



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**ΔΙΕΥΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΠΛΗΡΟΥΣ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ
ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΕ ΥΔΑΤΟΡΕΜΑΤΑ ΤΗΣ ΚΥΠΡΟΥ
ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ HEC-RAS**

Γεωργία Σιακάρα

**Επιβλέπων: Ευάγγελος Μπαλτάς,
Καθηγητής Ε.Μ.Π**

Αθήνα, Ιούλιος 2024

Copyright ©

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, 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 τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αναφέρεται επίσης πως τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ανήκουν στο Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου, ΤΑΥ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ευάγγελο Μπαλτά, Καθηγητή της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π για την καθοδήγηση και την μετάδοση των γνώσεων του καθ' όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων και ιδιαίτερα για την πολύτιμη βοήθεια του στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κώστα Αριστείδου, Υδρολόγο της Υπηρεσίας Υδρολογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου, Συντονιστή του 2^{ου} Κύκλου Εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ, για την παροχή των δεδομένων και την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Νικόλαο Γουργουλέτη, Υποψήφιο Διδάκτορα της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π για την αδιάκοπη βοήθεια και υποστήριξη που μου παρείχε.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που ήταν πάντα εκεί να με βοηθήσουν, να με εμπυχώσουν και να κάνουν τα φοιτητικά χρόνια αξέχαστα, την οικογένεια και τους φίλους μου.

Περίληψη

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας διερευνάται η προσομοίωση του πλημμυρικού πεδίου σε μοντέλο πλήρους δισδιάστατης ανάλυσης, συγκριτικά με τη συνδυασμένη (1D/2D) προσομοίωση, στο υδραυλικό λογισμικό HEC-RAS. Η έγκαιρη και έγκυρη προειδοποίηση πλημμύρας αποτελεί κρίσιμο ζήτημα προς επίλυση της εποχής μας λόγω των έντονων καιρικών φαινομένων που έχουν καταγραφεί τα τελευταία έτη. Στον Ευρωπαϊκό χώρο τα κράτη μέλη οφείλουν να εναρμονιστούν με την Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας.

Κατά την υλοποίηση του 2^{ου} Κύκλου εφαρμογής του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας της Οδηγίας στην Κύπρο καταρτίστηκαν υδραυλικά μοντέλα συνδυασμένης ανάλυσης τα οποία παραδόθηκαν στο Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων Κύπρου, ως Αναθέτουσα Αρχή του Έργου. Σκοπός αυτής της μελέτης ήταν η παραγωγή Χαρτών Επικινδυνότητας Πλημμύρας (ΧΕΠ) και Χαρτών Κινδύνων Πλημμύρας (ΧΚΠ) για τις αναθεωρημένες Περιοχές Δυνητικού Σοβαρού Κινδύνου Πλημμύρας, η αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (ΣΔΚΠ) και η εκπόνηση Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για το ΣΔΚΠ.

Τα μοντέλα αυτά αποτελέσαν μέτρο σύγκρισης για την παρούσα διπλωματική εργασία και απεστάλησαν από το ΤΑΥ. Στα πλαίσια της προαναφερθείσας εφαρμογής, αναγνωρίστηκαν 19 νέες Περιοχές Δυνητικού Σοβαρού Κινδύνου Πλημμύρας, ΠΔΣΚΠ. Στην παρούσα διπλωματική μελετήθηκαν οι ΠΔΣΚΠ 21-22 (Ποταμοί Βασιλικός στην Καλαβασό και Ποταμός της Ασγάτας) και ΠΔΣΚΠ 29 (Ποταμοί Βυζακωτός και Καλόγερος). Η επιλογή των συγκεκριμένων περιοχών έγινε ως αντιπροσωπευτικό δείγμα για την δοκιμή της πλήρους δισδιάστατης προσομοίωσης τόσο σε συνθήκες εντός του αστικού ιστού όσο και εκτός αυτού.

Η κατάρτιση των δυο μοντέλων που εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό υδραυλικής προσομοίωσης HEC-RAS, Έκδοση 6.3.1. Επιπλέον εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό την παρουσίαση – σύγκριση των Χαρτών που αποτυπώνουν το πλημμυρικό πεδίο ήταν το πρόγραμμα γεωχωρικών πληροφοριών Quantum Geographic Information System (QGIS), Έκδοση 3.30.

Μέτρο σύγκρισης των δυο διαφορετικών τρόπων κατάρτισης μοντέλου ήταν η μορφή του πλημμυρικού πεδίου, τα βάθη ροής, οι ταχύτητες ροής και τέλος τα υδρογραφήματα εξόδου. Έπειτα από διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε στα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, φάνηκε πως τα αποτελέσματα της δισδιάστατης προσομοίωσης έχουν ασήμαντη απόκλιση από αυτά της συνδυασμένης μεθόδου.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε συνοψίζεται στα ακόλουθα βήματα:

- Συγκέντρωση των δεδομένων όπως, το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, οι αποτυπώσεις των τεχνικών έργων, τα υδρογραφήματα εισόδου, οι Τεχνικές Εκθέσεις, το Layer των Manning και τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων

- Κατάρτιση των πλήρους δισδιάστατων μοντέλων στο λογισμικό HEC-RAS, για τις ΠΔΣΚΠ 21-22 και 29, συνολικής έκτασης των λεκανών απορροής τους 131,81 km² και 58,99 km² αντίστοιχα
- Εισαγωγή των υδρογραφημάτων εισόδου και πραγματοποίηση υδραυλικών υπολογισμών για τρεις περιόδους επαναφοράς T=20, T=100 και T=500 έτη
- Σύγκριση των αποτελεσμάτων όπως πλημμυρικό πεδίο, βάθη και ταχύτητες ροής αλλά και των υδρογραφημάτων εξόδου
- Εξαγωγή χαρτών αποτύπωσης του πλημμυρικού πεδίου για κάθε περίοδο επαναφοράς

Συμπερασματικά, η πλήρης δισδιάστατη μέθοδος αναπαριστά σε πολύ καλό βαθμό το πλημμυρικό πεδίο. Κύριο προτέρημα της μεθόδου αυτής, είναι η εύκολη και μη χρονοβόρα διαδικασία κατάρτισης του μοντέλου.

Abstract

Floods are among the most widespread and recurrent natural disasters globally. In the European region, climate change leads to an increase in the incidence and intensity of flooding. For effective management of the phenomenon, European Union instituted the Directive 2007/60/EC for assessment and management of flood risks in order to reduce the negative consequences of flooding on human health, economic activities, the environment and cultural heritage. Cyprus, as a member of the European Union had to comply with the provisions of the Directive. Within the 2nd Implementation of the directive, combined 1D/2D hydraulic models were conducted. These data served as a benchmark for the present research, in which the difference in inundated area, depths and simulation time are investigated using a full 2D hydraulic simulation. The present research examines two Areas of Potential Significant Flood Risk, one in an urban and one in a rural area. Overall, the proposed 2D methodology was found representing inundated areas to a good extent with almost zero deviation in comparison to the 1D/2D method. The study demonstrated the adequacy of the 2D hydraulic simulation method which offers greater flexibility in modeling a variety of hydraulic scenarios, enabling planning and flood risk management that is vital for protecting communities, infrastructure and the environment from the devastating impacts of floods.

Extended Abstract

Introduction

Flooding is a recurrent natural phenomenon characterized by the temporary inundation of land not typically submerged by water (EUR-Lex, 2007). Floods rank among the most recurrent and widespread natural disasters globally (Farsangi, 2021), constituting 44% of all disaster occurrences between 2000 and 2019 resulted in loss of 1.23 million lives, affecting 4.2 billion people and led to economic losses estimated US\$2.97 trillion worldwide (UNDRR, 2019). In the Mediterranean region, a cyclone named 'Medicane Daniel' caused floods in Greece and neighboring countries, resulting in economic losses reaching US \$17 billion in Europe (UNDRR, 2023).

Southern Europe and the Mediterranean region are at high vulnerability from climate change impacts (Chenoweth et al., 2011a; Tabari, 2020a; Trambly et al., 2023a), suffering from temperature increases, considerable reductions in rainfall and water runoff, and extreme events (e.g. flash floods and heatwaves) (Chenoweth et al., 2011a; EEA, 2010a; Sesana et al., 2020). These changes manifest in various forms, including increased intensity and frequency of rainfall events, leading to heightened flood risk (Alfieri et al., 2017). Moreover, sea-level rise exacerbates coastal flooding, posing additional challenges to vulnerable coastal communities (Vousdoukas et al., 2018). However, effective adaptation strategies require a comprehensive understanding of the complex interactions between climate change, land use patterns, and hydrological processes (Tabari, 2020a; EEA, 2010a; Raymond et al., 2020). In the hydraulic simulation process, another critical parameter is the selection of the appropriate time series analysis method that should be based on the geomorphological characteristics of the area under consideration (Anghel & Ilinca, 2023; Ilinca & Anghel, 2022).

Especially, Cyprus, an island located in eastern Mediterranean basin experiences a temperate climate with scorching, arid summers, and according to the Köppen–Geiger classification system, a portion of the island is deemed hot and arid (Peel et al., 2007; Zittis et al., 2017). A study spanning up to the year 2030 indicates that the annual cost of water scarcity in the domestic and industrial sectors could reach up to 88 million euros. From this amount, 16-32 million euros would constitute additional costs due to reduced water availability attributed to climate change (Zachariadis, 2010a).

To manage and monitor floods within urban areas, the European Commission implemented the Flood Directive 2007/60/EC. This framework primarily aims to mitigate the adverse impacts of floods on the environment, human health, cultural heritage, and economic activities closely tied to society (Raymond et al., 2020; Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment Hazard Specific Risk Assessment 4. Flood Hazard and Risk Assessment, n.d.). Member states of the European Union were required to establish River Basin Flood Risk Management Plans, which identify vulnerable areas while considering long-term developments and future flood occurrences. The primary objective of flood risk assessment at the national level is the creation of flood hazard maps (Mudashiru et al., 2021; Rincón et al., 2018). These maps depict flood extent, depth, flow speed, and probability. Furthermore, flood risk maps evaluate potential adverse consequences for the economic activity of the region and for potentially affected residents (EUR-Lex, 2007).

Cyprus, as a member of the European union has achieved full compliance with the provisions of Directive 2007/60. Moreover, Cyprus harmonized with the provisions of the Directive by transposing them into Cypriot law (Delipetrou et al., 2008a). Specifically, it enacted the laws of 2010 and 2012 (WDD (TAY), 2023). The legislation enacted in July 2010 designates the Tax Department as the Competent Authority for the implementation of the directive and the Ministry of Interior as the Coordinating Authority. Specifically, Cyprus has already completed the 2nd implementation Cycle of the Directive that is in force until 2027 (WDD (TAY), 2023).

Flood warning and forecasting systems play a major role in flood risk management. Specifically, the evaluation of flood hazard achieved by inundation mapping and identification of flood risk regions (Mihu-Pintilie et al., 2019; Patel et al., 2017; Shustikova et al., 2019). Flood inundation modeling plays a crucial role in generating spatial distribution data pertaining to inundation patterns, including water depth and flow velocity. This information can provide insights into the severity of the hazard, potential risks to public safety, and potential financial implications (Raymond et al., 2020; Kim et al., 2019; Papaioannou et al., 2018a; Peña & Nardi, 2018; Psomiadis et al., 2021). Appropriate and effective tools for flood inundation modelling and mapping assist with flood risk assessment. Primarily, these requirements have been evaluated through the utilization of one-dimensional (1D) and two-dimensional (2D) hydraulic models (e.g. Costabile & Macchione, 2015; Papaioannou et al., 2016). Hydraulic simulation, through advanced modeling techniques, offers a valuable tool for assessing and mitigating flood risks, particularly in the context of emergency preparedness. The integration of hydraulic simulation into emergency management frameworks enables authorities to anticipate and respond effectively to flood events, thus minimizing the potential impact on communities and infrastructure. By simulating various

scenarios, policymakers can identify vulnerable areas, evaluate evacuation routes, and develop targeted response strategies. Moreover, hydraulic simulation facilitates the testing and optimization of flood protection measures, enhancing the resilience of communities to future disasters.

This research presents a practical framework for mapping flood inundation in ungauged urban areas, tailored for the context of the EU Floods Directive's 2nd implementation in Cyprus. The framework's efficacy is demonstrated in Larnaca and Nicosia, regions prone to frequent flooding from intense storms. The comparison between different hydraulic simulation methods enhances our ability to accurately estimate and delineate flood-prone areas, assess the uncertainty inherent in flood mapping, offer guidance to flood management professionals, and inform the development of protective measures and policies safeguarding human life, property, and economic assets.

Materials and Methods

Study Areas

The research's study area consists of two Areas of Potential Significant Flood Risk (APSFR), that are specified from the 2nd implementation of Floods Directive in Cyprus. The abovementioned areas are two river-systems, Vasilikos – Asgatas and Vyzakotos – Kalogeros located in the region of Cyprus (Figure 1) .

Vasilikos – Asgatas watershed with codename APSFR 21-22 belongs to the districts of Larnaca and Limassol, the area of each part is 114.9 km² and 16.82 km². Vasilikos river has a length of 2.51 km and a longitudinal slope of 1.4% with southeast movement. Asgatas river junctions Vasilikos river from the west, upstream of Kalavasos settlement. River, located in APSFR 22 characterized by a length of 0.43 km, 1.9% slope and intensive vegetation (WDD (TAY), 2023).

The predominant soil in the catchment area of APSFR 21-22 is characterized by a high potential for surface runoff mainly in the upstream part. The soils are shallow (< 50 cm), gravelly or clayey over impermeable rock. A characteristic feature of these soils is the unfavorable saturation conditions in the event of flooding events due to the composition of the subsoil which does not facilitate subsidence. Hydrographic network characterized as dense, dendritic with numerous streams and brooks forming small gorges moving through deep valleys (Delipetrou et al., 2008a; Zittis et al., 2020a). Primary flooding mechanisms include the natural overflow of the river and the obstruction of bridges by debris. Additionally, the overflow of the Kalavasos Dam, situated upstream of APSFR 21, may contribute to flooding under extreme return period events. Also, significant flooding problems have been reported at the confluence of APSFR 21 and APSFR 22. Locations reported for flooding incidents are shown in Depth Maps.

The second river-system, Vyzakotos-Kalogeros, with codename APSFR 29, located in district of Limassol, occupies a catchment area of 58.99 km², a length of 10.85 km and a 0.8% along slope (WDD (TAY), 2023).

The catchment area of APSFR 29 consists mainly of residential, industrial and commercial land. The geological composition of the soils in the area is mainly clayey and loamy. The soils are mostly of moderate depth (50-100 cm) with some areas of shallow (<50 cm) and deep (>100 cm) soils. From a geological point of view, the basin has no stable permeability, in the upstream part it is characterized as low to relatively low, while in the downstream part it is characterized as medium. Hydrographic network is characterized dendritic with a high density of streams and water sources (WDD (TAY), 2023). According to Cypriot authorities, flooding problems in the study area occur during normal return periods. Additionally, a flood-prone river section located to the southeast of the University of Cyprus sports facilities (Location Number 1). Locations where flooding incidents have been reported are presented in Depth Maps.

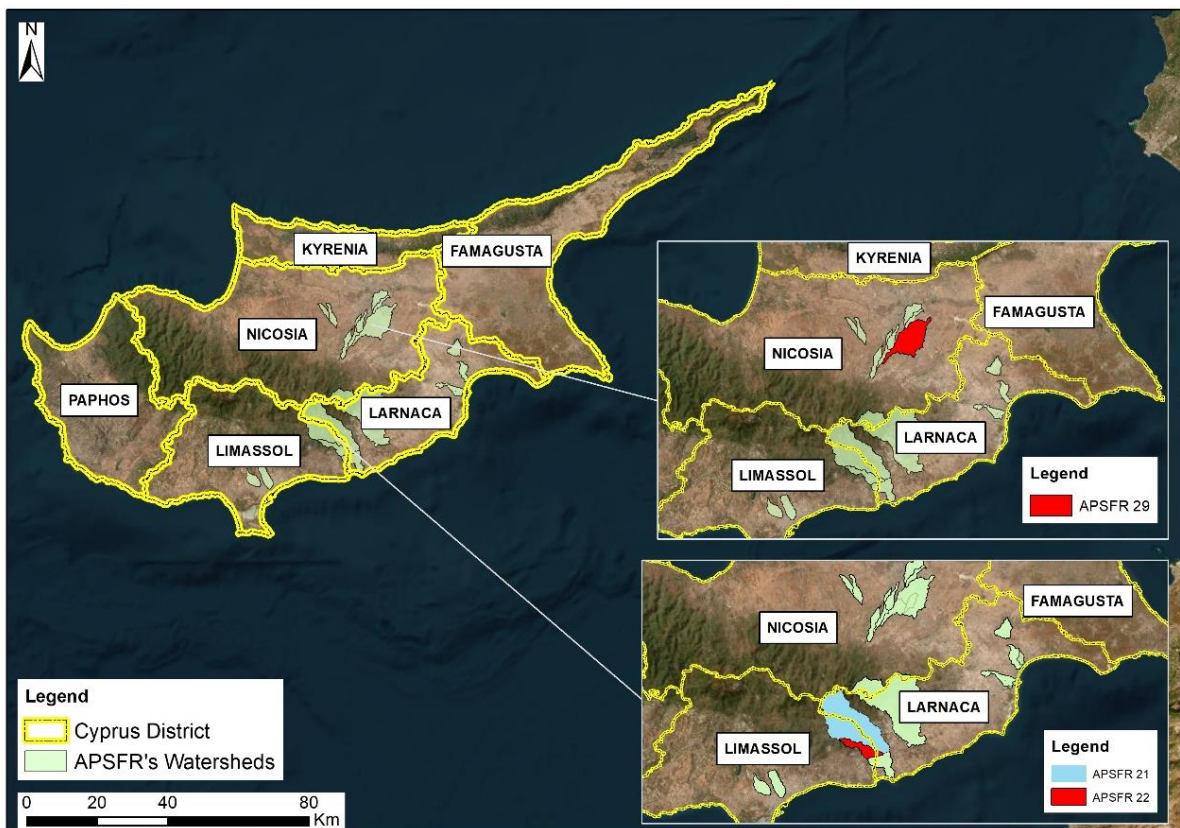


Figure 1. Study Watersheds based on 2nd Implementation of Directive 2007/60

Data Used

For the purposes of this research, Cyprus Water Development Department provided combined 1D/2D hydraulic simulation models that have been developed for the requirements of the 2nd Implementation Cycle of Directive 2007/60. Preliminary flood assessment identified 19 additional APSFR (38 in total, including 19 APSFR existing from the 1st Implementation) (WDD (TAY), 2023). Hydraulic simulation for those areas was carried out using the HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) software, in combined 1D/2D simulation. This software was also used in the 1st Implementation Cycle.

Manning and Land Uses

The coefficient of roughness or Manning number expresses the losses due to friction along the water flow (Robert Manning, 1889) through the following equation (1):

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) A R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S} \quad (1)$$

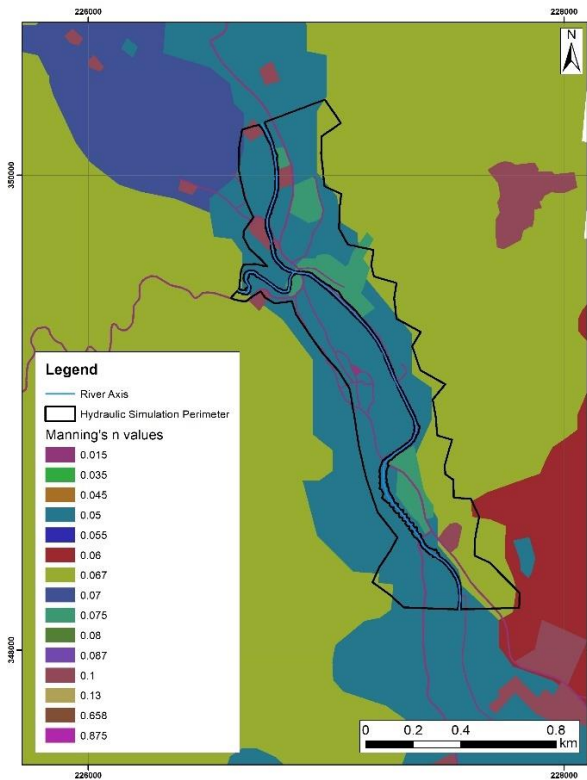
where, Q is the flow rate (m³/s), A is the surface (m²) n is the Manning number, R is hydraulic radius (m) and S is the flow gradient (m/m).

The values of the Manning number in two-dimensional analysis depend on the respective land use and are equal to or higher than the values of the one-dimensional in order to represent the higher energy losses of the flow outside the main channel. Thus, Manning coefficients were determined based on land uses (WDD (TAY), 2023) (for detail, see Table 1):

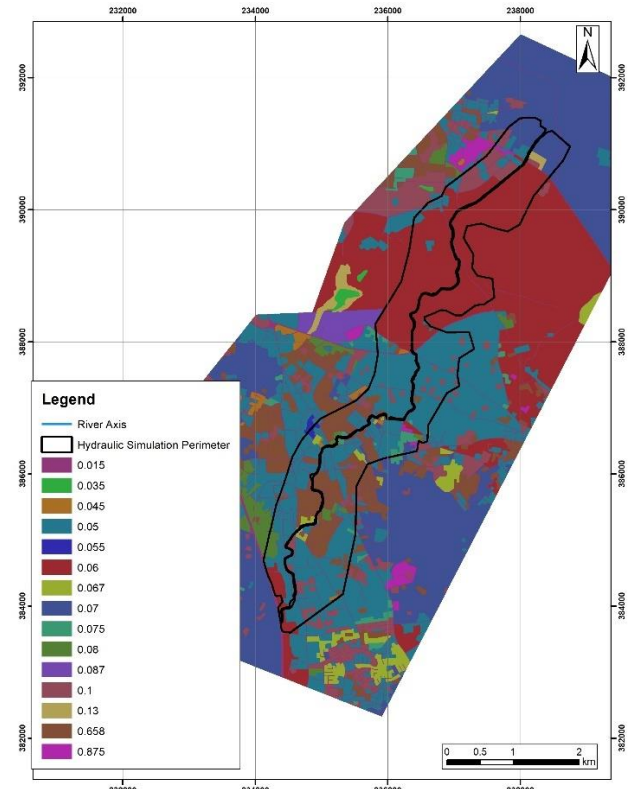
Table 1. Manning values have been used in hydraulic simulation

| Land Use | Manning Coefficient |
|---|---------------------|
| Sclerophyllous vegetation | 0.067 |
| Complex cultivation with scattered crops | 0.050 |
| Discontinuous urban fabric | 0.066 |
| Roads | 0.015 |
| Discontinuous, low density urban fabric | 0.088 |
| Discontinuous, very low-density urban fabric | 0.100 |
| Non-irrigated arable land | 0.070 |
| Isolated structures | 0.100 |
| Industrial, public, commercial, military and private uses | 0.050 |
| Agricultural land with natural vegetation | 0.060 |

Manning values are inserted in hydraulic models as a shapefile from HEC-RAS Mapper, and same-valued polygons are created, where each of which represents a specific Manning value. Manning values assumed for the purposes of the study are presented in the following Figure Figure 2 for APSFR 21-22 and 29, respectively.



