 120mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 120mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 140mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 160mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 180mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 200mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 200mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 240mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή174.36RUN:08H 110mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 130mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 150mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή369.82RUN:08H 170mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή369.82RUN:0
RUN:03H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή11113RUN:03H 1100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή219.30RUN:03H 115mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή269.93RUN:03H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή322.56RUN:03H 145mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή376.95RUN:03H 145mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 160mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 175mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή449.49RUN:06H 080mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 120mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 140mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 160mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 180mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:08H 090mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή236.21RUN:08H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή369.82RUN:08H 170mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή369.82RUN:08H 170mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή440.22
RUN:03H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή213.30RUN:03H 115mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή269.93RUN:03H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή322.56RUN:03H 145mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή376.95RUN:03H 160mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 175mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή489.49RUN:06H 080mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή149.71RUN:06H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 120mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή276.29RUN:06H 140mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 160mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 180mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 240mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:08H 110mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 150mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 170mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή369.82RUN:08H 170mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή369.82RUN:08H 170mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή369.82RUN:0
RUN:03H 113mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή203.33RUN:03H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή322.56RUN:03H 145mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή376.95RUN:03H 160mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 175mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:06H 080mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή449.49RUN:06H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 120mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή276.29RUN:06H 140mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή344.99RUN:06H 140mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 180mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 180mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 220mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 240mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:08H 110mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 150mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 170mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή369.82RUN:08H 170mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή440.22
RUN:03H 130HmΣενάρι03 CN=85.38 (+10%)Ξηρή322.30RUN:03H 145mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή376.95RUN:03H 160mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 175mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή489.49RUN:06H 080mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή149.71RUN:06H 100mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 120mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή276.29RUN:06H 140mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή344.99RUN:06H 160mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 160mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 180mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 200mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 220mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 240mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:08H 100mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 130mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 130mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 150mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή369.82RUN:08H 170mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή440.22
RUN:03H 143HmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή370.53RUN:03H 160mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.59RUN:03H 175mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή489.49RUN:06H 080mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή149.71RUN:06H 100mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 120mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή276.29RUN:06H 140mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή344.99RUN:06H 160mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή416.35RUN:06H 160mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή446.35RUN:06H 180mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 200mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 220mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 240mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:08H 110mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 130mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 150mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 170mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 170mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή369.82RUN:08H 170mmΣενάρι03 CN=85.58 (+10%)Ξηρή440.22
RUN:03H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή432.33RUN:03H 175mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή489.49RUN:06H 080mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή149.71RUN:06H 100mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή210.79RUN:06H 120mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή276.29RUN:06H 140mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή344.99RUN:06H 160mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή416.35RUN:06H 180mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή489.61RUN:06H 200mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 220mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή640.58RUN:06H 240mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή717.66RUN:06H 240mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή174.36RUN:08H 110mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή301.62RUN:08H 130mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή369.82RUN:08H 170mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή369.82RUN:08H 170mmΣενάριο3 CN=85.58 (+10%)Ξηρή344.22
RUN:06H 175mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 149.71 RUN:06H 080mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 149.71 RUN:06H 100mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 210.79 RUN:06H 120mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 276.29 RUN:06H 140mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 344.99 RUN:06H 160mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 416.35 RUN:06H 180mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 489.61 RUN:06H 200mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 640.58 RUN:06H 220mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 640.58 RUN:06H 240mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:08H 090mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 174.36 RUN:08H 110mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 236.21 RUN:08H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 301.62 RUN:08H 150mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή
RUN:06H 080mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 149.71 RUN:06H 100mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 210.79 RUN:06H 120mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 276.29 RUN:06H 140mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 344.99 RUN:06H 160mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 416.35 RUN:06H 180mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 489.61 RUN:06H 200mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 640.58 RUN:06H 220mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 640.58 RUN:06H 240mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:08H 090mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:08H 110mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 236.21 RUN:08H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 301.62 RUN:08H 150mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 440.22
RUN:06H 100mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 210.73 RUN:06H 120mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 276.29 RUN:06H 140mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 344.99 RUN:06H 160mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 416.35 RUN:06H 160mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 489.61 RUN:06H 180mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 640.58 RUN:06H 200mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 640.58 RUN:06H 220mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:06H 240mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:08H 090mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 174.36 RUN:08H 110mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 301.62 RUN:08H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 150mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 440.22
RUN:06H 120mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 244.99 RUN:06H 140mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 344.99 RUN:06H 160mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 416.35 RUN:06H 180mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 489.61 RUN:06H 200mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 640.58 RUN:06H 220mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 640.58 RUN:06H 240mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:06H 240mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:08H 090mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 174.36 RUN:08H 110mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 301.62 RUN:08H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 150mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 440.22
RUN:06H 140mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 344.33 RUN:06H 160mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 416.35 RUN:06H 180mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 489.61 RUN:06H 200mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 640.58 RUN:06H 220mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 640.58 RUN:06H 240mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:06H 240mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:08H 090mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 174.36 RUN:08H 110mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 236.21 RUN:08H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 301.62 RUN:08H 150mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 440.22
RUN:06H 160mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 410.35 RUN:06H 180mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 489.61 RUN:06H 200mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 564.40 RUN:06H 220mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 640.58 RUN:06H 240mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:06H 240mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 174.36 RUN:08H 090mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 174.36 RUN:08H 110mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 236.21 RUN:08H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 301.62 RUN:08H 150mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 440.22
RUN:06H 200mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 455.51 RUN:06H 200mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 564.40 RUN:06H 220mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 640.58 RUN:06H 240mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:08H 090mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 174.36 RUN:08H 110mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 236.21 RUN:08H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 301.62 RUN:08H 150mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 440.22
RUN:06H 220mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 564.40 RUN:06H 220mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 640.58 RUN:06H 240mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:08H 090mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 174.36 RUN:08H 110mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 236.21 RUN:08H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 301.62 RUN:08H 150mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 440.22
RUN:06H 220mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:08H 090mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 717.66 RUN:08H 090mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 174.36 RUN:08H 110mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 236.21 RUN:08H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 301.62 RUN:08H 150mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 440.22
RUN:08H 090mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 174.36 RUN:08H 110mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 174.36 RUN:08H 110mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 236.21 RUN:08H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 301.62 RUN:08H 150mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 440.22
RUN:08H 110mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 236.21 RUN:08H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 301.62 RUN:08H 150mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 440.22
RUN:08H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 250.21 RUN:08H 130mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 301.62 RUN:08H 150mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 440.22
RUN:08H 150mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 369.82 RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 440.22
RUN:08H 170mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 440.22
RUN:08H 190mm Σενάριο3 CN=85 58 (+10%) Ξηρή 512.46
RUN:08H 210mm Σενάριο3 CN=85 58 (+10%) Ξηρή 585 99
RUN:08H 230mm Σενάριο3 CN=85 58 (+10%) Ξηρή 565.55
RUN:08H 250mm Σενάριο3 CN=85 58 (+10%) Ξηρή 300052
RUN:08H 270mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 812.51
RUN:08H 290mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 889.50
BUN:08H 310mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 967.02
BUN:12H 120mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 253.67
RUN:12H 140mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 317.10
BUN:12H 160mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 382.87
RUN:12H 180mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 450.60
RUN:12H 200mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 519.71
RUN:12H 220mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 510/1
RUN:12H 240mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 661 30
BUN:12H 260mm Σεγάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 501.30 RUN:12H 260mm Σεγάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 733.42
RUN:12H 280mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 905.42
RUN:12H 300mm Σενάριο3 CN=85.58 (+10%) Ξηρή 879.60

RUN:24H 150mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	302.94
RUN:24H 170mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	361.00
RUN:24H 190mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	420.66
RUN:24H 210mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	481.56
RUN:24H 230mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	543.43
RUN:24H 250mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	606.03
RUN:24H 270mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	669.39
RUN:24H 290mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	733.19
RUN:24H 310mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	797.39
RUN:24H 330mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	861.97
RUN:24H 350mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	926.83
RUN:24H 370mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	992.03
RUN:24H 390mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	1057.46
RUN:HISTORICAL	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Ξηρή	912.79
RUN:01H 040mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	87.48
RUN:01H 050mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	122.02
RUN:01H 060mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	158.69
RUN:01H 070mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	196.92
RUN:01H 080mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	236.33
RUN:01H 090mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	276.66
RUN:01H 100mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	317.72
RUN:01H 110mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	359.36
RUN:03H 070mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	192.20
RUN:03H 085mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	250.07
RUN:03H 100mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	309.73
RUN:03H 115mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	370.59
RUN:03H 130mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	432.59
RUN:03H 145mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	495.42
RUN:03H 160mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	558.69
RUN:03H 175mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	622.53
RUN:06H 080mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	222.09
RUN:06H 100mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	298.32
RUN:06H 120mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	376.76
RUN:06H 140mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	456.54
RUN:06H 160mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	537.45
RUN:06H 180mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	619.00
RUN:06H 200mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	701.01
RUN:06H 220mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	783.54
RUN:06H 240mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	866.22
RUN:08H 090mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	252.70
RUN:08H 110mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	328.27
RUN:08H 130mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	405.38
RUN:08H 150mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	483.60
RUN:08H 170mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	562.64
RUN:08H 190mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	642.40
RUN:08H 210mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	722.47