(a)



(b)

Figure 2. (a); Manning's n values for APSFR 21-22, (b); Manning's n values for APSFR 29

DEM

Digital Elevation or Terrain Model, is the representation of the earth's surface, referred to as geomorphometry (Hengl & Reuter, 2009; Wilson & Gallant, 2000). The digital terrain model depicts the ground elevations in very high definition of 1m × 1m and is provided by the Cyprus Cadastre. In general, it is a high-resolution model as it represents with sufficient accuracy the terrain topography in the examined area (WDD (TAY), 2023).

Structures

By accurately modeling the interaction between water flow and structures such as bridges, culverts, and weirs, hydraulic simulations provide critical insights into their performance and resilience under various flow conditions. This allows engineers to predict potential issues, such as scour, sediment deposition, and structural failure, enabling proactive design adjustments and maintenance planning. Furthermore, hydraulic simulations facilitate the optimization of structure placement and dimensions, ensuring minimal environmental impact and improved safety.

As for the hydraulic structures along the main river, there are 11 and 21 in each APSFR 21-22 and APSFR 29 respectively.

Hydrological data

Hydrological data have been received from Water Development Department of Cyprus and imported in hydraulic model as hydrographs. Hydrographs, representing the flow rate of water over time at a specific location, are introduced into HEC-RAS to simulate unsteady flow conditions. This is accomplished by defining boundary conditions at the model's inflow and outflow points. Hydrographs are being imported through the Boundary Conditions editor, selecting the appropriate river reach and cross-section locations. The hydrographs can be specified either as a time series of flow rates or water surface elevations, depending on the available data and the specific requirements of the simulation. The examined flood return periods are based on three hydrological scenarios: T=20 years, 100 years and 500 years. The abovementioned hydrological scenarios derive from the 2nd FRMP of Cyprus and the corresponding hydrographs used for the purposes of the present research are identical to those applied to the 1D/2D FRMP hydraulic simulation.

Methodology

For the hydraulic simulation, the free software HEC-RAS version 6.3.1 developed by the U.S. Army Corps of Engineers (U.S.A.C.E.) was used. It is a complete software system ideal for interactive use with a wide range of features and users. The software performs calculations under permanent and non-permanent flow conditions and enables simulation of water level and sediment transport and deposition. It consists of a graphical user interface and has the ability to store, manage and edit input and output data.

For the application of 2D modelling, the equations of continuity (mathematical expression of the mass conservation principle) and quantity of motion (mathematical expression of the conservation of momentum) are used. The Navier-Stokes equations describe the motion of fluids in three dimensions. Their integration yields equations suitable for shallow water.

To apply the equations to a flood risk study in two dimensions, appropriate considerations are made for shallow water (Shallow Water Equations). The assumptions made for the application of the equations (2) – (4) are presented below:

Preservation of mass:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \quad (2)$$

where, H(x,y,t) is the water level (m), t is time, u,v are the depth and q is the water flowrate (m³/s).

Conservation of Momentum:

Momentum in x-direction:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + vt \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f + fv \quad (3)$$

Momentum in y-direction:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + vt \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f + fu \quad (4)$$

where: u, v are the average velocities in x, y direction (m/s), g is gravitational acceleration (m/s²), c_f is the coefficient of the friction of the bottom (s⁻¹) and f (s⁻¹) is Coriolis parameter

Under certain circumstances, in shallow water flow, the Coriolis parameter, the transport and local acceleration and the viscosity are not taken into account. The equations of motion, in this case, are reduced to a two-dimensional form of the Diffusion Wave Approximation equations. Combining this equation with the mass conservation principle equation results in the Diffusion Wave Approximation of the Shallow Water (DSW) equations (5) and (6) are presented below:

$$-g \frac{\partial H}{\partial x} = c_f u \quad (5)$$

$$-g \frac{\partial H}{\partial y} = c_f v \quad (6)$$

To decrease computational time and avoid numerical instabilities, the HEC-RAS 2D unsteady flow Saint-Venant equations (shallow water equations) are frequently simplified with the diffusive wave approximation. However, these simplifications are only appropriate under specific flow conditions. For rivers affected by tides, it is recommended to use the complete momentum equations (WDD (TAY), 2023).

For the arrangement of the 2-D hydraulic models the following steps were followed:

1. Creating the Project.
2. Import the background from Ras Mapper as Terrain.
3. Creation of the Geometry performed by Ras Mapper.
4. Drawing of the main riverbed is captured as Breakline and represents the flow axis of the stream under study.
5. Design of the perimeter is carried out through the 2D Flow Areas -> Perimeter field which represents the floodplain - grid of the simulation i.e. the perimeter where the hydraulic calculations will be carried out.
6. Grid generation which contributes to the creation of the computational canvas and the selection of appropriate parameters to achieve optimal computational time. The selection of the dimensions of the canyon is based on the size of the area to be covered. In general, larger dimensions are preferred for larger areas in order to reduce the computational burden. The computational burden depends on the number of Computational Points to be created.

7. Input of structures is done in Ras Mapper from the SA/2D Connections layer. Incorporating structures into hydraulic simulations involves a systematic approach to accurately represent their impact on flow dynamics and flood behavior. This process starts with identifying and characterizing structures such as bridges, culverts, weirs, and dams based on their geometry, hydraulic properties, and operational conditions. These structures are then integrated into the hydraulic model, such as HEC-RAS, by placing them spatially within the model domain and specifying their attributes. The model calculates the structures' effects on flow characteristics, including velocity, water levels, and floodplain inundation extents. To adjust these structures the upstream and downstream DEM's elevations are corrected according to the actual upstream and downstream elevation of each structure. Afterwards, all the geometric features of each structure such as, weir height and length, number of barrels, openings etc., are assigned to the model. In this manner, the hydraulic model captures the discharge conveyed by each structure's hydraulic openings as well as the potential overflow.
8. Import Manning values as a shapefile.
9. Import of Boundary Conditions their design is done through the Boundary Conditions layer. They are introduced either as a uniform flow along the stream flow for the streams covered by the sub-basin, or as an inflow upstream of the stream from an upstream sub-basin.
10. Import of hydrographs.

Results and Comparison

By simulating flow behavior under various scenarios, HEC-RAS enables the calculation of critical parameters such as water depths, flow velocities, and inundation areas. Results are presented per APSFR and per return period.

Hydrographs

HEC-RAS modeling generates detailed output hydrographs that are essential for understanding the temporal dynamics of flood events. These hydrographs depict how water flow parameters, such as discharge, water surface elevation, and velocity, change over time at specific locations within the study area.

APSFR 21 – 22

In comparison of the results for each of the three return periods T20, T100 and T500 years shows a high identity of the flood peaks between full 2D and combined (1D/2D) which indicates the high convergence of the two methods.

The following Figure presents the initial 1D/2D model and the examined 2D model hydrographs, respectively. The selected location for APSFR 21-22 is one of the reported for flooding incidents areas in the confluence of the rivers. The following Figure illustrates a high identification of the flood peak between 2D and combined 1D/2D flood peak.

Specifically, 1D/2D simulation predicts a slightly higher flood peak that comes in agreement with the difference in inundated area shown in Table 2.

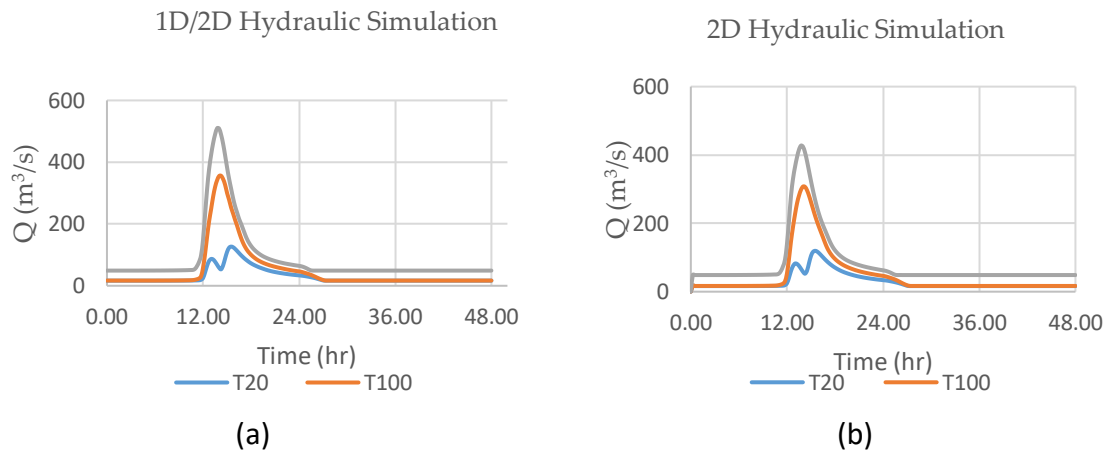


Figure 3. (a); Hydrographs in location 1 for APSFR 21-22 , (b); Hydrographs in location 1 for APSFR 29

APSFR 29

Inundation Maps

By simulating water surface profiles and flow patterns, HEC-RAS generates detailed maps that depict the extent and depth of flooding under various scenarios, such as different storm intensities or infrastructure failures. A flood field is considered to be the piece of land within the channel that is covered by water. These maps are instrumental for urban planning, emergency response, and floodplain management, as they provide clear, spatially-resolved information on potential inundation areas. Contributing to identification of vulnerable regions, plan evacuation routes, and design flood mitigation structures.

Thus, a criterion of comparison for this thesis is the flooding areas of the two different hydraulic methods (2D and combined 1D/2D). The extraction of the fields is carried out in HEC-RAS through the results for each return periods $T = 20, 100$ and 500 years in each APSFR. The following Table 2 illustrates inundated areas for each hydraulic model, scenario and methodology.

Table 2. Percentage Difference in Inundated Area

| Hydraulic model | Return Period (years) | Inundated Area (km^2) 1D/2D | Inundated Area (km^2) 2D | Difference in Percentage |
|-----------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| APSFR 21-22 | T20 | 0.17 | 0.20 | 13% |
| | T100 | 0.29 | 0.29 | 2% |
| | T500 | 0.31 | 0.31 | -1% |
| APSFR 29 | T20 | 0.72 | 0.82 | 12% |
| | T100 | 0.97 | 1.03 | 6% |
| | T500 | 1.11 | 1.18 | 6% |

For comparative purposes, floodplain maps were generated for each method, 1D/2D and 2D, for each return period. These maps provide a visual representation of the estimated floods and allow for the analysis and evaluation of the differences between the modeling methods. This comparison is crucial for understanding the impact of each method on the accuracy and reliability of flood predictions. The following Figure presents inundation boundaries that are quite similar for both simulation methods, 1D/2D and 2D. Any minor areas of inundation are attributed to the presence of agricultural lands, where water tends to accumulate rather than flow downstream. This similarity indicates that both methods produce comparable results in predicting flood extents, with variations primarily influenced by local land use and topography.

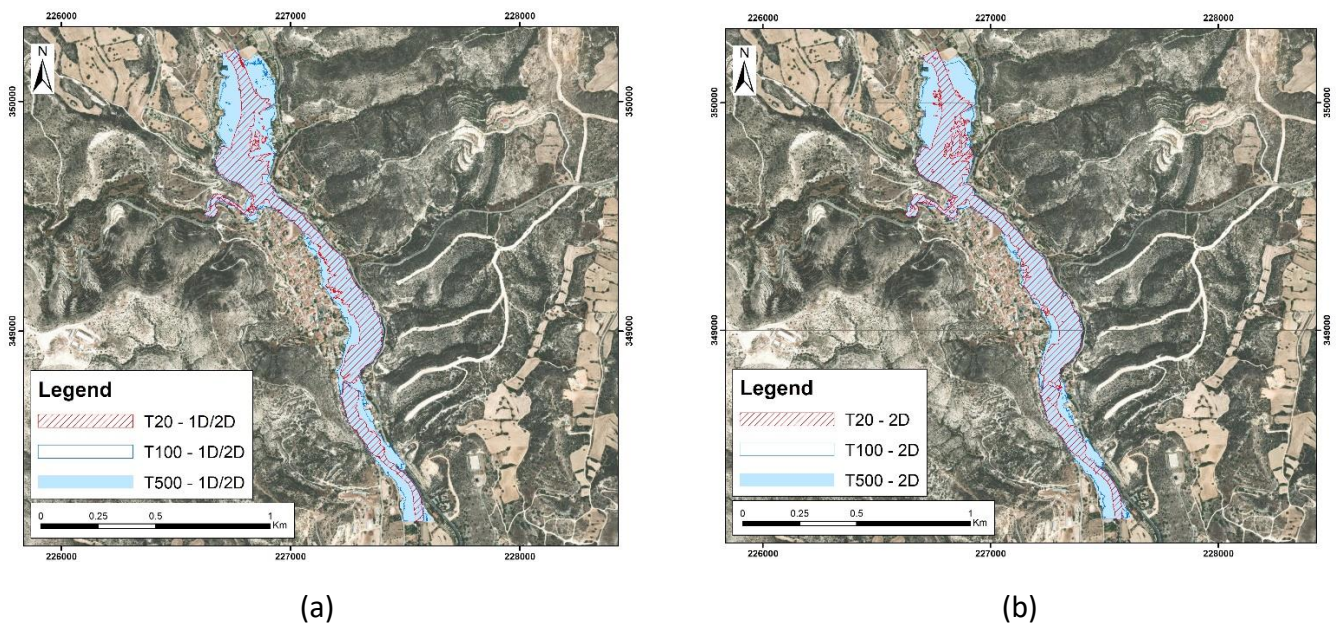


Figure 4. (a); Inundated area in APSFR 21-22 for combined 1D/2D simulation, (b); Inundated area in APSFR 21-22 for full 2D simulation

APSFR 29

For comparative purposes, floodplain maps were generated for each method, 1D/2D and 2D, for each return period. These maps provide a visual representation of the estimated floods and allow for the analysis and evaluation of the differences between the modeling methods. This comparison is crucial for understanding the impact of each method on the accuracy and reliability of flood predictions. The following Figure presents inundation boundaries that are quite similar for both simulation methods, 1D/2D and 2D. Any minor areas of inundation are attributed to the presence of agricultural lands, where water tends to accumulate rather than flow downstream. This similarity indicates that both methods produce comparable results in predicting flood extents, with variations primarily influenced by local land use and topography.

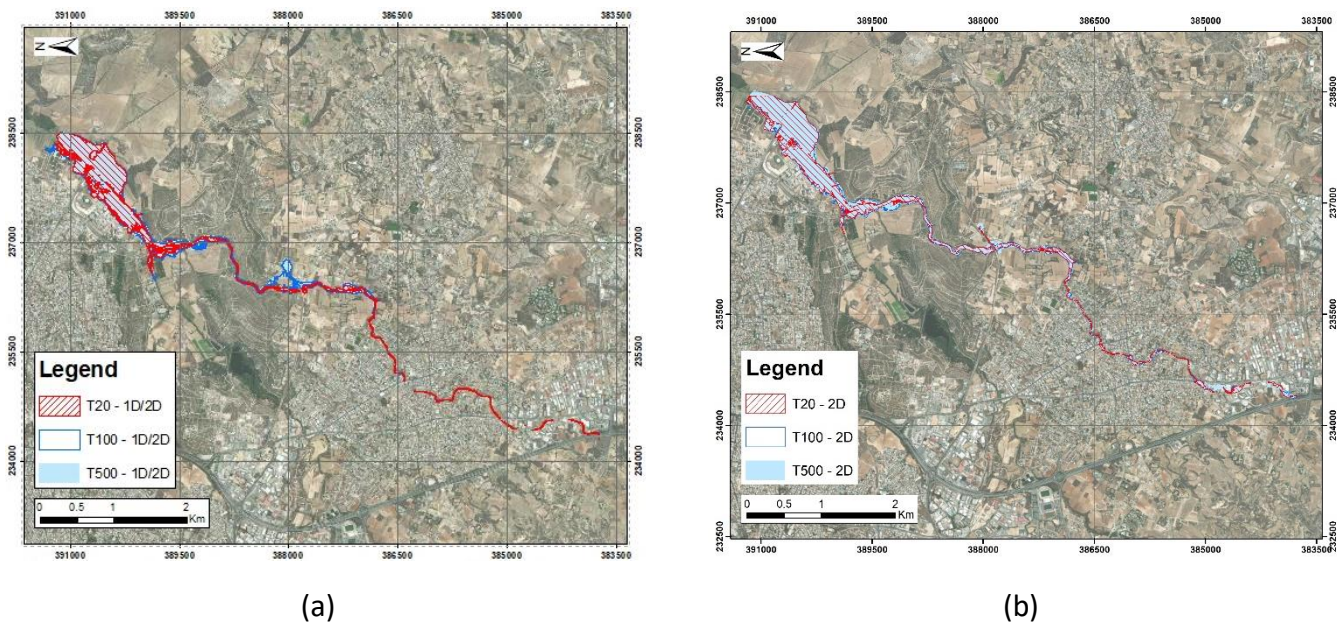


Figure 5. (a); Inundated area in APSFR 29 for combined 1D/2D simulation, (b); Inundated area in APSFR 29 for full 2D simulation

Simulation Time

Another parameter taking into account was simulation and development time of both hydraulic models. As supporting studies show (WDD (TAY), 2023), 1D/2D models are time consuming as for the building the model timed, taking about 7-10 days for each model. As for the hydraulic simulation time, it takes In comparison to 2D models that takes only 2 days. As the following Table 3 and Table 4 show, 2D simulation time might takes longer than 1D/2D, although in total time, 2D method is better.

Table 3. Comparison between Simulation time and Volume error in APSFR of 2D hydraulic simulation

| Hydraulic model | Return Period (years) | Volume Error (%) | Simulation Time (hr) |
|-----------------|-----------------------|------------------|----------------------|
| APSFR 21-22 | T20 | -0.11 | 04:22:25 |
| | T100 | 0.05 | 04:05:09 |
| | T500 | 0.00 | 01:51:39 |
| APSFR 29 | T20 | 3.20 | 17:35:58 |
| | T100 | 2.95 | 13:54:16 |
| | T500 | 1.62 | 09:20:53 |

Table 4. Comparison between Simulation time and Volume error in APSFR of 1D/2D hydraulic simulation

| Hydraulic model | Return Period (years) | Simulation Time (hr) |
|-----------------|-----------------------|----------------------|
| APSFR 21-22 | T20 | 02:05:12 |
| | T100 | 02:12:36 |
| | T500 | 02:37:04 |
| APSFR 29 | T20 | 02:18:28 |
| | T100 | 02:41:22 |
| | T500 | 02:51:07 |

Depth Maps

The extraction of depth results through HEC-RAS was a fundamental part of this study. HEC-RAS software offers robust capabilities for displaying and analyzing water depths, which is essential for flood risk management and hydraulic modeling. Tables Table 5 and Table 6 are showing statistics of depth outputs that are in agreement with the inundation maps and the flooding area differences between the two methods. In general, these differences between methods are acceptable and not critical. Max values of depth (> 6m) explained by a wide area of agricultural uses.

Table 5. Statistics of depths in 2D hydraulic simulation

| APSFR 21 - 22 | | | APSFR 29 | | |
|---------------|------|------|----------|------|------|
| T20 | T100 | T500 | T20 | T100 | T500 |
| 4.29 | 6.22 | 6.81 | 6.28 | 6.55 | 6.68 |
| 1.07 | 1.62 | 0.00 | 0.58 | 0.69 | 0.80 |
| 0.00 | 0.00 | 2.21 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.83 | 1.14 | 1.38 | 0.57 | 0.62 | 0.66 |

Using the hydraulic simulation capabilities of HEC-RAS, detailed maps was generated depicting the spatial distribution of water depths across the study area. These maps include specific locations, designated as positions 1, 2, and 3, where flood events have been reported, as analyzed. Highlighting these areas with historical flood occurrences provides valuable insights into the flood behavior of the region and supports the development of effective flood risk management strategies.

Depth Maps of APSFR 21-22

The following Figure illustrates max depths of APSFR 21-22 for each return period of 20, 100 and 500 years, respectively. Comprehensive maps that depict the maximum flood depths obtained from each method, facilitating a direct visual comparison. Also, locations reported for flooding incidents are showing. A high degree of congruence between the two simulation methods is revealed, suggesting that both approaches are capable of producing reliable predictions of flood extents and depths. These findings underscore the robustness of the combined 1D/2D approach while highlighting the enhanced spatial resolution and detail achievable with fully 2D simulation.