RUN:08H 230mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	802.75
RUN:08H 250mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	883.49
RUN:08H 270mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	964.34
RUN:08H 290mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	1045.34
RUN:08H 310mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	1126.45
RUN:12H 120mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	347.42
RUN:12H 140mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	421.20
RUN:12H 160mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	495.84
RUN:12H 180mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	571.23
RUN:12H 200mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	646.96
RUN:12H 220mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	723.08
RUN:12H 240mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	799.41
RUN:12H 260mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	876.00
RUN:12H 280mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	952.76
RUN:12H 300mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	1029.63
RUN:24H 150mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	399.04
RUN:24H 170mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	464.44
RUN:24H 190mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	530.23
RUN:24H 210mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	596.38
RUN:24H 230mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	662.78
RUN:24H 250mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	729.28
RUN:24H 270mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	796.02
RUN:24H 290mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	862.75
RUN:24H 310mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	929.52
RUN:24H 330mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	996.32
RUN:24H 350mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	1063.12
RUN:24H 370mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	1130.02
RUN:24H 390mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	1196.92
RUN:HISTORICAL	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Κανονική	1057.56
RUN:01H 040mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	123.81
RUN:01H 050mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	165.34
RUN:01H 060mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	207.89
RUN:01H 070mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	251.11
RUN:01H 080mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	294.80
RUN:01H 090mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	338.83
RUN:01H 100mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	383.11
RUN:01H 110mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	427.58
RUN:03H 070mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	244.68
RUN:03H 085mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	308.68
RUN:03H 100mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	373.36
RUN:03H 115mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	438.41
RUN:03H 130mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	503.70
RUN:03H 145mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	569.33
RUN:03H 160mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	634.98
RUN:03H 175mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	7 <mark>00.87</mark>
RUN:06H 080mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	276.29

RUN:06H 100mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	358.59
RUN:06H 120mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	441.61
RUN:06H 140mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	524.93
RUN:06H 160mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	608.79
RUN:06H 180mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	692.88
RUN:06H 200mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	777.04
RUN:06H 220mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	861.40
RUN:06H 240mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	945.68
RUN:08H 090mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	308.76
RUN:08H 110mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	389.40
RUN:08H 130mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	470.33
RUN:08H 150mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	551.53
RUN:08H 170mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	632.92
RUN:08H 190mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	714.56
RUN:08H 210mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	796.17
RUN:08H 230mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	877.75
RUN:08H 250mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	959.74
RUN:08H 270mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	1041.68
RUN:08H 290mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	1123.64
RUN:08H 310mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	1205.60
RUN:12H 120mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	407.56
RUN:12H 140mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	484.43
RUN:12H 160mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	561.46
RUN:12H 180mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	638.72
RUN:12H 200mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	715.94
RUN:12H 220mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	793.25
RUN:12H 240mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	870.55
RUN:12H 260mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	947.92
RUN:12H 280mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	1025.33
RUN:12H 300mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	1102.74
RUN:24H 150mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	454.94
RUN:24H 170mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	521.80
RUN:24H 190mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	588.67
RUN:24H 210mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	655.58
RUN:24H 230mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	722.53
RUN:24H 250mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	789.41
RUN:24H 270mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	856.39
RUN:24H 290mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	923.26
RUN:24H 310mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	990.10
RUN:24H 330mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	1056.91
RUN:24H 350mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	1123.66
RUN:24H 370mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	1190.47
RUN:24H 390mm	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	1257.25
RUN:HISTORICAL	Σενάριο3 CN=85.58 (+10%)	Υγρή	1126.96

Κωδικός	Περιγραφή	Τιμή
111	Συνεχής αστική οικοδόμηση	0.2
112	Διεκεκομμένη αστική οικοδόμηση	0.02
121	Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες	0.2
122	Οδικά, σιδηροδρομικά δίκτυα και γειτνιάζουσα γη	0.02
123	Ζώνες λιμένων	0.05
124	Αεροδρόμια	0.05
131	Χώροι εξόρυξης ορυκτών	0.12
133	Χώροι οικοδόμης	0.12
142	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	0.07
211	Μη αρδεύσιμη - αρόσιμη γη	0.04
212	Μόνιμα αρδευόμενη γη	0.04
221	Αμπελώνες	0.1
222	Οπωροφόρα δέντρα	0.15
223	Ελαιώνες	0.15
231	Λιβάδια	0.04
242	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	0.05
243	Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	0.12
311	Δάσος πλατύφυλλων	0.12
312	Δάσος κωνοφόρων	0.2
321	Φυσικοί βοσκότοποι	0.03
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.09
324	Μεταβατικές δασώδεις - θαμνώδεις εκτάσεις	0.09
331	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	0.05
332	Απογυμνωμένοι βράχοι	0.05
333	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	0.05
334	Αποτεφρωμένες εκτάσεις	0.03
512	Συλλογές υδάτων	0.03
523	Θάλασσα	0.03

13.5. Πίνακας Π-4 Τιμές συντελεστή Manning για τον εκάστοτε κωδικό χρήσης γης