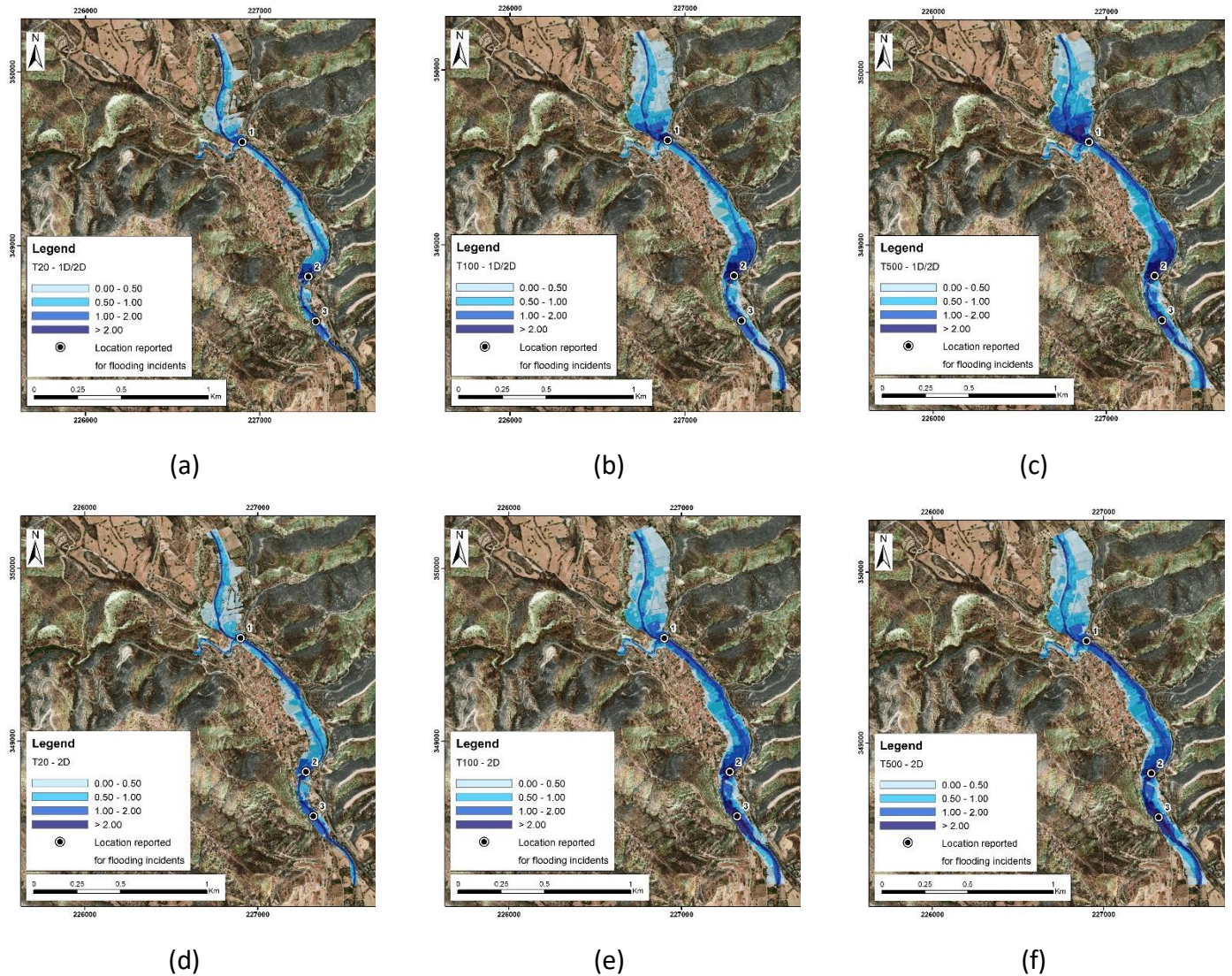
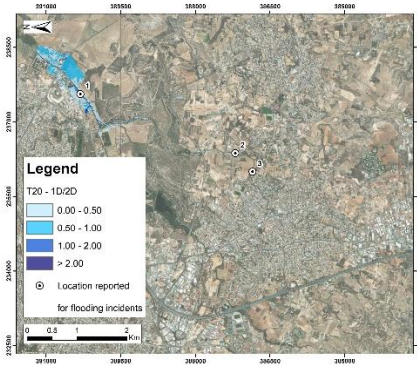


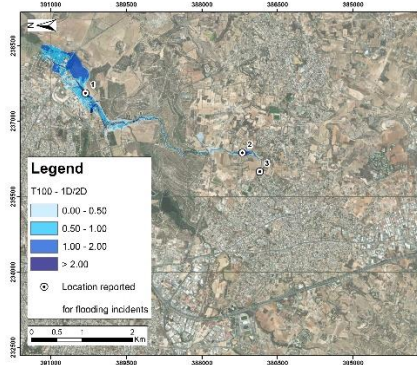
Figure 6. (a); Depth Map for T=20 years for 1D/2D hydraulic simulation, (b); Depth Map for T=100 years for 1D/2D hydraulic simulation (c); Depth Map for T=500 years for 1D/2D hydraulic simulation, (d); Depth Map for T=20 years for 2D hydraulic simulation, (e); Depth Map for T=100 years for 2D hydraulic simulation, (f); Depth Map for T=500 years for 2D hydraulic simulation

Depth Maps of APSFR 29

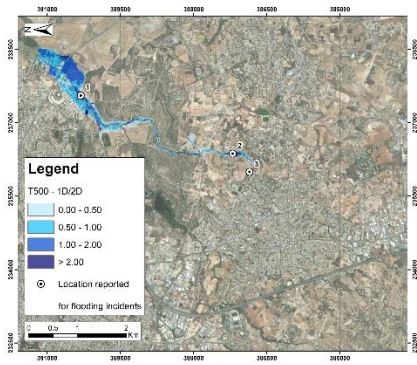
The following Figure illustrates max depths of APSFR 29 for each return period of 20, 100 and 500 years, respectively. Comprehensive maps that depict the maximum flood depths obtained from each method, facilitating a direct visual comparison. Also, locations reported for flooding incidents are showing. A high degree of congruence between the two simulation methods is revealed, suggesting that both approaches are capable of producing reliable predictions of flood extents and depths. These findings underscore the robustness of the combined 1D/2D approach while highlighting the enhanced spatial resolution and detail achievable with fully 2D simulation.



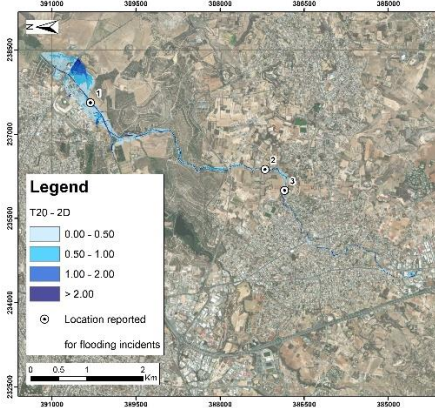
(a)



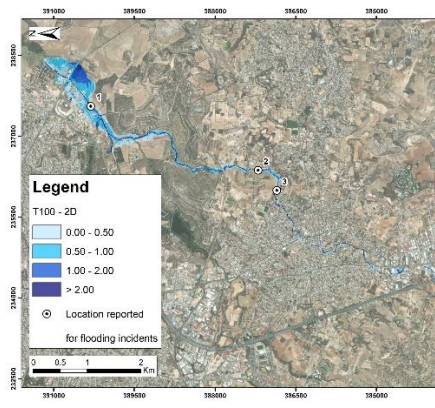
(b)



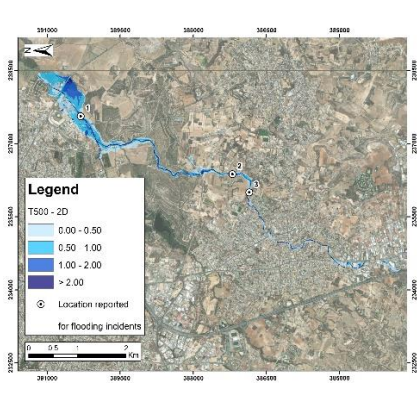
(c)



(d)



(e)



(f)

Figure 7. (a); Depth Map for T=20 years for 1D/2D hydraulic simulation, (b); Depth Map for T=100 years for 1D/2D hydraulic simulation (c); Depth Map for T=500 years for 1D/2D hydraulic simulation, (d); Depth Map for T=20 years for 2D hydraulic simulation, (e); Depth Map for T=100 years for 2D hydraulic simulation, (f); Depth Map for T=500 years for 2D hydraulic simulation

Velocity Maps

The extraction of velocity results through HEC-RAS was a crucial component of this study. Using the hydraulic simulation capabilities of HEC-RAS, detailed maps were generated depicting the spatial distribution of flow velocities across the study area. The identification of these high-velocity zones is essential for understanding the hydrodynamic behavior of the river system and for implementing effective flood risk management strategies. The following Figures highlight specific locations for APSFR 21-22 and 29, respectively. Elevated velocity values were observed, particularly within the river channel.

Velocity Maps of APSFR 21-22

The following Figure illustrates velocities across the study area for each hydraulic simulation method (combined 1D/2D and full 2D) and each return period, with comprehensive maps that depict the velocity distributions obtained from each method, facilitating a direct visual comparison of areas with elevated velocities as well as the entire region of interest. Figures (a) – (c) and (d) – (f) are showing return period of 20, 100 and

500 years, respectively. Indicatively, areas with higher velocities in the riverbed are emphasized. Analysis revealed a high degree of congruence between the two simulation methods, both in the overall velocity distribution and in identifying specific locations of high velocities. These findings underscore the robustness of the 1D/2D hybrid approach while highlighting the enhanced spatial resolution and detail achievable with fully 2D simulations.

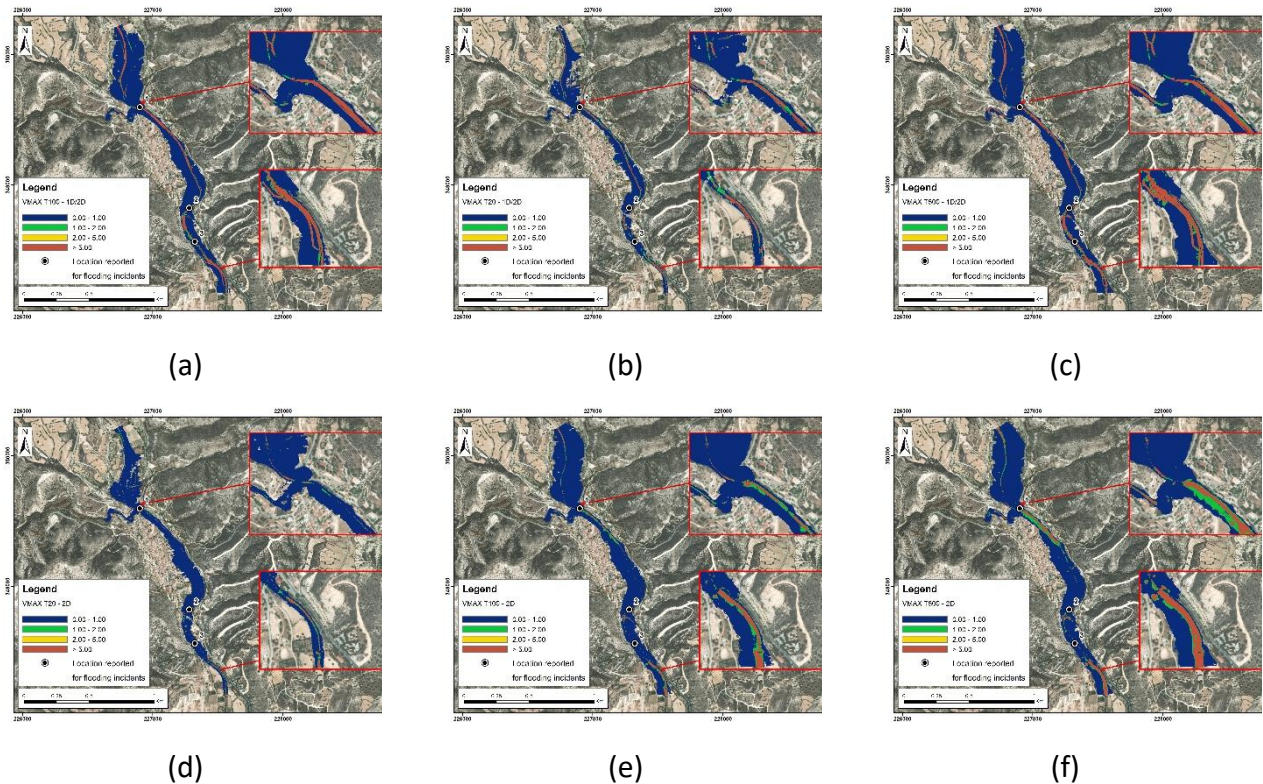


Figure 8. (a); Velocity Map for T=20 years for 1D/2D hydraulic simulation, (b); Velocity Map for T=100 years for 1D/2D hydraulic simulation (c); Velocity Map for T=500 years for 1D/2D hydraulic simulation, (d); Velocity Map for T=20 years for 2D hydraulic simulation, (e); Velocity Map for T=100 years for 2D hydraulic simulation, (f); Velocity Map for T=500 years for 2D hydraulic simulation

Velocity Maps of APSFR 29

The following Figure 22 illustrates velocities across the study area for each hydraulic simulation method (combined 1D/2D and full 2D) and each return period, with comprehensive maps that depict the velocity distributions obtained from each method, facilitating a direct visual comparison of areas with elevated velocities as well as the entire region of interest. Figures (a) – (c) and (d) – (f) are showing return period of 20, 100 and 500 years, respectively. Indicatively, areas with higher velocities in the riverbed are emphasized. Analysis revealed a high degree of congruence between the two simulation methods, both in the overall velocity distribution and in identifying specific locations of high velocities. These findings underscore the robustness of the 1D/2D hybrid approach while highlighting the enhanced spatial resolution and detail achievable with fully 2D simulations.

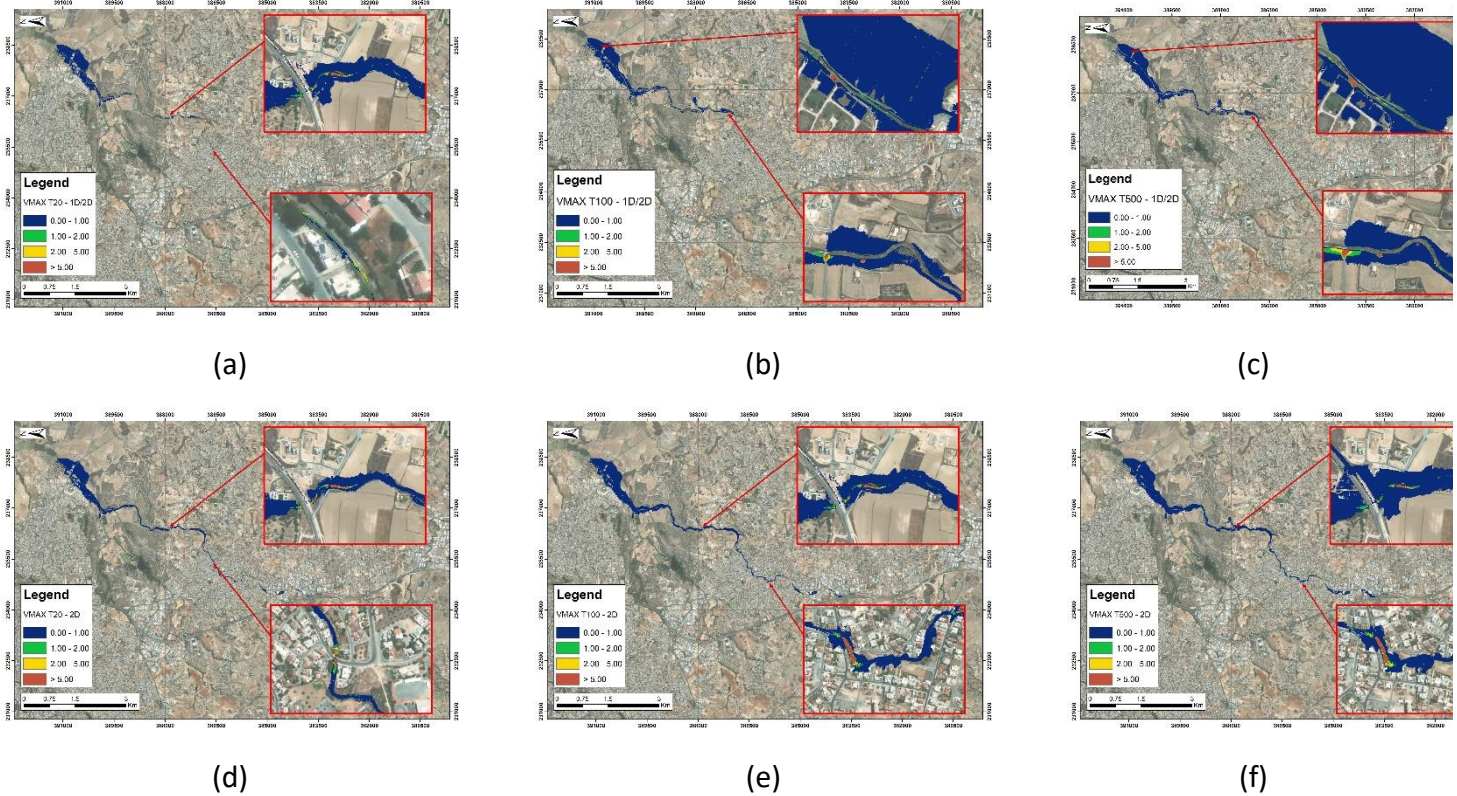


Figure 9. (a); Velocity Map for T=20 years for 1D/2D hydraulic simulation, (b); Velocity Map for T=100 years for 1D/2D hydraulic simulation (c); Velocity Map for T=500 years for 1D/2D hydraulic simulation, (d); Velocity Map for T=20 years for 2D hydraulic simulation, (e); Velocity Map for T=100 years for 2D hydraulic simulation, (f); Velocity Map for T=500 years for 2D hydraulic simulation.

Table 6. Statistics of depths in combined 1D/2D hydraulic simulation

| | APSFR 21 - 22 | | | APSFR 29 | | |
|--------------|---------------|------|------|----------|------|------|
| | T20 | T100 | T500 | T20 | T100 | T500 |
| Max | 3.65 | 5.69 | 6.81 | 6.39 | 6.00 | 6.00 |
| Mean | 0.98 | 1.70 | 2.21 | 0.64 | 0.75 | 0.84 |
| Min | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Stdev | 0.76 | 1.20 | 1.38 | 0.61 | 0.67 | 0.73 |

Discussion and Conclusion

Floods can pose risks to both human life and environment, necessitating robust measures for effective management and mitigation. The European Union's Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks provides a framework to reduce and manage these risks through comprehensive planning and preventive actions (EUR-Lex, 2007). In Cyprus, rainfall patterns can lead to severe flooding events, particularly in urban areas with inadequate drainage systems. The implementation of Directive 2007/60/EC in

Cyprus involves identifying areas at significant risk and developing Flood Risk Management Plans (FRMPs) tailored to these zones. Hydraulic simulation plays a crucial role in this process by providing detailed models of flood behavior, helping to predict flood extents, depths, and velocities. These simulations support the development of effective FRMPs, ensuring that appropriate measures are taken to minimize the impact of flooding on vulnerable areas. The accuracy of flood prediction is crucial for the proper mitigation of flooding effects on people, infrastructure and the environment.

Hydraulic simulation plays a key role for this purpose. The present research successfully investigated the two different behavior between combined 1D/2D and full 2D models applying HEC-RAS 2D in two existing designated areas of potential flooding in Cyprus.

Specifically, the behavior and the results of the two different hydraulic modelling approaches were compared. The main findings of this research are summarized below:

- 2D simulation provides a more accurate representation of complex and high flow conditions and hydraulic behavior,
- Hydraulic models based on fully two-dimensional grid, show higher capabilities of capturing inundation areas where high slopes are present or in cases of flooding in numerous directions,
- The 2D hydraulic simulation, offers greater flexibility in modeling various hydraulic scenarios, such as urban and riverine flooding, hydraulic structures adaptations, making it suitable for a wide range of applications and alternative solutions, enhanced resilience planning,
- The 2D model is found more stable compared to 1D/2D approach, where significant instabilities and computational errors are common.

Hydraulic modeling using the 1D/2D approach remains highly effective in various scenarios, as stated by recent researches (Ghostine et al., 2015; Ghostine et al., 2012; Brunner et al., 2015). The combined 1D/2D approach excels in environments with complex geometries, such as urban areas and intricate river systems, where it combines the strengths of both 1D and 2D modeling techniques. Recent studies highlight its efficiency in large-scale watershed simulations, where the 1D component efficiently handles extensive river networks, while the 2D component accurately captures floodplain dynamics (Henonin et al., 2013). In urban flood scenarios, the 1D/2D method effectively models both the drainage network and surface flooding, providing a detailed and accurate representation of urban hydrodynamics. This method is also advantageous in scenarios requiring rapid simulations, such as real-time flood forecasting, due to its balance between computational efficiency and spatial accuracy (Barreiro et al., 2023). Moreover, the 1D/2D approach facilitates the evaluation of flood mitigation measures by allowing efficient scenario analysis and detailed spatial representation (Dottori et al., 2016). Consequently, the 1D/2D modeling method is considered suitable for complex river systems, large watersheds, urban flood scenarios, and comprehensive flood risk assessments.

However, the rapid development of home or office computer capabilities has pushed current practice towards the full 2D approach (Quiroga et al., 2016)(Md et al., 2022), where as

already noted by the present research, many advantages are attributed when compared to the interim 1D/2D approach. Contemporary research has already noted the efficiency of 2D HEC-RAS in modelling urban flooding and suggest its incorporation on early warning systems or other flood management practices (Rangari et al., 2019). Additionally 2D modelling flood extents have been compared to satellite imagery of severe flooding and validated accordingly (Quirogaa et al., 2016). Similar research has additionally validated the performance of 2D HEC-RAS modelling regarding flood depths, discharge and velocities against delicate and secluded modelling software (Costabile et al., 2020).

Returning to the findings of the present research, full 2D modelling showed high identification results with the approved by the Cypriot authorities combined 1D/2D hydraulic simulations, as far as inundation, discharge, flood depths and velocities are concerned. In conclusion, the 2D approach is found capable of capturing successfully the flooding incident of different return period, from common to rare events. Moreover, its greater ease of use and less prone to computational errors nature, compared to the 1D/2D approach, contribute to the suggestion to broader usage of the 2D HEC-RAS methodology presented for flood management.

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|--|------|
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ | ii |
| Περίληψη..... | iii |
| Extended Abstract..... | v |
| Introduction | v |
| Materials and Methods | vii |
| Results and Comparison | xiii |
| Discussion and Conclusion..... | xxi |
| 1. Εισαγωγή | 1 |
| 1.1 Πλημμύρες ως φυσικές καταστροφές..... | 1 |
| 1.1.1 Μηχανισμοί Πλημμύρας..... | 2 |
| 1.1.2 Το φαινόμενο των Αιφνίδιων Πλημμυρών - Flash flood | 5 |
| 1.1.3 Επιπτώσεις πλημμυρικών φαινομένων..... | 6 |
| 1.1.4 Μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης Πλημμυρικών φαινομένων | 8 |
| 1.1.5 Πλημμύρες και Κλιματική Αλλαγή..... | 10 |
| 1.2 Οι Πλημμύρες στην Κύπρο..... | 13 |
| 1.2.1 Αιτίες Πλημμυρών στην Κύπρο | 15 |
| 1.2.2 Επιπτώσεις Πλημμυρών στην Κύπρο | 15 |
| 1.3 Οδηγία 2007/60/ΕΚ για τις Πλημμύρες..... | 16 |
| 1.3.1 Η Οδηγία 2007/60/ΕΚ στην Κύπρο..... | 17 |
| 1.4 Διαχείριση Πλημμυρικού Κινδύνου και Υδραυλική προσομοίωση | 19 |
| 1.4.1 Υδραυλική προσομοίωση για τη Διαχείριση των Πλημμυρικών φαινομένων . | 19 |
| 1.4.2 Επίλυση Υδραυλικής Προσομοίωσης | 20 |
| 1.5 Αντικείμενο της εργασίας | 20 |
| 2. Περιοχή Μελέτης και Υδραυλική Προσομοίωση..... | 20 |
| 2.1 Περιοχή Μελέτης..... | 20 |
| 2.1.1 Γεωγραφική θέση | 20 |
| 2.1.2 Έκταση..... | 21 |
| 2.1.3 Γεωμορφολογικά Χαρακτηριστικά | 21 |
| 2.1.4 Υδατικοί Πόροι..... | 23 |
| 2.1.5 Κλίμα | 26 |
| 2.1.6 Γεωργία | 27 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.2 | Υδραυλική Προσομοίωση | 27 |
| 2.2.1 | Το Λογισμικό HEC-RAS | 28 |
| 2.2.2 | Μονοδιάστατη Ανάλυση του Προγράμματος..... | 28 |
| 2.2.3 | Δισδιάστατη Ανάλυση του Προγράμματος | 30 |
| 3. | Υδραυλική Προσομοίωση των Περιοχών Δυνητικού Σοβαρού Κινδύνου Πλημμύρας .. | 32 |
| 3.1 | ΠΔΣΚΠ 21-22..... | 36 |
| 3.1.1 | Θέση..... | 37 |
| 3.1.2 | Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής και υδρογραφικού δικτύου | 39 |
| 3.1.3 | Καταγραφή ιστορικών πλημμυρών για ΠΔΣΚΠ 21-22..... | 40 |
| 3.2 | ΠΔΣΚΠ 29..... | 41 |
| 3.2.1 | Θέση..... | 41 |
| 3.2.2 | Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής και υδρογραφικού δικτύου | 42 |
| 3.2.3 | Καταγραφή ιστορικών πλημμυρών για ΠΔΣΚΠ 29..... | 44 |
| 3.3 | Υφιστάμενα μοντέλα..... | 45 |
| 3.3.1 | Επιλογή τρόπου επίλυσης των υφιστάμενων μοντέλων της ΠΔΣΚΠ 21 – 22... | 46 |
| 3.3.2 | Επιλογή τρόπου επίλυσης των υφιστάμενων μοντέλων της ΠΔΣΚΠ 29 | 46 |
| 4. | Μεθοδολογία Δισδιάστατης Επίλυσης | 47 |
| 4.1 | Δημιουργία Γεωμετρίας..... | 47 |
| 4.2 | Εισερχόμενα δεδομένα | 53 |
| 4.2.1 | Ψηφιακό Μοντέλο εδάφους..... | 53 |
| 4.2.2 | Τεχνικά έργα..... | 55 |
| 4.2.3 | Συντελεστές Manning | 57 |
| 4.2.4 | Γενική μεθοδολογία Υδρολογικών μοντέλων και εισερχόμενα δεδομένα | 62 |
| 4.2.5 | Υδρολογικά Δεδομένα για την ΠΔΣΚΠ 21-22 | 65 |
| 4.2.6 | Υδρολογικά δεδομένα για την ΠΔΣΚΠ 29 | 68 |
| 4.2.7 | Πλημμυρογραφήματα υδραυλικών μοντέλων | 70 |
| 4.3 | Κατάστρωση μοντέλων | 74 |
| 4.3.1 | Κατάστρωση συνδυασμένου 1D/2D μοντέλου..... | 74 |
| 4.3.2 | Κατάστρωση δισδιάστατου μοντέλου | 75 |
| 5. | Αποτελέσματα και Σύγκριση Συνδυασμένης – Δισδιάστατη Προσομοίωση..... | 76 |
| 5.1 | Αποτελέσματα Υδραυλικής Προσομοίωσης | 76 |
| 5.1.1 | Πλημμυρικό Πεδίο - Βάθη ροής | 77 |
| 5.1.2 | Ταχύτητες ροής..... | 83 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.2 | Σύγκριση Πλήρους Δισδιάστατης και Συνδυασμένης ανάλυσης..... | 84 |
| 5.2.1 | Σύγκριση Υδρογραφημάτων Εξόδου | 84 |
| 5.2.2 | Σύγκριση Πλημμυρικών Πεδίων | 89 |
| 6. | Σχολιασμός - Συμπεράσματα..... | 94 |
| 6.1 | Προτάσεις για μελλοντική διερεύνηση | 95 |

Κατάλογος Εικόνων

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1. Ποσοστά φυσικών καταστροφών επί του συνόλου των φυσικών καταστροφών (Πηγή: Jaharudin et al., 2013)..... | 2 |
| Εικόνα 2. Θάνατοι λόγω πλημμύρας κατά το έτος 2022(Πηγή: eur-lex.europa.eu, 2022)..... | 8 |
| Εικόνα 3. Κύκλος Διαχείρισης Πλημμυρικών φαινομένων (Πηγή:Σκιάς, 2016) | 9 |
| Εικόνα 4. Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στον Ευρωπαϊκό Χώρο (Πηγή: www.europarl.europa.eu/news/el , Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο)..... | 11 |
| Εικόνα 5. Ιστορικές Πλημμύρες στην Κύπρο (Πηγή: Παναγόπουλος et al., 2016) | 14 |
| Εικόνα 6. Ετήσιο Υδατικό Ισοζύγιο της Κύπρου (Πηγή: ΤΑΥ, 2022) | 15 |
| Εικόνα 7. Χάρτης Περιοχών Δυνητικού Σοβαρού Κινδύνου Πλημμύρας - 2011 (Πηγή: www.moa.gov.cy/wdd , ΤΑΥ) | 18 |
| Εικόνα 8. Νέες πρόσθετες Περιοχές Σοβαρού Κινδύνου Πλημμύρας – 2018 (Πηγή: www.moa.gov.cy/wdd , ΤΑΥ) | 19 |
| Εικόνα 9. Απεικόνιση της Κύπρου (Πηγή: Google Earth Pro) | 21 |
| Εικόνα 10. Διαχωρισμός Κύπρου σε τύπους εδαφών κατά SCS (ΤΑΥ, 2022) | 23 |
| Εικόνα 11. Κατανομή βροχόπτωσης στην Κύπρο (Πηγή: www.moa.gov.cy , ΤΑΥ)..... | 25 |
| Εικόνα 12. Κατανομή διάθεσης νερού στην Κύπρο (ΤΑΥ,2019) | 26 |
| Εικόνα 13. ΠΔΣΚΠ 1ου και 2ου Κύκλου Εφαρμογής Οδηγίας 2007/60/ΕΚ (Πηγή: www.moa.gov.cy , ΤΑΥ 2022) | 36 |
| Εικόνα 14. Η λεκάνη απορροής της ΠΔΣΚΠ 21 (π. Βασιλικός στην Καλαβασό) (ΤΑΥ, 2022).. | 38 |
| Εικόνα 15. Η λεκάνη απορροής της ΠΔΣΚΠ 22 (π. της Ασγάτας) (ΤΑΥ, 2022) | 39 |
| Εικόνα 16. Τα όρια της λεκάνης απορροής της ΠΔΣΚΠ 29(ΤΑΥ, 2022) | 42 |
| Εικόνα 17. Χρήσεις γης της ΠΔΣΚΠ 29 (ΤΑΥ, 2022) | 43 |
| Εικόνα 18. Θέσεις ευάλωτων πλημμυρικών περιοχών της ΠΔΣΚΠ 29 | 45 |
| Εικόνα 19. Επιλογή μονάδων μέτρησης το λογισμικό HEC-RAS | 47 |
| Εικόνα 20. Εισαγωγή του Layer Manning στο HEC-RAS | 48 |
| Εικόνα 21. Σχεδιασμός Γεωμετρίας στο HEC-RAS | 49 |
| Εικόνα 22. Καθορισμός χαρακτηριστικών μεγεθών για τα ανοίγματα του οχετού | 50 |
| Εικόνα 23. Σχεδιασμός του τεχνικού έργου | 51 |
| Εικόνα 24. Τελική Διαμόρφωση του τεχνικού έργου ASGATAS_CU_1 | 51 |
| Εικόνα 25. Δημιουργία Unsteady Flow Analysis | 53 |
| Εικόνα 26. ΨΜΕ για την ΠΔΣΚΠ 21-22 (Πηγή:ΤΑΥ, 2022)..... | 54 |
| Εικόνα 27. ΨΜΕ για την ΠΔΣΚΠ 29 (Πηγή: ΤΑΥ, 2022) | 55 |
| Εικόνα 28. Χωρική κατανομή των συντελεστών Manning στην ΠΔΣΚΠ 21-22 (Πηγή:ΤΑΥ, 2022) | 60 |
| Εικόνα 29. Χωρική κατανομή των συντελεστών Manning στην ΠΔΣΚΠ 29 (Πηγή: ΤΑΥ, 2022) | 61 |
| Εικόνα 30. Λεκάνη απορροής για την ΠΔΣΚΠ 21 | 66 |
| Εικόνα 31. Λεκάνη απορροής για την ΠΔΣΚΠ 22 | 67 |
| Εικόνα 32. Λεκάνη απορροής για την ΠΔΣΚΠ 29 | 69 |
| Εικόνα 33. Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για T=500 έτη | 71 |
| Εικόνα 34. Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για T=100 έτη | 71 |
| Εικόνα 35. Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για T=20 έτη | 72 |

| | |
|---|----|
| Εικόνα 36. Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για T=500 έτη | 72 |
| Εικόνα 37. Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για T=100 έτη | 73 |
| Εικόνα 38. Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για T=20 έτη | 73 |
| Εικόνα 39. Πλημμυρικό Πεδίο πλήρους δισδιάστατης ανάλυσης της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T=500 έτη | 78 |
| Εικόνα 40. Πλημμυρικό Πεδίο πλήρους δισδιάστατης ανάλυσης της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T=100 έτη | 79 |
| Εικόνα 41. Πλημμυρικό Πεδίο πλήρους δισδιάστατης ανάλυσης της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T=20 έτη | 80 |
| Εικόνα 42. Πλημμυρικό Πεδίο πλήρους δισδιάστατης ανάλυσης της ΠΔΣΚΠ 29 για T=500 έτη | 81 |
| Εικόνα 43. Πλημμυρικό Πεδίο πλήρους δισδιάστατης ανάλυσης της ΠΔΣΚΠ 29 για T=100 έτη | 82 |
| Εικόνα 44. Πλημμυρικό Πεδίο πλήρους δισδιάστατης ανάλυσης της ΠΔΣΚΠ 29 για T=20 έτη | 83 |
| Εικόνα 45. Σύγκριση υδρογραφημάτων εξόδου της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T= 20 έτη | 85 |
| Εικόνα 46. Σύγκριση υδρογραφημάτων εξόδου της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T= 100 έτη | 86 |
| Εικόνα 47. Σύγκριση υδρογραφημάτων εξόδου της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T= 500 έτη | 86 |
| Εικόνα 48. Σύγκριση υδρογραφημάτων εξόδου της ΠΔΣΚΠ 29 για T= 20 έτη | 87 |
| Εικόνα 49. Σύγκριση υδρογραφημάτων εξόδου της ΠΔΣΚΠ 29 για T=100 έτη | 88 |
| Εικόνα 50. Σύγκριση υδρογραφημάτων εξόδου της ΠΔΣΚΠ 29 για T= 500 έτη | 89 |
| Εικόνα 51. Χάρτης σύγκρισης πλημμυρικού πεδίου της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T=20 έτη | 90 |
| Εικόνα 52. Χάρτης σύγκρισης πλημμυρικού πεδίου της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T=100 έτη | 91 |
| Εικόνα 53. Χάρτης σύγκρισης πλημμυρικού πεδίου της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T=500 έτη | 92 |
| Εικόνα 54. Χάρτης σύγκρισης πλημμυρικού πεδίου της ΠΔΣΚΠ 29 για T=20 έτη | 93 |
| Εικόνα 55. Χάρτης σύγκρισης πλημμυρικού πεδίου της ΠΔΣΚΠ 29 για T= 100 έτη | 93 |
| Εικόνα 56. Χάρτης σύγκρισης πλημμυρικού πεδίου της ΠΔΣΚΠ 29 για T=500 έτη | 94 |

Κατάλογος Πινάκων

| | |
|---|----|
| Πίνακας 3.1 : Οι ΠΔΣΚΠ του 1 ^{ου} Κύκλου Εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ | 33 |
| Πίνακας 3.2 : Οι ΠΔΣΚΠ του 2 ^{ου} Κύκλου Εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ | 34 |
| Πίνακας 3.3: Βασικές χρήσεις γης της ΠΔΣΚΠ 21 | 39 |
| Πίνακας 3.4: Βασικές χρήσεις γης της ΠΔΣΚΠ 22 | 40 |
| Πίνακας 3.5: Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής της ΠΔΣΚΠ 29..... | 42 |
| Πίνακας 4.1: Συντελεστές Manning που χρησιμοποιήθηκαν στη δισδιάστατη ανάλυση των 19 νέων ΠΔΣΚΠ (Πηγή: ΤΑΥ, 2022) | 58 |
| Πίνακας 4.2: Συντελεστές Manning βάσει των χρήσεων γης εντός του δισδιάστατου πεδίου (Πηγή: ΤΑΥ, 2022) | 61 |
| Πίνακας 4.3: Παράμετροι συνάρτησης (4.2) που εφαρμόζονται στις όμβριες καμπύλες ανά κλιματική περιοχή (Πηγή:ΤΑΥ, 2022)..... | 63 |
| Πίνακας 4.4: Κόμβοι και τύποι οριακών συνθηκών για τις ΠΔΣΚΠ 21-22..... | 67 |
| Πίνακας 4.5: Κόμβοι και τύποι οριακών συνθηκών για την ΠΔΣΚΠ 29..... | 69 |
| Πίνακας 4.6: Χρόνος διάρκειας υδραυλικών υπολογισμών για κάθε ΠΔΣΚΠ κατά τη συνδυασμένη προσομοίωση..... | 74 |
| Πίνακας 4.7: Χρόνος διάρκειας υδραυλικών υπολογισμών για κάθε ΠΔΣΚΠ κατά τη δισδιάστατη προσομοίωση | 75 |
| Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα εκτέλεσης του προγράμματος για 2D κατάρτιση | 76 |
| Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα εκτέλεσης προγράμματος για 1D/2D κατάρτιση..... | 76 |
| Πίνακας 5.3: Σύγκριση εκτάσεων πλημμυρικών πεδίων | 89 |

Συντομεύσεις

| | |
|-----------|--|
| 1D | One Dimension |
| 2D | Two Dimension |
| ΕΕΑ | European Economic Area |
| GIS | Geographic Information Center |
| HEC - HMS | Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System |
| HEC - RAS | Hydrologic Engineering Center - River |
| ΕΕ | Ευρωπαϊκή Ένωση |
| ΠΑΚΠ | Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας |
| ΣΔΚΠ | Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας |
| ΣΔΛΑΠ | Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμού |
| ΤΑΥ | Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων |
| ΨΜΕ | Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους |

1. Εισαγωγή

1.1 Πλημμύρες ως φυσικές καταστροφές

Ως Πλημμύρα ορίζεται «η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο, υπό φυσιολογικές συνθήκες, δεν καλύπτεται από νερό» (άρθρο 2, κεφ.1, Οδηγία 2007/60/ΕΚ). Μπορεί να είναι αποτέλεσμα διαφυγής νερού τρεχούμενου ή λιμνάζοντος, ισχυρών κατακρημνίσεων, αλλαγή χρήσεων γης αλλά και ανθρωπογενών παρεμβάσεων. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναγνωρίζει για κάθε πλημμύρα τα εξής χαρακτηριστικά (Οδηγία 2007/60/ΕΚ) :

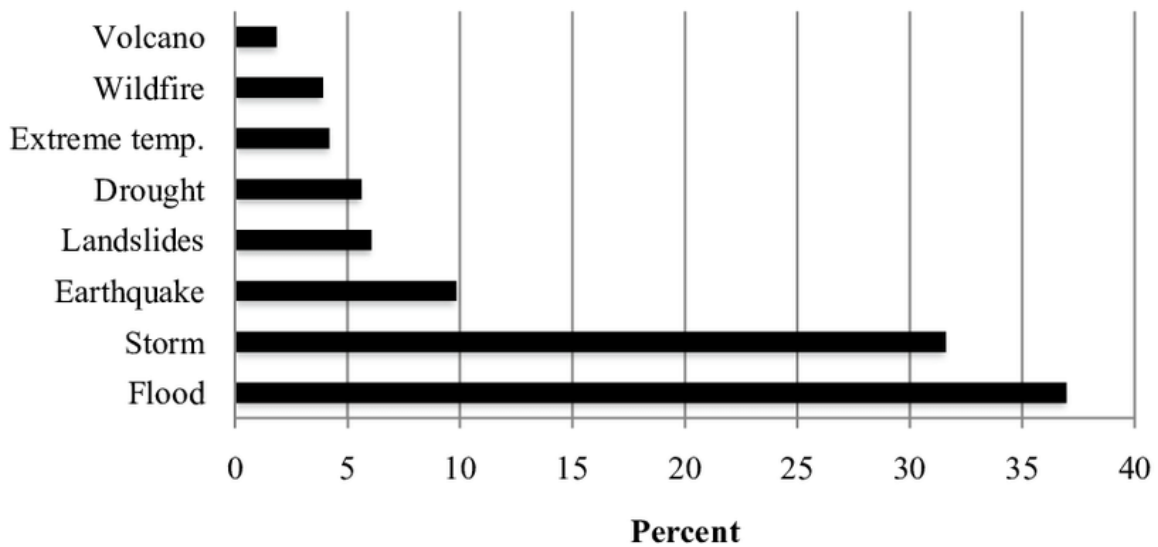
- Ένα πλημμυρικό φαινόμενο μπορεί να επιφέρει θανάτους, μετακινήσεις πληθυσμών, κίνδυνους στο περιβάλλον και την αναστολή των οικονομικών δραστηριοτήτων της περιοχής
- Οι πιθανότητες για επέλευση πλημμύρας έχουν αυξηθεί λόγω ανθρωπίνων επεμβάσεων όπως οι αλλαγές των χρήσεων γη και η αστικοποίηση

Στόχος πρέπει να είναι η μείωση των αρνητικών συνεπειών των πλημμυρών που αφορούν την ανθρώπινη υγεία και ζωή, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά, τις οικονομικές δραστηριότητες και υποδομές. Όμως, τα μέτρα για τη μείωση των κινδύνων αυτών πρέπει να λαμβάνονται σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού ώστε να είναι αποτελεσματικά (Οδηγία 2007/60/ΕΚ).

Ως Επικινδυνότητα πλημμύρας ορίζεται «η δυνατότητα εμφάνισης πλημμύρας σε συγκεκριμένο χώρο και αντιστοιχεί σε δεδομένη πιθανότητας υπέρβασης» (Οδηγία 2007/60/ΕΚ).

Ως Κίνδυνος πλημμύρας ορίζεται «ο συνδυασμός της πιθανότητας εμφάνισης μιας πλημμύρας και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και των οικονομικών δραστηριοτήτων που συνδέονται με την εκάστοτε πλημμύρα»(Οδηγία 2007/60/ΕΚ).

Πλημμυρικά φαινόμενα, τα οποία αποτελούν το 37% του συνόλου των φυσικών καταστροφών (Jaharudin et al., 2013), παρουσιάζονται από μόνιμης, παροδικής και εφήμερης ροής ποτάμια αλλά και από παλίρροια σε παράκτιες περιοχές. Κύρια χαρακτηριστικά των πλημμυρικών φαινομένων αποτελούν η έκταση της πλημμύρας, η διάρκεια του συμβάντος και οι προκαλούμενες απώλειες (Nied et al., 2017).



Εικόνα 1. Ποσοστά φυσικών καταστροφών επί του συνόλου των φυσικών καταστροφών (Πηγή: Jaharudin et al., 2013)

Οι πλημμύρες πλήττουν ολοένα και περισσότερους ανθρώπους παγκοσμίως σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο φυσικό κίνδυνο. Λόγος εμφάνισης ποτάμιων πλημμυρών είναι η κατακρήμνιση μεγάλης ποσότητας νερού για μεγάλο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης των ποταμών και την υπερχειλίσή τους στις γύρω περιοχές. Φαίνεται πως η κλιματική αλλαγή θα επιφέρει αύξηση στην ποσότητα και στη συχνότητα των βροχοπτώσεων και κατά συνέπεια και στον αριθμό πληγέντων. Για την ενίσχυση ανθρώπων που επλήγησαν από τέτοιου είδους φαινόμενα, το 2002 ιδρύθηκε το Ταμείο Αλληλεγγύης της ΕΕ με σκοπό την ενίσχυση των κρατών-μελών της. Μελέτες δείχνουν πως στις επόμενες τρεις δεκαετίες προβλέπεται να διπλασιαστούν πλημμύρες περιόδου επαναφοράς 100 ετών κυρίως στην Κεντρική Ευρώπη (European Commission, 2023).

Η βροχόπτωση αποτελεί βασική κλιματική παράμετρο και συστατικό του κύκλου του νερού. Είναι σημαντική για την ύδρευση, την άρδευση, την παραγωγή τροφίμων αλλά και για το ίδιο το φυσικό περιβάλλον. Στον ευρωπαϊκό χώρο κατά το έτος 2021 καταγράφηκε μέση βροχόπτωση $-0,04$ mm/d έως και $0,07$ mm/d. Παρατηρήθηκε διακύμανση κατά τη διάρκεια του έτους, με το μεγαλύτερο πλήθος κατακρημνισμάτων να εκδηλώνεται τον Ιανουάριο με μηνιαία διακύμανση $0,47$ έως $0,68$ mm/d. Πιο ξηρές συνθήκες σε σχέση με τον μέσο όρο, εκδηλώθηκαν τους μήνες Φεβρουάριο έως Απρίλιο, με τον Μάρτιο να εμφανίζονται οι ξηρότερες μέρες του έτους με διακυμάνσεις $-0,19$ έως $-0,37$ mm/d (climate.copernicus.eu, Πρόσβαση: 2021).

1.1.1 Μηχανισμοί Πλημμύρας

Η εμφάνιση πλημμυρικών επεισοδίων εξαρτάται από παράγοντες που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά των υδρολογικών λεκανών, τις μετεωρολογικές παραμέτρους, τη γεωλογία και τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Ορισμένα εκ των οποίων χαρακτηρίζονται ως σταθερά (γεωμορφολογία, φυσιογραφικά χαρακτηριστικά λεκάνης) και άλλα μεταβλητά ως προς το χρόνο (βαθμός κορεσμού εδάφους, ένταση βροχόπτωσης, ανάπτυξη έργων υποδομής).

Μεταβλητοί παράγοντες στο χώρο και το χρόνο θεωρούνται και η αστικοποίηση, η αλλαγή χρήσεων γης και η κατάσταση των δασών. Ο πλημμυρικός κίνδυνος αυξάνεται εξαιτίας αυτών των παραγόντων, που δεν σχετίζονται με την ένταση του γεγονότος βροχόπτωσης. Ενδεικτικά αναφέρονται:

- Ο περιορισμός της κοίτης των ρευμάτων στις οικιστικές περιοχές λόγω της ανεξέλεγκτης δόμησης
- Η καταστροφή των δασών από τις πυρκαγιές
- Η μείωση της κατείδυσης και η παράλληλη αύξηση της επιφανειακής απορροής λόγω της κάλυψης της εδαφικής επιφάνειας από την αστικοποίηση
- Η απουσία αντιπλημμυρικών έργων και η πλημμελής συντήρηση αποχετευτικών και αποστραγγιστικών δικτύων

Επικινδυνότητα πλημμύρας μπορεί επίσης να εμφανιστεί σε παράκτιες περιοχές λόγω ανύψωσης της μέσης στάθμης της θάλασσας.

Σύμφωνα με τα τεχνικά κείμενα της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ διακρίνονται οι εξής μηχανισμοί πλημμύρας:

- Φυσική Υπερχείλιση (Κωδικός: A21), δηλαδή η κατάκλυση μιας περιοχής από νερό το οποίο ξεπερνά τη φέρουσα ικανότητα ή τη στάθμη του εδάφους
- Υπερχείλιση αναχωμάτων (Κωδικός: A22), πλημμύρα μιας περιοχής από νερό το οποίο υπερπήδησε πλημμυρικά αναχώματα
- Αστοχία αναχωμάτων ή υποδομών (Κωδικός: A23), η πλημμύρα μιας περιοχής η οποία προκάλεσε αστοχία φυσικών ή τεχνητών αναχωμάτων ή υποδομών προστασίας. Ο μηχανισμός της πλημμύρας μπορεί να περιλαμβάνει την πρόκληση ρήγματος ή και την κατάρρευση της αντιπλημμυρικής προστασίας ή την αστοχία λειτουργίας του αντλητικού συστήματος ή των θυρών
- Παρεμπόδιση Ροής (Κωδικός: A24), η πλημμύρα μιας περιοχής η οποία προκάλεσε φυσική ή τεχνητή παρεμπόδιση ή περιορισμό της ροής ενός αγωγού ή ενός συστήματος. Ο μηχανισμός αυτός περιλαμβάνει πλημμύρες από την έμφραξη του δικτύου αποχέτευσης ή από υποδομές περιορισμού της ροής, όπως γέφυρες, υπόγειοι οχετοί, κομμάτια πάγου και κατολισθήσεις.
- Άλλο (Κωδικός: A25), πλημμύρες που οφείλονται σε άνοδο της στάθμης σε λίμνες, ταμιευτήρες και μικρότερα σώματα νερού.
- Δεν υπάρχουν δεδομένα (Κωδικός: A26), σε περίπτωση που δε υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα

Σύμφωνα με τα τεχνικά κείμενα της ίδιας Οδηγίας, κάθε πλημμύρα κατηγοριοποιείται βάσει των χαρακτηριστικών της σε:

- Ραγδαία Πλημμύρα (Κωδικός: A31), η πλημμύρα που φτάνει την αιχμή και την πτώση της σε σύντομο χρονικό διάστημα και συνήθως προκύπτει μετά από έντονη βροχόπτωση σε μια σχετικά μικρή περιοχή

- Πλημμύρα από λιώσιμο χιονιού (Κωδικός: A32), πλημμύρα που οφείλεται σε ταχεία τήξη χιονιού, πιθανόν σε συνδυασμό με βροχόπτωση ή παρεμπόδιση της ροής από κομμάτια πάγου
- Γρήγορης εξέλιξης (Κωδικός: A33), πλημμύρα που εξελίσσεται με γρήγορους ρυθμούς αλλά όχι στιγμιαία
- Μέτριας εξέλιξης (Κωδικός: A34), ένα πλημμυρικό επεισόδιο που εξελίσσεται με μικρότερους ρυθμούς, όμως όχι στιγμιαία πλημμύρα
- Αργής εξέλιξης (Κωδικός: A35), πλημμύρα που χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα να εξελιχθεί
- Μεταφορά λάσπης (Κωδικός: A36), πλημμύρα με μεταφορά μεγάλης ποσότητας λάσπης
- Ροή ιδιαίτερα υψηλής ταχύτητας (Κωδικός: A37), πλημμύρα κατά την οποία το νερό κινείται με μεγάλη ταχύτητα
- Πλημμύρα ιδιαίτερα μεγάλου βάθους (Κωδικός: A38), πλημμύρα της οποίας τα νερά προέρχονται από σημαντικό βάθος
- Άλλα χαρακτηριστικά (Κωδικός: A39), άλλο ή κανένα χαρακτηριστικό πλημμύρας
- Δεν υπάρχουν δεδομένα (Κωδικός: A40), δεν υπάρχουν δεδομένα για τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας

Οι πλημμύρες αποτελούν έναν από τους υψηλότερους φυσικούς κινδύνους για την περιοχή της Μεσογείου, προκαλώντας θανάτους και εκτεταμένες ζημιές. Πρόσφατες μελέτες με περιοχή αναφοράς τη Γαλλία έδειξαν πως τα έντονα φαινόμενα βροχόπτωσης γίνονται όλο και πιο ακραία, παραδόξως χωρίς να οδηγούν σε αύξηση της σοβαρότητας των πλημμυρών (Tramblay et al., 2023b). Εξετάστηκε μια βάση δεδομένων με 98 σταθμούς στη νότια Γαλλία με μέσο όρο καταγραφής 50 ετών ημερήσιων δεδομένων παροχής ποταμών μεταξύ 1959 και 2021, μαζί με ένα προϊόν υψηλής ανάλυσης που παρέχει βροχοπτώσεις και προσομοιωμένη εδαφική υγρασία και μια ταξινόμηση των καιρικών προτύπων που σχετίζονται με τα γεγονότα βροχόπτωσης στη Γαλλία. Τα πλημμυρικά γεγονότα, που αντιστοιχούν σε μια μέση συχνότητα εμφάνισης ενός γεγονότος ανά έτος (5.317 γεγονότα συνολικά), εξήχθησαν και ταξινομήθηκαν σε τύπους γεγονότων υπερβολικής, μεγάλης και μικρής βροχόπτωσης. Αναλύθηκαν επίσης διάφορα χαρακτηριστικά πλημμυρικών συμβάντων όπως, διάρκεια πλημμυρικών γεγονότων, συμβολή της βασικής ροής στις πλημμύρες, συντελεστής απορροής, συνολική και μέγιστη βροχόπτωση συμβάντος και προγενέστερη εδαφική υγρασία. Αναλύθηκε η διαχρονική εξέλιξη αυτών των χαρακτηριστικών πλημμυρικών συμβάντων και της εποχικότητας (Tramblay et al., 2023b).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, στις περισσότερες λεκάνες απορροής, οι πλημμύρες τείνουν να εμφανίζονται νωρίτερα κατά τη διάρκεια του έτους, με τη μέση εμφάνιση πλημμύρας να είναι, κατά μέσο όρο, κατά 1 μήνα νωρίτερα μεταξύ 1959-1990 και 1991-2021. Ακόμη, παρατηρήθηκε αύξηση της συνολικής βροχόπτωσης και των ακραίων κατακρημνισμάτων, η οποία συνδέεται με μείωση της προγενέστερης εδαφικής υγρασίας πριν από τα γεγονότα βροχόπτωσης. Η πλειονότητα των πλημμυρικών φαινομένων σχετίζεται με υπερβολική βροχόπτωση σε κορεσμένα εδάφη, αλλά το σχετικό ποσοστό τους μειώνεται με την πάροδο του χρόνου, ιδίως την άνοιξη, με ταυτόχρονη αύξηση της συχνότητας των πλημμυρών μικρής

διάρκειας βροχής. Για τις περισσότερες λεκάνες υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ της προγενέστερης εδαφικής υγρασίας και των συντελεστών απορροής των πλημμυρικών γεγονότων, η οποία παραμένει σταθερή με την πάροδο του χρόνου, με τα ξηρότερα εδάφη να παράγουν μικρότερη απορροή και μικρότερη συμβολή της βασικής ροής στις πλημμύρες. Σε ένα πλαίσιο αυξανόμενης ξηρασίας, η σχέση αυτή είναι η πιθανή αιτία της απουσίας τάσεων στα μεγέθη των πλημμυρών που παρατηρούνται σε αυτή την περιοχή και της αλλαγής των τύπων συμβάντων. Αυτές οι αλλαγές στα χαρακτηριστικά των πλημμυρών είναι αρκετά ομοιογενείς στην περιοχή μελέτης, γεγονός που υποδηλώνει τη συσχέτισή τους με την εξέλιξη του κλίματος της ευρύτερης περιοχής. Συμπέρασμα της μελέτης αυτής ήταν πως τα χαρακτηριστικά των πλημμυρών μπορεί να μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου και οι αλλαγές αυτές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάλυση της μακροπρόθεσμης εξέλιξης των κινδύνων πλημμύρας (Tramblay et al., 2023b).

Ένα ακραίο καιρικό φαινόμενο το οποίο ονομάζεται «Medicane» (Μεσογειακός Τυφώνας) που είναι γνωστό ως Τροπικός Κυκλώνας (Tropical-like Cyclone) με μορφολογικά χαρακτηριστικά ακραίων κυκλωνικών ανεμοθυελλών που εμφανίζονται στη Μεσόγειο Θάλασσα (Lagouvardos et al., 2022) έπληξε και τον Ελλαδικό χώρο. Εξαιτίας του φαινομένου αυτού, που ονομάστηκε «Ιανός», σημειώθηκαν οι κάτωθι υψηλές βροχοπτώσεις (Lagouvardos et al., 2022):

- Η 48ωρη αθροιστική βροχόπτωση (17-19/09/2020) που καταγράφηκε στην περιοχή των Ιονίων Νήσων, έφτασε τα 769 mm στην Κεφαλονιά, τα 250 mm στη Ζάκυνθο και τα 109.8 mm στη Λευκάδα.
- Στην Κεντρική Ελλάδα, στις 18/09/2020 ημερήσια αθροιστική βροχόπτωση που ξεπέρασε τα 250 mm. Αναλυτικότερα, η υψηλότερη τιμή της στην κεντρική Ελλάδα καταγράφηκε στο Περούλι, με συνολική ποσότητα 317 mm, ενώ ακολούθησαν το Μουζάκι και η Καρδίτσα με 274.4 και 268 mm βροχής εντός της ίδιας χρονικής περιόδου.

Τα υψηλά ποσά βροχόπτωσης στην Κεντρική Ελλάδα είχαν ως αποτέλεσμα εκτεταμένες πλημμύρες, ζημιές σε αγροτικές και αστικές περιοχές, 1400 περίπου κατολισθήσεις και τέσσερις ανθρώπινες απώλειες (Diakakis, Boufidis, et al., 2020).

1.1.2 Το φαινόμενο των Αιφνίδιων Πλημμυρών - Flash flood

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση των κατηγοριών πλημμυρών σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της. Η κατηγορία των ξαφνικών πλημμυρών (Flash Floods) είναι αυτή που κυριαρχεί και στον Κυπριακό χώρο. Οι ξαφνικές πλημμύρες αποτελούν έναν από τους πιο καταστροφικούς φυσικούς κινδύνους σε πολλές περιοχές του κόσμου, προκαλώντας σημαντικές απώλειες σε ετήσια βάση (Diakakis, Boufidis, et al., 2020). Παράγοντες οι οποίοι συμβάλλουν στην εμφάνιση τέτοιων φαινομένων είναι η ένταση και η διάρκεια μιας βροχόπτωσης, η γεωμορφολογία της περιοχής, η φυτοκάλυψη η οποία όλο και μειώνεται εξαιτίας της καταστροφής των δασών και η αστικοποίηση. Η εμφάνισή τους γίνεται εντός μερικών ωρών ή λιγότερο και άμεση συνέπειά τους είναι η ταχεία ανύψωση της στάθμης νερού το οποίο μπορεί να προκαλέσει καταστροφικές συνέπειες τόσο για το ανθρωπογενές όσο και το φυσικό περιβάλλον.

Οι αιφνίδιες πλημμύρες καθίστανται ως ένα από τα πιο επικίνδυνα φυσικά φαινόμενα (Diakakis, Boufidis, et al., 2020). Την τελευταία δεκαετία όλο και μεγαλύτερος πλήθος ερευνών εστιάζουν στην ανάπτυξη της μοντελοποίησης και τύπων δεδομένων σχετικά με την πρόβλεψη πλημμυρών από αιφνίδιες πλημμύρες. Πιο συγκεκριμένα, οι έρευνες στρέφονται στη χρήση ποσοτικών εκτιμήσεων, τηλεπισκοπικών δεδομένων στην ανάπτυξη υδρολογικών μοντέλων αλλά και στην πρόβλεψη και εκτίμηση αβεβαιότητας. Η βελτίωση των μέσων πρόβλεψης βροχόπτωσης έχει οδηγήσει στην επέκταση του χρόνου πρόβλεψης αιφνίδιων πλημμυρών έως και έξι ώρες. Για την πρόβλεψή τους έχουν αναπτυχθεί υδρολογικά μοντέλα εννοιολογικά, στατιστικά, νευρωνικών δικτύων και φυσικής βάσης (Haruarachchi et al., 2011). Με τα τελευταία να δίνουν πιο αληθοφανή αποτελέσματα σε σχέση με τα υπόλοιπα. Ωστόσο, κανένα υπάρχον μοντέλο δε μπορεί να κάνει προβλέψεις με μεγάλο βαθμό αξιοπιστίας σε αστικές λεκάνες απορροής, ενώ παράλληλα λόγω της αστικοποίησης, οι αστικές πλημμύρες πληθαίνουν (Haruarachchi et al., 2011).

Στον Ελλαδικό χώρο παράδειγμα πρόσφατου παραδείγματος αιφνίδιας πλημμύρας αποτελεί το επεισόδιο έντονης βροχόπτωσης που έλαβε χώρα στις 15 Νοεμβρίου 2017 στη δυτική Αττική. Πιο συγκεκριμένα, επλήγησαν κυρίως οι περιοχές της Μάνδρας και της Νέας Περάμου, λόγω της δημιουργίας επιφανειακών απορροών στο όρος Πατέρα που κατέληξαν στις πεδινές εκτάσεις αυτές. Γενεσιουργό αίτιο του πλημμυρικού φαινομένου ήταν η ραγδαία και μεγάλης έντασης βροχόπτωση που έπληξε μια μικρής έκτασης περιοχή. Ακόμη, οι περιοχές που επλήγησαν δεν είχαν τις κατάλληλες υποδομές για την παροχέτευση των υδάτινων όγκων και των λασποροών με αποτέλεσμα την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων εκατέρωθεν των ρεμάτων πλήττοντας τόσο της περιοχή εντός όσο και εκτός της πόλης (Diakakis, Deligiannakis, et al., 2020). Η πλημμύρα αυτή, επέφερε τον θάνατο 24 ανθρώπων, καταστροφές σε κινητή και ακίνητη περιουσία και για το λόγο αυτό θεωρείται η τρίτη μεγαλύτερη πλημμύρα στην Αττική (Diakakis, Deligiannakis, et al., 2020). Από αυτοψίες κατεγράφησαν 1064 καταστροφές σε κτίρια (794 εκ των οποίων ήταν κατοικίες, 126 επαγγελματικοί χώροι, 8 δημόσια κτίρια και τα υπόλοιπα 136 αποθήκες και υπόγεια (ERMIS-F, 2017).

Μελέτες έχουν στηριχθεί στην περίπτωση πλημμύρας της Μάνδρας Αττικής ώστε να ποσοτικοποιηθούν οι επιπτώσεις στις υποδομές και στο δικτύου μεταφορών. Τα αποτελέσματα έδειξαν εκτεταμένες ζημιές, το 40% του οδικού δικτύου να πλημμυρίζει ή να μην είναι προσβάσιμο και το 80% των τεχνικών έργων του ποταμού όπως γέφυρες και διαβάσεις να υφίστανται ζημιές (Diakakis, Boufidis, et al., 2020b). Γεγονός που υποδηλώνει την αναγκαία προσαρμογή του οδικού δικτύου σε ενδεχόμενα πλημμυρικά φαινόμενα.

1.1.3 Επιπτώσεις πλημμυρικών φαινομένων

Τα πλημμυρικά φαινόμενα ελλοχεύουν ένα πλήθος αρνητικών επιδράσεων για το περιβάλλον, την οικονομία και την κοινωνία μιας περιοχής. Οι επιπτώσεις τους ανά κλάδο είναι οι εξής:

- Ως προς τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, προκαλείται διάβρωση εδάφους και δύναται να καταστούν εκτάσεις γης ως μη αποδοτικά καλλιεργήσιμες, μόλυνση των υπόγειων

υδάτων και συνάμα των πηγών πόσιμου νερού. Η ρύπανση που προκαλεί μια πλημμύρα μπορεί να καταστρέψει και τη βιοποικιλότητα μιας περιοχής.

- Ως προς τον οικονομικό τομέα μπορεί να προκληθούν καταστροφές σε ακίνητη και κινητή περιουσία, γεωργικές εκτάσεις και υποδομές. Ζημιές στον εμπορικό, τουριστικό, βιομηχανικό και αγροτικό τομέα είναι εξίσου σημαντικές για την οικονομία. Όπως και στο οδικό δίκτυο που φέρει άμεσες επιπτώσεις στις μετακινήσεις των πολιτών. Επιπροσθέτως, η αξία των ακινήτων και των κινητών περιουσιών έπειτα από τέτοιες ζημιές μειώνεται. Τέλος, οι πλημμύρες είναι υπεύθυνες για το 20-30% των οικονομικών προβλημάτων που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές (Elmer et al., 2010).
- Ως προς την κοινωνία, οι πλημμύρες μπορούν να προκαλέσουν υλικές ζημιές οι οποίες να οδηγήσουν σε αναγκαστική αλλαγή στον τόπο κατοικίας ορισμένων ανθρώπων, ακόμα και στον υπερπληθυσμό. Επιπλέον, φέρει επιπτώσεις και στην ασφάλεια των πολιτών καθώς μπαίνουν σε κίνδυνο κοινωφελείς υποδομές όπως νοσοκομεία, γηροκομεία και σχολεία. Οι πλημμύρες μπορεί να οδηγήσουν σε απώλειες θέσεων εργασίας, έλλειψη πρόσβασης σε εκπαιδευτικές δομές αλλά και αύξηση της ενδοοικογενειακής βίας (Mason et al., 2021). Μελέτες έχουν δείξει πως έως και το 75% των ανθρώπων που πλήττονται από πλημμύρες υποφέρουν από προβλήματα ψυχικής υγείας (Munro et al., 2017). Συχνά, προκαλούνται ζημιές σε μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς που είναι αδύνατο να αποκατασταθούν.
- Οι πλημμύρες επηρεάζουν τόσο τη σωματική όσο και την ψυχική υγεία. Οι άμεσες συνέπειες στη σωματική υγεία μπορεί να προέλθουν από πνιγμό, τραυματισμό, υποθερμία και ηλεκτρικούς τραυματισμούς. Κατά τις χρονολογίες 1980 – 2022 καταγράφηκαν 5.608 απώλειες ανθρώπινης ζωής λόγω πλημμύρας σε χώρες που ανήκουν στην Ευρωζώνη (EEA, 2022). Ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την ανθρώπινη υγεία είναι η ενδεχόμενη υπερχειλίση λυμάτων από πλημμύρα που αυξάνει τον κίνδυνο μολυσματικών ασθενειών κυρίως σε μικρές ηλικίες. Έχει αποδειχθεί πως οι πλημμύρες αυξάνουν τον κίνδυνο ιογενών λοιμώξεων όπως ο νοροϊός, η ηπατίτιδα Α και ο ραταϊός που προκαλούνται από παράσιτα αλλά και την εμφάνιση βακτηριακών λοιμώξεων (ECDC, 2021). Επιπλέον, τα στάσιμα νερά που παραμένουν έπειτα από πλημμύρες δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για αναπαραγωγή κουνουπιών και των ασθενειών που αυτά μεταδίδουν. Επίσης, αυξάνεται ο κίνδυνος για καρδιακές προσβολές, αναπνευστικά προβλήματα αλλά και κακή έκβαση εγκυμοσύνης (ECDC, 2021). Όσον αφορά τις έμμεσες επιπτώσεις των πλημμυρικών φαινομένων, τόσο κατά τη διάρκεια όσο και μετά την εμφάνισή τους, περιλαμβάνουν προβλήματα υγείας που μπορεί να προκληθούν από αναγκαστική διακοπή ιατρικών θεραπειών, σωματικό φόρτο εργασίας, ελλείψεις ιατρικής βοήθειας, ηλεκτρικής ενέργειας και πόσιμου νερού αλλά και προβλήματα με αλυσίδες τροφίμων και των ανεφοδιασμό αυτών (Paterson et al., 2018). Η διαβίωση σε κατοικίες που έχουν πληγεί από πλημμύρες ελλοχεύει κινδύνους για πνευμονικές και μυκητιασικές λοιμώξεις αλλά και έκθεση σε μυροξίνες (EEA, 2022).

Στοιχεία που έχουν καταγραφεί για την περίοδο 1998-2002 δείχνουν πως η Ευρώπη έχει πληγεί από περισσότερες από 100 ζημιογόνες πλημμύρες. Στο διάστημα αυτό, οι πλημμύρες

έχουν επιφέρει 700 θανάτους, την αναγκαστική αλλαγή τύπου κατοικίας για μισό εκατομμύριο ανθρώπους και κόστος που ανέρχεται σε 25 δισεκατομμύρια ευρώ για ασφαλισμένες περιουσίες (Πηγή: eur-lex.europa.eu, 2004). Οι περιοχές και τα περιουσιακά στοιχεία αυτών που είναι εκτεθειμένα σε κίνδυνο πλημμύρας είναι πολλά. Παράδειγμα αποτελεί η περιοχή στις όχθες του Ρήνου, όπου περισσότερα από 10 εκατομμύρια άτομα ζούν σε περιοχές τέτοιες και οι δυνητικές ζημιές από πλημμύρες ανέρχονται στο ποσό των 165 δισεκατομμύρια ευρώ. Τέλος, οι παράκτιες περιοχές κινδυνεύουν επίσης από κατακλυσμό λόγω πλημμύρας. Η αξία των αγαθών που βρίσκονται σε απόσταση έως και 500 μέτρων από αυτές τις περιοχές εκτιμάται μεταξύ 500 έως και 1.000 δισεκατομμυρίων ευρώ (Πηγή: eur-lex.europa.eu, 2004).



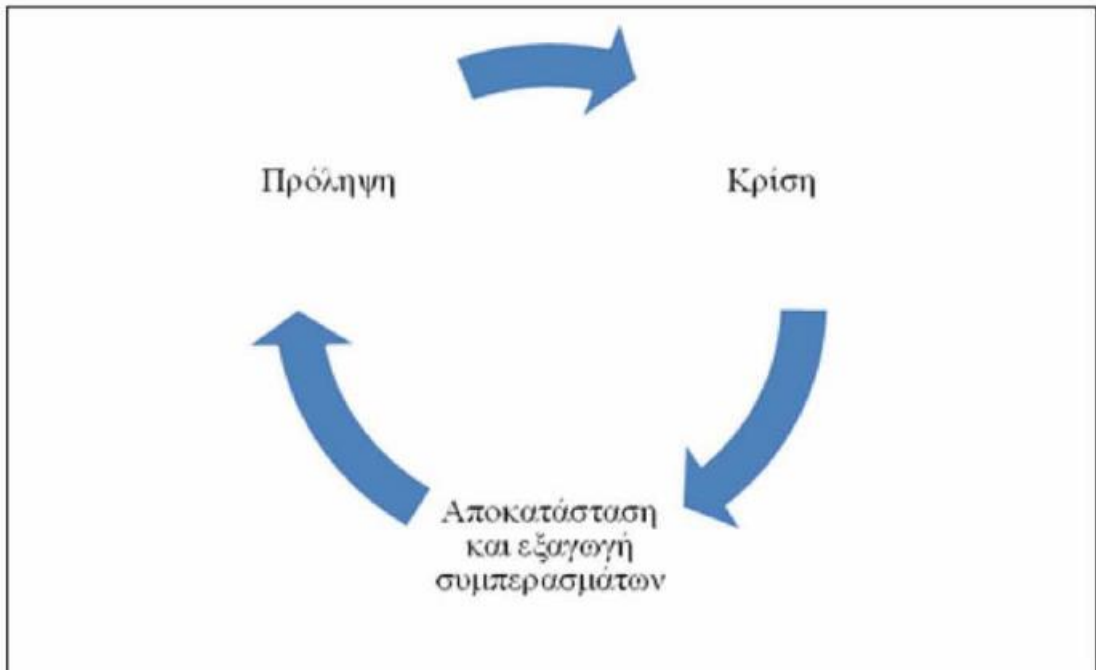
Εικόνα 2. Θάνατοι λόγω πλημμύρας κατά το έτος 2022(Πηγή: eur-lex.europa.eu, 2022)

1.1.4 Μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης Πλημμυρικών φαινομένων

Στη σημερινή εποχή που η κλιματική αλλαγή επηρεάζει χρόνο με το χρόνο ολοένα και περισσότερο τις καιρικές συνθήκες με την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων, είναι αδύνατη η εξάλειψη πλημμυρικών φαινομένων. Οι μελέτες και οι έρευνες εστιάζουν στην πρόληψη και την έγκαιρη προειδοποίηση της κοινωνίας, για μια πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση τέτοιων φαινομένων. Ο διαχωρισμός των ποταμών σε πλημμυρικές ζώνες βοηθούν στη μελέτη. Οι ζώνες αυτές αποτελούν ολοκληρωμένα οικοσυστήματα τα οποία κατά τη διάρκεια πλημμυρικών επεισοδίων μπορούν να αφομοιώσουν σημαντικές ποσότητες της πλημμυρικής αιχμής και των ρύπων που φέρει. Η λειτουργία της πλημμυρικής ζώνης ενός ποταμού καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από χαρακτηριστικά όπως, οι χρήσεις γης (European Commission, 2023).

Στόχος μιας Ολοκληρωμένης Διαχείρισης πλημμυρών είναι η μεγιστοποίηση των θετικών και η βέλτιστη μείωση των αρνητικών επιδράσεων της για τον άνθρωπο. Μια ολοκληρωμένη διαχείριση απαρτίζεται από τρεις φάσεις, την πρόληψη, τη διαχείριση της κρίσης και τέλος την αποκατάσταση των υλικών ζημιών (Σκιάς,2016). Τα κυριότερα οριζόντια και ειδικά μέτρα συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Έγκαιρη προειδοποίηση
- Αντιπλημμυρικά έργα
- Πράσινες υποδομές
- Διαχείριση αποθηκευτικής ικανότητας ταμιευτήρων για ανάσχεση
- Αειφόρο διαχείριση όμβριων υδάτων
- Αποκατάσταση κοίτης ποταμών και παρόχθιων περιοχών για φυσική ανάσχεση
- Διαχείριση και έλεγχο παράνομων επιχωματώσεων και απορρίψεων αντικειμένων εντός ποταμών και χειμάρρων.



Εικόνα 3. Κύκλος Διαχείρισης Πλημμυρικών φαινομένων (Πηγή:Σκιάς, 2016)

Η πλημμυρική επικινδυνότητα στις αστικές περιοχές είναι πλέον ένα ζήτημα που απασχολεί όλο τον πλανήτη, ιδιαιτέρως στις αναπτυσσόμενες χώρες ο κίνδυνος δεν είναι επαρκώς κατανοητός και μελετημένος (European Commission, 2023). Οι προβλέψεις τονίζουν την επιδείνωση των πλημμυρικών φαινομένων, επομένως είναι σημαντικό οι επιστημονική κοινότητα να στραφεί στη μοντελοποίηση των πλημμυρών. Έχουν αναπτυχθεί ερευνητικά προγράμματα που προσομοιώνουν και αξιολογούν τον πλημμυρικό κίνδυνο σε περιοχές ακόμα και με ελλιπή δεδομένα. Τα εν λόγω προγράμματα επικεντρώνονται στην τρέχουσα επιστήμη και φιλοσοφία γύρω από τη διαχείριση των αστικών κινδύνων πλημμύρας και έπειτα από αξιολόγηση παρουσιάζουν ένα συγκεντρωτικό πίνακα με τα προτερήματα και τα αδύνατα σημεία των μοντέλων. Με την πάροδο του χρόνου έχουν αναπτυχθεί μεθοδολογίες οι οποίες συνεχώς βελτιώνονται και έχει συγκεντρωθεί ένα πλήθος δεδομένων γύρω από την υδροδυναμική των πλημμυρών. Ωστόσο, με τα τωρινά δεδομένα δε μπορεί να εδραιωθεί μια γενική οπτική που μπορεί να εφαρμοστεί σε κάθε πεδίο μελέτης. Επόμενο βήμα στην ανάπτυξη αυτών των μοντέλων είναι η δημιουργία παραμετροποιημένων μοντέλων βασισμένα σε ένα σύνολο δεδομένων παγκόσμια κλίμακας. Επιπλέον, πλήθος ερευνών στρέφονται στα μέτρα ετοιμότητας και έγκαιρης προειδοποίησης. Τα αντιπλημμυρικά έργα

που πρόκειται να κατασκευασθούν βασίζονται πλέον σε περιόδους επαναφοράς ακραίων βροχοπτώσεων που εκτιμώνται με κατανομές πιθανοτήτων σε χρονικές σειρές μέγιστων ετήσιων ή μερικής διάρκειας (European Commission, 2023).

1.1.6 1.1.5 Πλημμύρες και Κλιματική Αλλαγή

Ο όρος «Κλιματική Αλλαγή» αφορά τις αλλαγές που έχουν προκύψει με την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Το φαινόμενο αυτό επηρεάζει τόσο το περιβάλλον όσο και την κοινωνία, όπως η αύξηση της θερμοκρασίας, το λιώσιμο των πάγων και η ξηρασία (European Commission, 2023). Οι φυσικοί κίνδυνοι έχουν προκαλέσει σοβαρές συνέπειες τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι συνέπειες αυτές φαίνεται να αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου λόγω της μεγαλύτερης έντασης των φυσικών φαινομένων αλλά και της μεγαλύτερης οικονομικής βαρύτητας των απειλούμενων δραστηριοτήτων. Μεταξύ των κινδύνων που σχετίζονται με το νερό, οι κίνδυνοι πλημμύρας έχουν τις πιο καταστροφικές επιπτώσεις (Papaioannou et al., 2018b).

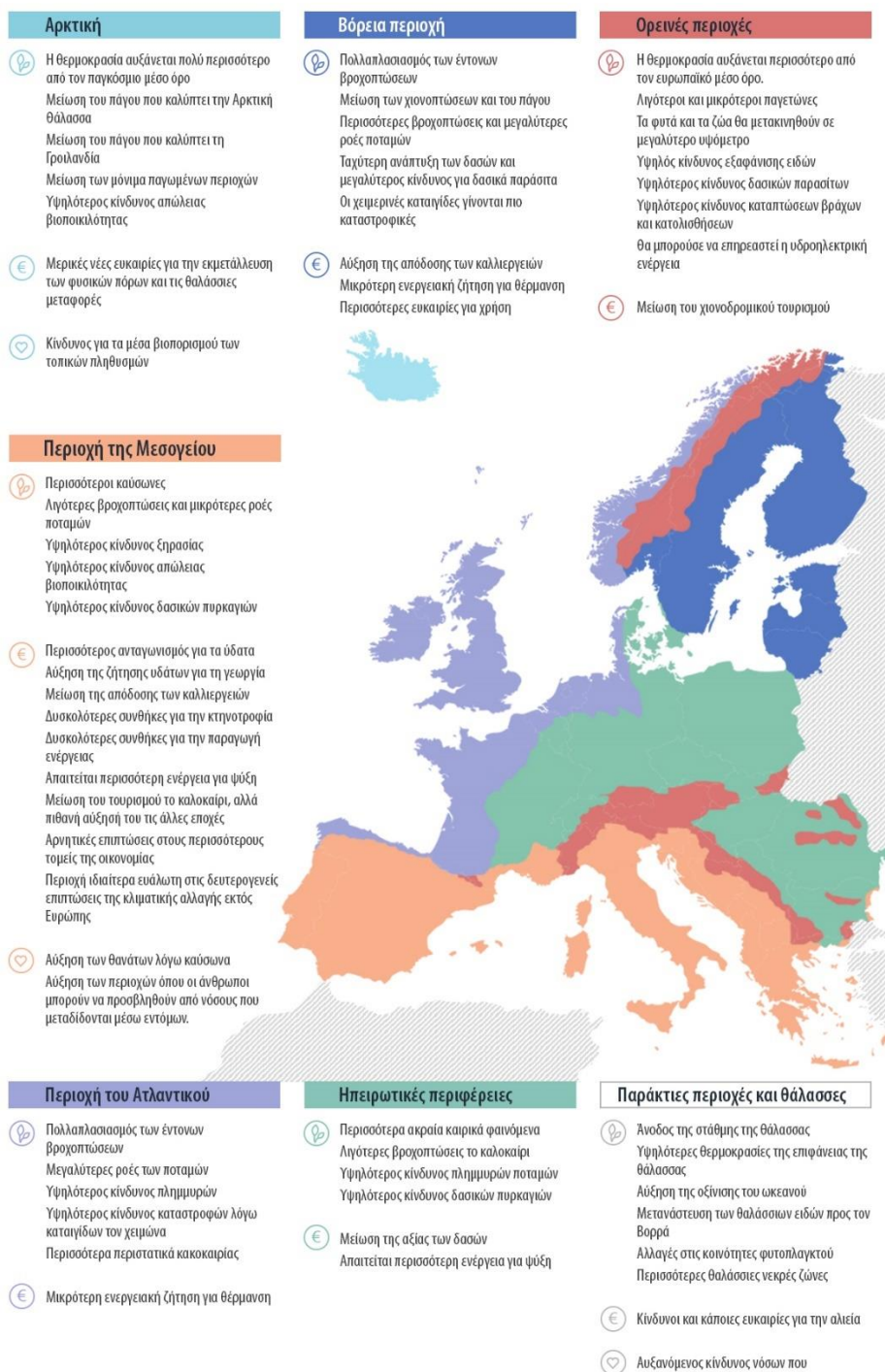
Οι επιπτώσεις αυτές είναι ήδη ορατές και στον Ευρωπαϊκό χώρο τόσο στο οικοσύστημα όσο και στην οικονομία και ευημερία των πολιτών. Οι ανάγκες της κάθε περιοχής είναι διαφορετικές όμως ως επί το πλείστον αρνητικές. Εξάίρεση αποτελούν κάποια παραδείγματα όπως η μειωμένη ζήτηση για θέρμανση και οι πιο ευνοϊκές συνθήκες στη γεωργία κυρίως στην περιοχή της Βόρειας Ευρώπης (European Commission, 2023).

Σύμφωνα με μελέτες που βασίζονται σε παρατηρήσεις και μοντέλα, η περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου είναι ένα από τα πιο σημαντικά σημεία που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή στον κόσμο. Η συνδυασμένη επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας και της ξήρανσης αναμένεται να ενισχύσει τις περιφερειακές επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη (Zittis et al., 2020b).

Στοιχεία δείχνουν πως η μεγαλύτερη πηγή εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου μετά τις Κίνα, Ινδία και ΗΠΑ ήταν η Ευρώπη κατά το έτος 2019 (European Commission, 2023). Σύμφωνα με στατιστικά ως προς τις παγκόσμιες εκπομπές αερίων που έχουν καταγραφεί, στον χώρο της ΕΕ μειώθηκαν από 15,2% το 1990 σε 7,3% το 2019. Η πανδημία του κορονοϊού σύνδραμε θετικά στον περιορισμό των εκπομπών, με τον περιορισμό των μετακινήσεων αλλά και τη σταδιακή μείωση λειτουργίας βιομηχανιών, περιορίζοντας τις εκπομπές κατά 31% έως το 2020.

Η ΕΕ κλήθηκε να λάβει εκ νέου καθοριστικές αποφάσεις για τη διαχείριση και την αντιμετώπιση όλων αυτών των φαινομένων. Έπειτα από Συνόδους Κορυφής αλλά και διασκέψεις όπως αυτή για την Κλιματική Αλλαγή (COP27) συγκέντρωσε τα κυριότερα γεγονότα και προχώρησε σε διαπραγματεύσεις για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής. Έτσι, το 2021 έθεσε νόμους για την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας έως το 2050 όπως και για την μείωση των εκπομπών 55% έως το 2030 (European Commission, 2023).

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ



Πηγή: Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος



Εικόνα 4. Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στον Ευρωπαϊκό Χώρο (Πηγή: www.europarl.europa.eu/news/el, Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο)

Η κλιματική αλλαγή φαίνεται πως έχει επιφέρει αύξηση στην συχνότητα εμφάνισης ακραίων καιρικών και των επακόλουθων αβεβαιοτήτων κινδύνου πλημμύρας εντός αστικής ζώνης, γεγονός που αυξάνει τη δυσκολία πρόληψης έναντι των αστικών πλημμυρών. Η εκτίμηση των μελλοντικών τάσεων για ενδεχόμενες πλημμύρες με σενάρια κλιματικής αλλαγής βοηθάει στην πρόληψή τους.

Για την καλύτερη μελέτη των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής στο περιβάλλον καταρτήθηκαν σενάρια από το Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) με βάση την 5^η έκθεση αξιολόγησης για την κλιματική αλλαγή, 2014. Τα προηγούμενα χρόνια η IPCC χρησιμοποιούσε ένα σύνολο σεναρίων γνωστών ως SRES (Special Report on Emissions Scenarios) τα οποία εξέταζαν κοινωνικοοικονομικές συνθήκες που επηρεάζουν τις τροχιές των εκπομπών αερίων αλλά και τις κλιματικές τους επιπτώσεις (IPCC, 2023). Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος, IPCC, ανέπτυξε μια σειρά μοντέλων, RCP (Representative Concentration Pathway) μέσω των οποίων διερευνώνται και μοντελοποιούνται διαφορετικά σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG) και οι πιθανές επιπτώσεις τους στην κλιματική αλλαγή. Τα RCP χρησιμοποιούν και αξιολογούν διαφορετικές πιθανές μελλοντικές κλιματικές εξελίξεις και αποτυπώνονται σε τέσσερα κύρια σενάρια, καθένα από τα οποία αντιπροσωπεύει ένα διαφορετικό επίπεδο ακτινοβολίας έως το έτος 2100. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία καθορίζεται μεταξύ της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας στην ατμόσφαιρα της Γης και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της πιθανότητας υπερθέρμανσης του πλανήτη (IPCC, 2023).

Τα τέσσερα κύρια σενάρια συνοψίζονται στα ακόλουθα (IPCC, 2023):

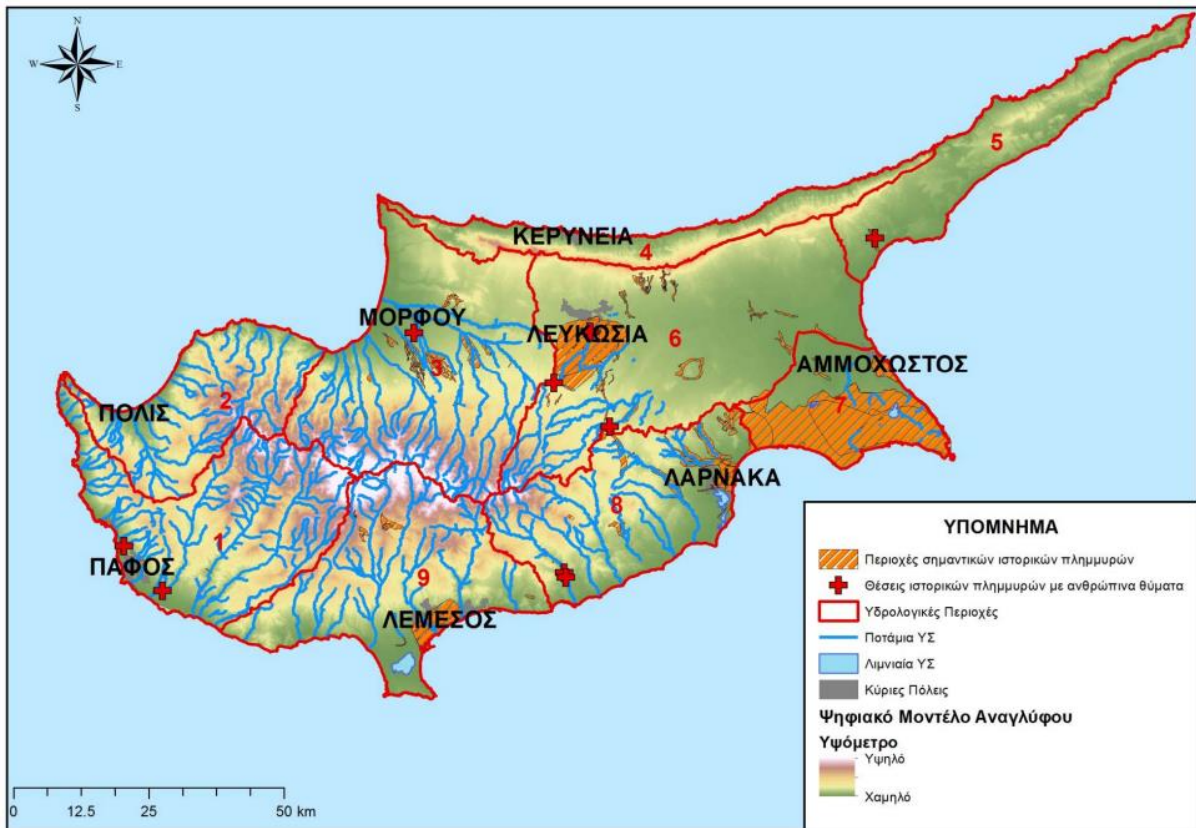
- **RCP 2.6**, αποτελεί σενάριο χαμηλών εκπομπών και βασίζεται σε άμεσες και ισχυρές προσπάθειες για τη μείωσή τους. Μέχρι το 2100 η εκπεμπόμενη ακτινοβολία υπολογίζεται στα 2,6 Watt/m², γεγονός που συνάδει με τον περιορισμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη και η εκτιμώμενη αύξηση της θερμοκρασίας 1° C και της στάθμης της θάλασσας 0,4 m κατά τα έτη 2081 έως 2100 (σε σχέση με τα έτη 1986-2005).
- **RCP 4.5**, αποτελεί σενάριο μέτριων εκπομπών στο οποίο οι εκπομπές κορυφώνονται περίπου στα μέσα του αιώνα και έπειτα μειώνονται. Έως το έτος 2100 η εκπεμπόμενη ακτινοβολία ανέρχεται στα 4,5 Watt/m² που υποδηλώνει σημαντική μείωση των εκπομπών και αύξηση της θερμοκρασίας 1,81° C και της στάθμης της θάλασσας 0,47 m κατά τα έτη 2081 έως 2100 (σε σχέση με τα έτη 1986-2005).
- **RCP 6.0**, αποτελεί σενάριο μεσαίων εκπομπών με εκπεμπόμενη ακτινοβολία 6 Watt/m², εκτιμώμενη αύξησης της θερμοκρασίας 2,2° C και της στάθμης της θάλασσας 0,48 m κατά τα έτη 2081 έως 2100 (σε σχέση με τα έτη 1986-2005).
- **RCP 8.5**, αποτελεί σενάριο υψηλών εκπομπών με συνεχή τους αύξηση χωρίς καταβολή σημαντικής προσπάθειας αντιμετώπισής τους με την εκτιμώμενη ακτινοβολία να ανέρχεται στα 8,5 Watt/m², εκτιμώμενη αύξησης της θερμοκρασίας 3,7° C και της στάθμης της θάλασσας 0,63 m κατά τα έτη 2081 έως 2100 (σε σχέση με τα έτη 1986-2005).

1.2 Οι Πλημμύρες στην Κύπρο

Τη θέση της Κύπρου στο ανατολικό άκρο της Μεσογείου την χαρακτηρίζει η μεσογειακή κλιματική ζώνη με ήπιο χειμώνα και ζεστό καλοκαίρι. Πιο συγκεκριμένα, κατά τους χειμερινούς μήνες δε σημειώνονται ακραία καιρικά φαινόμενα, πάρα μόνο λίγες βροχές και χιονοπτώσεις στα βουνά του Τροόδους με τον υδράργυρο να κυμαίνεται 12-15°C . Ενώ κατά τους θερινούς μήνες, είναι εμφανές το «Ασιατικό Καλοκαίρι» που επηρεάζει την ανατολική Μεσόγειο, με υψηλές θερμοκρασίες και έντονη ηλιοφάνεια με τη μέση θερμοκρασία να κυμαίνεται στους 32°C στις παράκτιες περιοχές. Στο κέντρο της Κύπρου η θερμοκρασία συχνά φτάνει τους 40°C. Η υγρή περίοδος διαρκεί 5 μήνες, από το Νοέμβριο έως το Μάρτιο με την κορύφωση των κατακρημνίσεων από Δεκέμβρη έως Φεβρουάριο σε ποσοστό 60% (Tsiakkios & Pashiardis, 2002). Οι βροχοπτώσεις οφείλονται στην κίνηση των θαλάσσιων ρευμάτων προς τα βόρεια και καταγράφονται σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου (Kostoroulou & Jones, 2007). Πιο σπάνια, σε ποσοστό μικρότερο του 5% του συνολικού ετησίου ποσοστού βροχόπτωσης, καταγράφονται καλοκαιρινές καταιγίδες (Tsiakkios & Pashiardis, 2002).

Οι προβλέψεις για τις μελλοντικές μεταβολές της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων δείχνουν αύξηση θερμοκρασίας. Για τα επόμενα 30 χρόνια, δηλαδή την περίοδο 2021-2050 φαίνεται πως η αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι της τάξης 1,3 - 1,9°C, ενώ για την περίοδο 2071-2100 η αύξηση θα είναι 3,6-5°C. Στην ελάχιστη μέση θερμοκρασία δείχνει αύξηση 1,5°C για την περίοδο 2021-2050 (Giannakopoulos et al., 2010).

Τα πλημμυρικά γεγονότα που έχουν καταγραφεί στον Κυπριακό χώρο από το 1859 έως το 2011 ανέρχονται στα 468 (Πηγή: Τοπικές εφημερίδες, Τμήμα Μετεωρολογίας, Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων). Το πλήθος των πλημμυρών αποτελούνται από αστικές, ποτάμιες αιφνίδιες πλημμύρες και οφείλονται κυρίως σε παράγοντες όπως: το μικρό μέγεθος της λεκάνης απορροής, την απότομη κλίση του εδάφους, τη χαμηλή βλάστηση, τη μεγάλη ένταση βροχόπτωσης και το μικρό χρόνο συγκέντρωσης. Αν και η συχνότητα εμφάνισης αστικών πλημμυρών είναι μεγαλύτερη, έχουν μικρότερες συνέπειες. Έχουν καταγραφεί 39 απώλειες ανθρώπινης ζωής από το 1859 έως το 2016 που οφείλονται σε ποτάμιες αιφνίδιες πλημμύρες. Σε αυτό οφείλεται η υψηλή ταχύτητας ροής, η απότομη άνοδος της πλημμυρικής στάθμης και το μικρό χρονικό περιθώριο απόκρισης τόσο για το κάθε άτομο όσο και για τις αρμόδιες αρχές. Γενικότερα, στην Κύπρο κυριαρχούν οι σύντομες και ξαφνικές πλημμύρες και όχι μεγάλης διάρκειας πλημμυρικά φαινόμενα.



Εικόνα 5. Ιστορικές Πλημμύρες στην Κύπρο (Πηγή: Παναγόπουλος et al., 2016)

Στην Κύπρο, συναντάται το φαινόμενο εμφάνισης συχνών και παρατεταμένων περιόδων υδρολογικής ξηρασίας με χαμηλές αποθέματα ποσοτήτων νερού που οφείλεται σε βροχόπτωση χαμηλότερης του μέσου όρου (ΤΑΥ, 2022). Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή μιας ορθολογικής και βιώσιμης διαχείρισης των υδατικών πόρων ώστε να αξιοποιηθούν κατάλληλα οι υδατικές πηγές σε περιόδους ξηρασίας. Τροχοπέδη στην προσπάθεια αυτή, είναι η υπεράντληση των υπόγειων υδάτων με ανεξέλεγκτες αντλήσεις με αποτέλεσμα τη μη αναστρέψιμη εξάντληση των υπόγειων υδροφόρων και αντίστοιχα σε παράκτιες περιοχές της μη αναστρέψιμης υφαλμύρινσής τους (ΤΑΥ, 2022).

Στην παρακάτω εικόνα αποτυπώνεται το υδατικό ισοζύγιο, ζήτηση αλλά και η προσφορά υδάτων των περιοχών της Κύπρου που υπάγονται στην Κυπριακή Δημοκρατία. Φαίνεται πως στο μεγαλύτερο πλήθος των ετών το ισοζύγιο παραμένει θετικό δηλαδή ανταποκρίνεται στη ζήτηση των χρηστών (ΤΑΥ, 2022).

| Έτος | Ζήτηση νερού (MCM) | Διαθέσιμη ποσότητα Νερού από Συμβατικές πηγές | | | | Ενίσχυση του Υδατικού Ισοζυγίου από Μη Συμβατικές πηγές | | Ολική διαθέσιμη ποσότητα νερού (MCM) [(από βροχόπτωση) + ασφαλισμένο + ανακυκλωμένο] | Ισοζύγιο Νερού (MCM) [= Διαθέσιμη ποσότητα νερού - Ζήτηση νερού] | Ποσότητα νερού που διατέθηκε για ύδρευση (MCM) |
|------|--------------------|---|--------------------|---|---|---|------------------------------------|--|--|--|
| | | Βροχόπτωση (mm) | Όγκος βροχής (MCM) | Διαθέσιμη ποσότητα νερού από βροχόπτωση (MCM) [Σημείωση: Περίπου το 90% της βροχόπτωσης χάνεται λόγω εξατμισοδιαπνοής και περίπου 2% από απορροή στη θάλασσα] | Ισολογισμός Νερού(MCM) [- Διαθέσιμη ποσότητα νερού από βροχόπτωση - Ζήτηση νερού] | Ποσότητα ασφαλισμένου νερού (MCM) | Ποσότητα ανακυκλωμένου νερού (MCM) | | | |
| 2010 | 257 | 429 | 2570 | 197 | -60 | 53 | 12 | 262 | 5 | 82 |
| 2011 | 258 | 558 | 3348 | 265 | 7 | 49 | 14 | 328 | 70 | 81 |
| 2012 | 259 | 790 | 4737 | 404 | 145 | 18 | 17 | 438 | 179 | 80 |
| 2013 | 260 | 295 | 1770 | 117 | -143 | 11 | 17 | 145 | -115 | 78 |
| 2014 | 261 | 393 | 2358 | 173 | -88 | 33 | 17 | 222 | -39 | 80 |
| 2015 | 262 | 484 | 2904 | 228 | -34 | 38 | 17 | 284 | 23 | 82 |
| 2016 | 263 | 430 | 2580 | 198 | -65 | 69 | 19 | 285 | 22 | 90 |
| 2017 | 264 | 326 | 1956 | 136 | -128 | 69 | 20 | 224 | -40 | 94 |
| 2018 | 265 | 607 | 3642 | 300 | 35 | 70 | 21 | 391 | 126 | 95 |
| 2019 | 266 | 797 | 4782 | 405 | 139 | 55 | 24 | 484 | 218 | 94 |
| 2020 | 266 | 472 | 2832 | 221 | -45 | 30 | 22 | 273 | 7 | 90 |
| 2021 | 266 | 454 | 2724 | 210 | -56 | 49 | 22 | 281 | 15 | 97 |
| 2022 | 266 | 460 | 2760 | 214 | -52 | 53 | 24 | 291 | 25 | 102 |

Εικόνα 6. Ετήσιο Υδατικό Ισοζύγιο της Κύπρου (Πηγή: TAY, 2022)

1.2.21.2.1 Αιτίες Πλημμυρών στην Κύπρο

Σύμφωνα με τη επιστημονικά άρθρα για τη διαχείριση κινδύνων πλημμύρας (Παναγόπουλος et al., 2016), οι σημαντικότερες και συχνότερες αιτίες πλημμυρών στην Κύπρο συνοψίζονται στις ακόλουθες:

- Αδυναμία της κοίτης να παροχετεύσει την πλημμυρική αιχμή, ακόμη και χωρίς πίεση της κοίτης
- Στενώσεις της κοίτης σε επιμέρους τμήματα λόγω διάφορων πιέσεων όπως οικιστικών, σε συνδυασμό με τη σημαντική φυτοκάλυψη
- Μη ικανοποιητικός σχεδιασμός τεχνικών έργων οδικών αξόνων (οχετοί και γέφυρες) με ανεπαρκή διατομή για τις συχνές διελεύσεις και με απουσία έργων συναρμογής (περυγότοιχοι)
- Κάλυψη της κοίτης για εξυπηρέτηση αστικών χρήσεων χωρίς κατάλληλη μελέτη
- Διακοπή της κοίτης των ρεμάτων λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων
- Ενσωμάτωση κοίτης στον αστικό ιστό
- Αποσπασματική αντιπλημμυρική προστασία

1.2.31.2.2 Επιπτώσεις Πλημμυρών στην Κύπρο

Σύμφωνα με τη τα ίδια άρθρα ως προς τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας (Παναγόπουλος et al., 2016), οι σημαντικότερες επιπτώσεις πλημμυρικών επεισοδίων συνοψίζονται στις ακόλουθες:

- Κατάκλυση κυρίως αστικών περιοχών με σημαντικό οικονομικό και κοινωνικό κόστος
- Υπερχειλίσεις τεχνικών έργων οδικών διελεύσεων βάζοντας σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές σε περιπτώσεις αιφνίδιων πλημμυρών

- Κατάκλυση βιομηχανικών, αγροτικών, εμπορικών και τουριστικών εγκαταστάσεων
- Ελάχιστες κατακλύσεις σε περιοχές που αποτελούν πολιτιστική κληρονομιά με εξαίρεση στον ποταμό Πεδιαίο (για περίοδο επαναφοράς 100 έτη)
- Ελάχιστες κατακλύσεις βιομηχανικών περιοχών δυνητικής ρύπανσης, με εξαίρεση στον ποταμό Αλμυρό-Άλυκο (για περίοδο επαναφοράς 100 έτη)

1.3 Οδηγία 2007/60/ΕΚ για τις Πλημμύρες

Τα τελευταία χρόνια ολοένα και πληθαίνουν τα φαινόμενα καταστροφικών πλημμυρών που πλήττουν τις ανθρώπινες ζωές, το περιβάλλον αλλά και τις υποδομές. Η Ευρωπαϊκή Ένωση αναγνωρίζοντας την όξυνση και την σοβαρότητα του φαινομένου, προχώρησε στη θέσπιση κοινοτικής οδηγίας για τη διαχείριση του κινδύνου των πλημμυρών.

Τον Οκτώβριο του 2007 ψηφίστηκε η Οδηγία 2007/60/ΕΚ που προωθεί την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Αφορμή για τη δημιουργία της Οδηγίας στάθηκαν οι έντονες πλημμύρες που εκδηλώθηκαν στον Ευρωπαϊκό χώρο κατά τα έτη 1998 έως 2002 που σημειώθηκαν 100 στο σύνολο (έως το έτος 2004). Αποτέλεσμα αυτών των φαινομένων ήταν η απώλεια 700 ανθρωπίνων ζωών, 500.000 άστεγοι και οικονομικές ζημιές ύψους 25 δισεκατομμυρίων ευρώ (European Environment Agency).

Έτσι και η Κυπριακή Δημοκρατία ως Κράτος Μέλος της ΕΕ εναρμονίστηκε με τις διατάξεις της Οδηγίας, μεταφέροντας τις στο Κυπριακό Δίκαιο. Συγκεκριμένα, έθεσε σε ισχύ τους νόμους του 2010 και 2012, η νομοθεσία που τέθηκε σε ισχύ τον Ιούλιο του 2010 ορίζει ως «Αρμόδια Αρχή» για την εφαρμογή της το ΤΑΥ και ως «Συντονιστική Αρχή» το Υπουργείο Εσωτερικών.

Η νομοθεσία περιέχει εξαετείς κύκλους εφαρμογής με τρία στάδια εφαρμογής για κάθε κύκλο.

- 1^ο Στάδιο :Έως το Δεκέμβριο του 2011 την ολοκλήρωση :
 - i. Της μελέτης ΠΑΚΠ η οποία αφορά τους πιθανούς κινδύνους πλημμύρας και έχει γνώμονα ιστορικές πλημμύρες, την πιθανότητα μελλοντικών πλημμυρών και των επιπτώσεων που ελλοχεύουν.
 - ii. Βάσει των αποτελεσμάτων της ΠΑΚΠ θα καθοριστούν οι «Περιοχές Δυνητικού Σοβαρού Κινδύνου Πλημμύρας» , δηλαδή περιοχές με αυξημένες πιθανότητες να εμφανιστούν πλημμύρες. Οι Περιοχές αυτές τίθενται προς επανεξέταση και αντίστοιχα επικαιροποιούνται έως το Δεκέμβρη του 2018. Εν συνεχεία, οι Περιοχές θα επανεξετάζονται και ανάλογα θα επικαιροποιούνται κάθε έξη χρόνια.
- 2^ο Στάδιο :Έως το Δεκέμβριο του 2013 την ολοκλήρωση:
 - i. Των **Χαρτών Επικινδυνότητας Πλημμύρας (ΧΕΠ)** οι οποίοι παρουσιάζουν για κάθε μία από τις «Περιοχές Πλημμύρας» την έκταση που μπορεί να καλυφθεί με νερό σε τρία διαφορετικά σενάρια πλημμύρας:
 1. Πλημμύρα με πιθανότητα εμφάνισης 1 φορά στα 500 χρόνια
 2. Πλημμύρα με πιθανότητα εμφάνισης 1 φορά στα 100 χρόνια
 3. Πλημμύρα με πιθανότητα εμφάνισης 1 φορά στα 20 χρόνια

Επιπλέον, οι Χάρτες Επικινδυνότητας δείχνουν το βάθος του νερού στις Περιοχές Πλημμύρας.

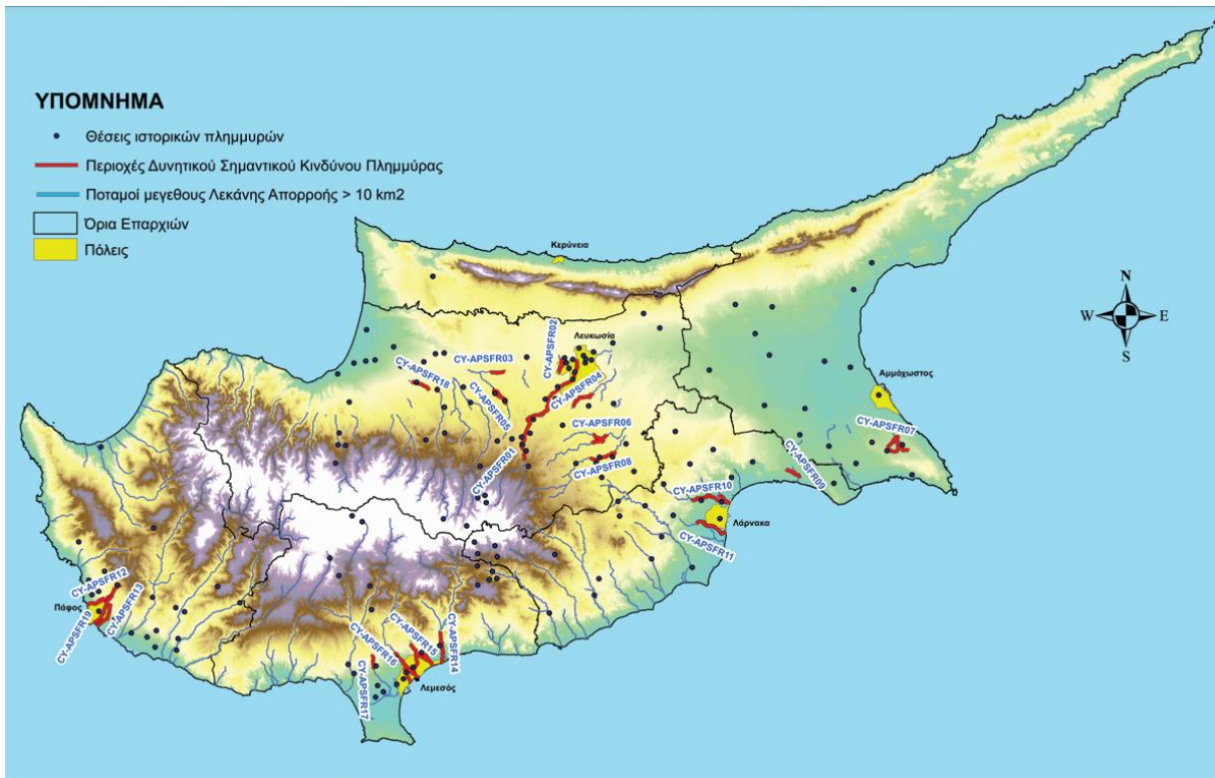
- ii. Των **Χαρτών Κινδύνου Πλημμύρας (ΧΚΠ)** οι οποίοι παρουσιάζουν τις πιθανές αρνητικές συνέπειες στις Περιοχές Πλημμύρας για καθένα από τα τρία σενάρια πλημμυρών (χαμηλής, μέσης και υψηλής πιθανότητας) και παραθέτουν πληροφορίες αναφορικά με:
1. Το πλήθος ανθρώπων που ενδέχεται να πληγεί
 2. Το μέγεθος την οικονομικής, πολιτιστικής και αρχαιολογικής σημασίας που ενδέχεται να πληγεί
 3. Τις εγκαταστάσεις που μπορεί να προκαλέσουν ρύπανση κατά τη διάρκεια μιας πλημμύρας
 4. Άλλες πιθανές πηγές ρύπανσης

Οι Χάρτες Επικινδυνότητας και Κινδύνων Πλημμύρας θα επανεξεταστούν και ανάλογα θα επικαιροποιηθούν έως το Δεκέμβριο του 2019. Η διαδικασία επανεξέτασης-επικαιροποίησης θα επαναλαμβάνεται κάθε 6 χρόνια.

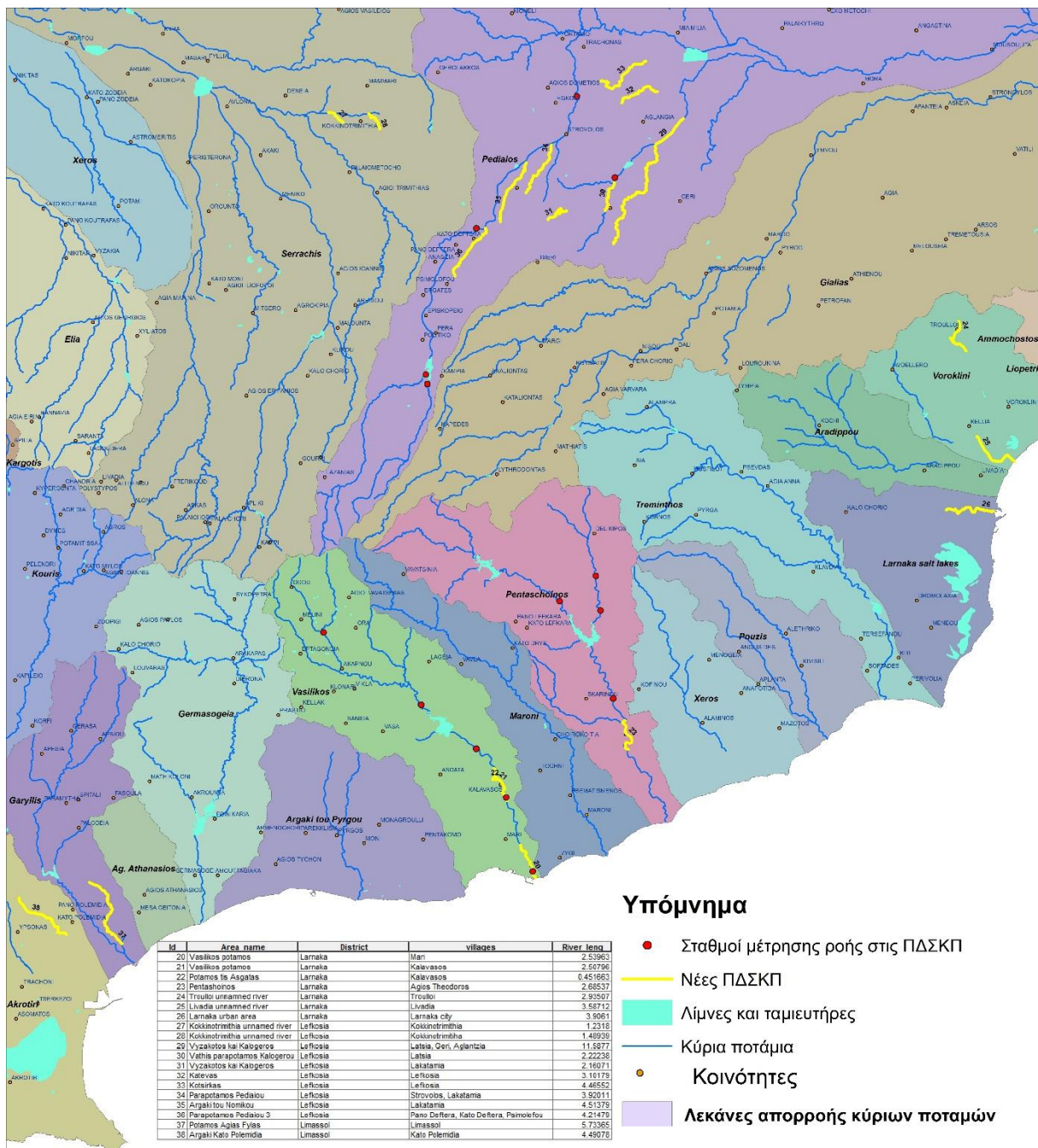
- 3^ο Στάδιο: Την κατάρτιση **ΣΔΚΠ** για τις Περιοχές Πλημμύρας έως το Δεκέμβριο του 2015. Σύμφωνα με το Νόμο κάθε Κράτος μέλος της ΕΕ αναλαμβάνει να θέσει στόχους για τη διαχείριση των κινδύνων που μπορεί να εμφανιστούν στις Περιοχές Πλημμύρας που προέκυψαν ώστε να περιοριστούν οι δυνητικές αρνητικές συνέπειες αλλά και η μείωση εμφάνισής τους. Τα σχέδια θα σχεδιαστούν με γνώμονα την πρόληψη, την προστασία και την ετοιμότητα για την αντιμετώπιση μιας πλημμύρας και των συνεπειών της που φέρει, όλα αυτά συναρτήσει του κόστους, των ωφελειών, την έκταση, των χρήσεων γης αλλά και τη διαφύλαξη του περιβάλλοντος. Έως το Δεκέμβριο του 2021 τα ΣΔΚΠ περνάνε από επανεξέταση-επικαιροποίηση και η διαδικασία έκτοτε επαναλαμβάνεται κάθε 6 έτη.

1.3.1 Η Οδηγία 2007/60/ΕΚ στην Κύπρο

Στην Κύπρο έως και τον Ιούνιο του 2020 έχουν ολοκληρωθεί με την επίβλεψη του ΤΑΥ τα 3 στάδια του 1^{ου} κύκλου εφαρμογής και προχωρά η διαδικασία και των 3 σταδίων του 2^{ου} κύκλου εφαρμογής. Συγκεκριμένα, έχει ολοκληρωθεί το 1^ο στάδιο και βάσει της ΠΑΚΠ που προέκυψε έχουν καθοριστεί 19 επιπρόσθετες περιοχές δυνητικού κινδύνου, Περιοχές Πλημμύρας, αυξάνοντας τον συνολικό αριθμό τους σε 38. Επιπλέον, έχουν δημοσιευθεί οι Χάρτες Κινδύνου και Επικινδυνότητας Πλημμύρας του ΣΔΚΠ 2022-2027. Η 2^η Αναθεώρηση του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας της Κύπρου δημοσιεύθηκε το Δεκέμβριο του 2023.



Εικόνα 7. Χάρτης Περιοχών Δυνητικού Σοβαρού Κινδύνου Πλημμύρας - 2011 (Πηγή: www.moa.gov.cy/wdd, ΤΑΥ)



Εικόνα 8. Νέες πρόσθετες Περιοχές Σοβαρού Κινδύνου Πλημμύρας – 2018 (Πηγή: www.moa.gov.cy/wdd, TAY)

1.4 Διαχείριση Πλημμυρικού Κινδύνου και Υδραυλική προσομοίωση

1.4.21.4.1 Υδραυλική προσομοίωση για τη Διαχείριση των Πλημμυρικών φαινομένων

Η Διαχείριση των πλημμυρών αποτελεί ζήτημα μείζονος σημασίας στις μέρες μας. Στην εποχή μας, εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής εμφανίζονται ακραία καιρικά φαινόμενα. Ο υδρολογικός κύκλος αναμένεται να ενταθεί με την υπερθέρμανση του πλανήτη, γεγονός που αυξάνει την ένταση των ακραίων βροχοπτώσεων και τον κίνδυνο εμφάνισης πλημμυρών

(Tabari, 2020b). Η εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων δε μπορεί να προσδιοριστεί επακριβώς, όμως με τα κατάλληλα επιστημονικά εργαλεία όπως η υδρολογική και η υδραυλική προσομοίωση, μπορεί να επιτευχθεί η ακριβής πρόβλεψη και ο εντοπισμός των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες. Με την κατάρτιση των υδραυλικών ομοιωμάτων και την εξαγωγή των Χαρτών Κινδύνου Πλημμύρας και Επικινδυνότητας Πλημμύρας ποσοτικοποιείται η καταστροφή που μπορεί να υποστεί μια περιοχή τόσο σε ανθρώπινες ζωές όσο και σε υλικές ζημιές.

1.4.31.4.2 Επίλυση Υδραυλικής Προσομοίωσης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιλέχθηκε να αναλυθεί και να αξιολογηθεί η πλήρης δισδιάστατη υδραυλική προσομοίωση και να διερευνηθούν οι δυνατότητές της έναντι της συνδυασμένης (1D/2D) προσομοίωσης. Έπειτα από την κατάρτιση και την αξιολόγηση των μοντέλων αποδείχθηκε πως η πλήρης δισδιάστατη αποτύπωση δίνει εξίσου ικανοποιητικά αποτελέσματα. Μέτρο σύγκρισης αποτέλεσαν το πλημμυρικό πεδίο, τα βάθη και οι ταχύτητες ροής αλλά και τα υδρογραφήματα εξόδου.

1.5 Αντικείμενο της εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η υδραυλική προσομοίωση σε πλήρως δισδιάστατη ανάλυση, δυο Περιοχές Δυνητικού Σοβαρού Κινδύνου Πλημμύρας, ΠΔΣΚΠ, της Κύπρου μέσω του προγράμματος HEC-RAS και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με αυτά της συνδυασμένης (1D/2D) ανάλυσης. Στα πλαίσια εφαρμογής του 2^{ου} Κύκλου της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ αναγνωρίστηκαν 19 πρόσθετες ΠΔΣΚΠ για τις οποίες καταρτίστηκαν ομοιώματα συνδυασμένης ροής. Στη συγκεκριμένη διπλωματική, επιλέχθηκε η μελέτη δυο εξ αυτών, της ΠΔΣΚΠ 21-22 και της ΠΔΣΚΠ 29 με σκοπό να μελετηθεί η συμπεριφοράς των ομοιωμάτων πλήρους δισδιάστατης ανάλυσης τόσο σε περιοχές ήπιων όσο και σε περιοχές πιο έντονων κλίσεων.

2. Περιοχή Μελέτης και Υδραυλική Προσομοίωση

2.1 Περιοχή Μελέτης

2.1.22.1.1 Γεωγραφική θέση

Η Κύπρος ή Κυπριακή Δημοκρατία επισήμως, αποτελεί νησιωτικό κράτος της ανατολικής Μεσογείου και γεωγραφικά ανήκει στη Μέση Ανατολή. Ωστόσο, λόγω της θέσης της στην Ευρωπαϊκή Ένωση και τις σχέσεις της με αυτή, θεωρείται το νοτιοανατολικό άκρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης και την Ευρωπαϊκής ηπείρου. Η πρωτεύουσα και παράλληλα μεγαλύτερη σε έκταση πόλη της είναι η Λευκωσία η οποία αποτελεί τη μοναδική διαιρεμένη πρωτεύουσα της Ευρώπης και ακολουθεί η Λεμεσός (Κυπριακή Δημοκρατία, 2023).

Η θέση της είναι ιδιαίτερα σημαντική αφού εξυπηρετεί σε στρατηγικούς σκοπούς τόσο σε εναέρια όσο και σε θαλάσσια μέσα αλλά και στη μεταφορά ανθρώπων και αγαθών. Βρίσκεται βόρεια της διώρυγας του Σουέζ αποτελεί την πλησιέστερη πρόσβαση της Ευρώπης στη Μέση Ανατολή που βρίσκονται τα περισσότερα κοιτάσματα πετρελαίου παγκοσμίως (Κυπριακή Δημοκρατία, 2023).



Εικόνα 9. Απεικόνιση της Κύπρου (Πηγή: Google Earth Pro)

2.1.42.1.2 Έκταση

Η Κύπρος αποτελεί το τρίτο μεγαλύτερο νησί της Μεσογείου, με έκταση 9251 km² και πληθυσμό 918.100 κατοίκων σύμφωνα με την απογραφή του 2021. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011, το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασης του νησιού, 59,79% ανήκει στην Κυπριακή Δημοκρατία, το 34,85% τελεί υπό τουρκική κατοχή και αποκαλείται το «ψευδοκράτος της Κύπρου», το 2,74% ανήκει στην επονομαζόμενη «Πράσινη Γραμμή» καταλαμβάνεται από τον ΟΗΕ και το Ηνωμένο Βασίλειο και τέλος το 2,62% αποτελεί νεκρή ζώνη. Από την έκτασή της, το 47% αποτελεί καλλιεργήσιμη γη, το 34% είναι μη καλλιεργήσιμη ενώ το υπόλοιπο 19% καλύπτεται από δάση (Κυπριακή Δημοκρατία, 2023).

2.1.52.1.3 Γεωμορφολογικά Χαρακτηριστικά

Τα κύρια χαρακτηριστικά του κυπριακού φυσικού περιβάλλοντος είναι αυτά που κυριαρχούν στον μεσογειακό χώρο όπως, η γεωμορφολογική ποικιλία, η πλούσια χλωρίδα και η μεγάλη

αλλοίωση που υφίσταται λόγω της ανθρώπινης επέμβασης. Γενικότερα, στην Κύπρο κυριαρχεί το άγονο τοπίο που χαρακτηρίζει και τις γειτονικές Ηπείρους της, την Ασία, την Αφρική και την Ευρώπη. Το φαινόμενο της ερημοποίησης που υπάρχει ήδη σε χώρες της Μεσογείου, τείνει να επηρεάσει και την Κύπρο εξαιτίας των ευαίσθητων περιβαλλοντικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής. Κρίσιμες φαίνεται να είναι οι περιοχές που βρίσκονται στο δυτικό μέρος του νησιού και στην οροσειρά του Πενταδάκτυλου. Οι ακτές στη βόρεια πλευρά του νησιού είναι κυρίως βραχώδεις, ενώ στη νότια πλευρά κυριαρχούν μεγάλες, αμμώδεις παραλίες με πλήθος ορμών. Στη βόρεια παράκτια πλευρά έχει πεδιάδα με ελιές, χαρουπιές (Delipetrou et al., 2008b).

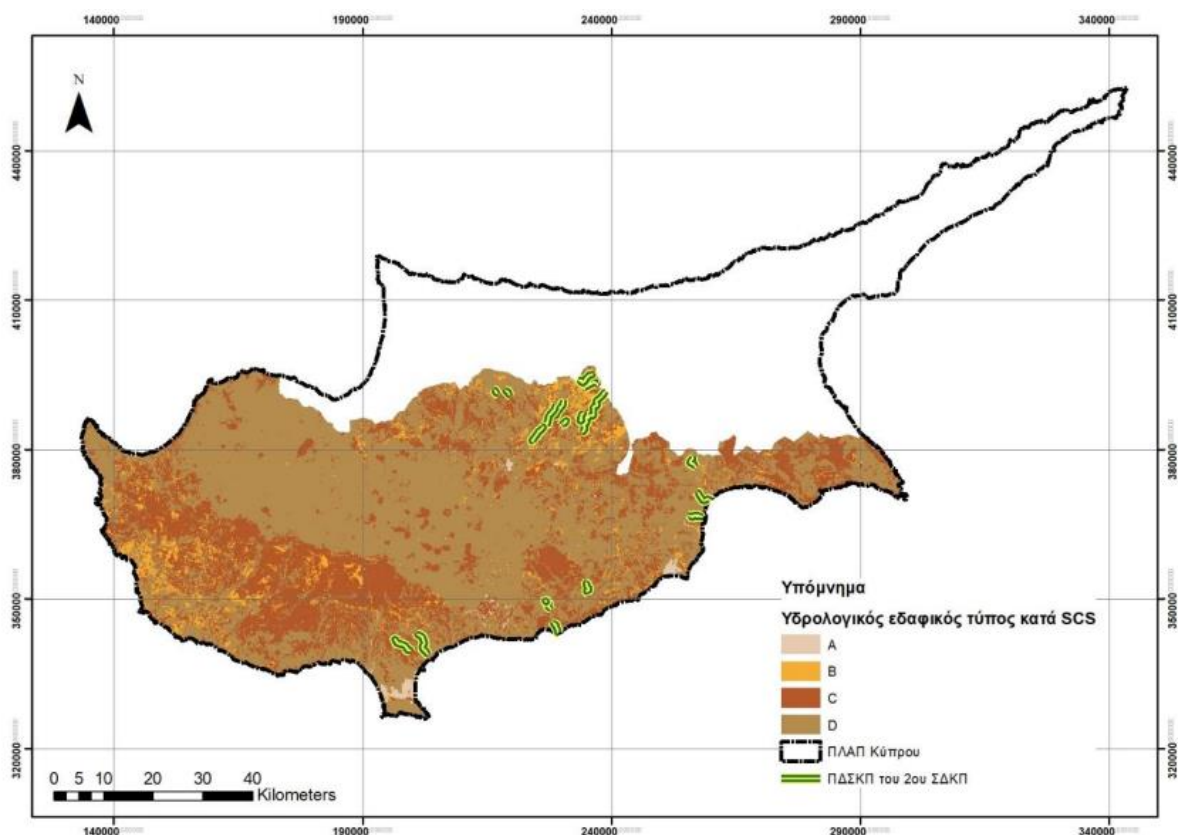
Οι ακτές της Κύπρου στα βόρεια είναι βραχώδεις και δαντελωτές, ενώ στα νότια βρίσκονται μεγάλες, αμμώδεις παραλίες με πολλούς όρμους. Η βόρεια παράκτια πεδιάδα, η οποία καλύπτεται με ελιές και χαρουπιές, βρίσκεται στο φόντο μιας απότομης, στενής οροσειράς ασβεστόλιθου, τον Πενταδάκτυλο που φτάνει στο ύψος των 1.024 μέτρων (Κυπριακή Δημοκρατία, 2023).

Η μορφολογία του νησιού καθορίζεται από τις δυο οροσειρές, του Πενταδάκτυλου και του Τροόδους και γεωλογικά χωρίζεται στις παρακάτω τέσσερις ζώνες (Κυπριακή Δημοκρατία, 2023):

- Η ζώνη του Πενταδάκτυλου (ή Κερύνειας) που βρίσκεται βόρεια. Η οροσειρά αυτή, είναι στενή και κρημνώδης και ξεχωρίζει από το περιβάλλον ανάγλυφο. Τα υψόμετρα των κορυφών της κυμαίνεται στα 700-1024 μέτρα. Ως προς τα πετρώματα είναι ιζηματογενή και μεταμορφωσιγενή και πυριγενή Περμίου.
- Η ζώνη του Τροόδους (ή Οφιόλιθος Τροόδους) που βρίσκεται κεντροδυτικά και η ψηλότερη κορυφή του, ο Όλυμπος είναι σε υψόμετρο 1951 μέτρα. Διακρίνονται δυο περιοχές βάσει των πετρωμάτων τους, το κεντρικό μέρος και την λοφώδες περιοχή γύρω από αυτή. Όσον αφορά το κεντρικό μέρος, κυριαρχούν τα πυριγενή πετρώματα με απότομες κλιτύες λόγω της διάβρωσης που κάνουν έντονη τη ροή του νερού και δημιουργούνται κοιλάδες και φαράγγια. Όσον αφορά την περιοχή του Δάσους Λεμεσού και Ακαπνούς στη νότια πλευρά έχει επίμηκες και θολωτή όψη. Γενικότερα, η στρωματογραφική πλευρά του Τροόδους αποτελείται από πετρώματα όπως, Πλουτώνια, Φλεβικά, Ηφαιστειακά και Ιζήματα.
- Η ζώνη των Μαμωνιών που βρίσκεται στη νότια πλευρά της Κύπρου και ιδιαιτέρως στο νοτιοδυτικό τμήμα της Πάφου. Τα πετρώματα που κυριαρχούν είναι εκρηξιγενή, ιζηματογενή και μεταμορφωσιγενή.
- Η ζώνη των ιζηματογενών πετρωμάτων που βρίσκεται μεταξύ των ζωνών Πενταδακτύλου και Τροόδους και στο νότιο τμήμα της Κύπρου. Καλύπτεται κυρίως από μπετονίτη, μάργα, ασβεστόλιθο, ασβεστολιθικό ψαμμίτη, εβαπορίτη και κλαστικά ιζήματα.

Σύμφωνα με τη μέθοδο SCS οι εδαφικοί σχηματισμοί χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες βάσει του ρυθμού διήθησής τους κατά την εκδήλωση βροχοπτώσεων. Τα χαρακτηριστικά των τεσσάρων τύπων είναι τα εξής (NRCS, Chapter 7 Hydrologic Soil Groups, 2007) :

- Τύπος A: Πρόκειται για εδάφη με χαμηλή δυνατότητα επιφανειακής απορροής, κυρίως βαθιά εδάφη με αμμώδη, πηλοαμμώδη και αμμοπηλώδη υφή. Σε κατάσταση κορεσμού έχουν υψηλό βαθμό διήθησης ($>7,62$ mm/hr)
- Τύπος B: Πρόκειται για εδάφη με μέτρια δυνατότητα επιφανειακής απορροής, βαθιά έως μέτρια εδάφη, με υφή πηλώδη και ιλυοπηλώδη και μέτριο βαθμό διήθησης (3,81 έως 7,62 mm/hr)
- Τύπος C: Πρόκειται για εδάφη με σχετικά υψηλό δυναμικό επιφανειακής απορροής, δηλαδή εδάφη λεπτής υφής αμμοαργιλοπηλώδη με μικρό βαθμό διήθησης (1,27 έως 3,81 mm/hr)
- Τύπος D: Πρόκειται για εδάφη με πολύ μεγάλο βαθμό επιφανειακής απορροής, δηλαδή εδάφη πολύ λεπτής υφής με πολύ μικρή διηθητικότητα ($<1,27$ mm/hr)



Εικόνα 10. Διαχωρισμός Κύπρου σε τύπους εδαφών κατά SCS (TAY, 2022)

2.1.72.1.4 Υδατικοί Πόροι

Το νησί της Κύπρου ανήκει στην ανατολική λεκάνη της Μεσογείου. Αναλύσεις έχουν δείξει τη μείωση των ακραίων βροχοπτώσεων, γεγονός που υποδηλώνει τη μετάβαση σε πολύ ξηρότερες συνθήκες. Τα απόλυτα ημερήσια μέγιστα βροχόπτωσης παρουσιάζουν έντονη τοπική μεταβλητότητα, γεγονός που υποδεικνύει την ανάγκη προσομοιώσεων υψηλής ανάλυσης για την κατανόηση των πιθανών επιπτώσεων στις μελλοντικές πλημμύρες (Zittis et al., 2020b).

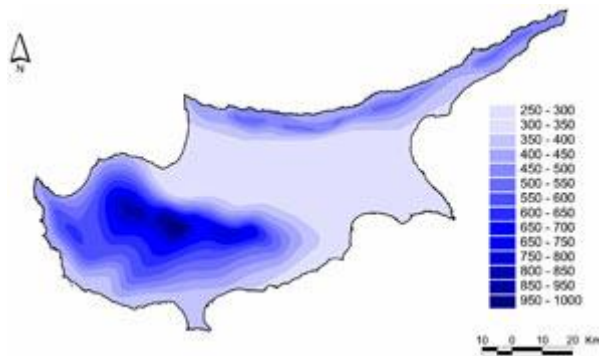
Τα υδατικά αποθέματα έχουν μειωθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι υδατικοί πόροι εξαντλούνται, ενώ η ζήτησή του αυξάνεται. Η περιοχή της Μεσογείου φαίνεται πως πρόκειται να αντιμετωπίσει ξηρασίες, να ενταθεί το φαινόμενο της λειψυδρίας και της ερημοποίησης και να μειωθούν οι αποδόσεις των καλλιεργειών. Στην περίπτωση μελλοντικής αύξησης της θερμοκρασίας κατά 2°C δείχνει μείωση της διαθεσιμότητας του νερού κατά 20-30%, ενώ σε περίπτωση αύξησης κατά 4°C δείχνει μείωση κατά 40-50% (ΕΕΑ, 2010b).

Η διαχείριση των υδατικών πόρων της Κύπρου βασίζεται στις εξής αρχές (Αριστείδου, 2015):

- Ανάπτυξη, παρακολούθηση και προστασία των υδατικών πόρων και σωμάτων
- Ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών υδάτων μέσω αφαλάτωσης και ανακύκλωσης του νερού
- Ελεγχόμενη κατανάλωση υδάτων από τους χρήστες που αποσκοπεί στην εξοικονόμησή τους
- Διαχείριση της Ξηρασίας

Η ανάπτυξη και η διαχείριση των υδατικών πόρων αποτελούν προτεραιότητα στην Κύπρο. Έως το 2015 έχουν καταγραφεί αγωγοί ύδρευσης και άρδευσης 10.000 km, 500 γεωτρήσεις για άρδευση δήμων και περισσότερα από 200 φράγματα και εμπλουτιστικών αναχωμάτων. Στην παρακολούθηση των επιφανειακών υδάτων λειτουργούν 56 σταθμοί μέτρησης ροής ποταμών, 94 σταθμοί για παρακολούθηση της χημικής και οικολογικής κατάστασης ποταμών και 15 σταθμών για φράγματα (Αριστείδου, 2015) . Για την παρακολούθηση των υπόγειων υδάτων πραγματοποιούνται μετρήσεις σε περισσότερες από 1000 γεωτρήσεις με δειγματοληπτικούς ελέγχους για την ποιότητα των υπόγειων υδατικών πόρων σε περισσότερες από 100. Ακόμη, γίνονται έλεγχοι σε κοινοτικές γεωτρήσεις ύδρευσης, περίπου 500 ανά έτος αλλά και ποιοτική παρακολούθηση 67 στο σύνολο πηγών (Αριστείδου, 2015).

Η κύρια πηγή υδάτων στην Κύπρο είναι οι βροχοπτώσεις. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 541 χιλιοστόμετρα ωστόσο, ενώ από το 2000 έως και σήμερα έχει μειωθεί στα 463 χιλιοστόμετρα. Οι μέγιστες βροχοπτώσεις παρουσιάζονται κυρίως στα δυο μεγαλύτερα βουνά της Κύπρου, Τρόδος και Πενταδάκτυλος, ενώ οι μικρότερες στην ανατολική πλευρά και στις παράκτιες περιοχές. Σε όλη την έκταση της Κύπρου αντιστοιχούν 2750 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, όμως το 10% αυτών είναι εκμεταλλεύσιμο καθώς το 90% επιστρέφει στην ατμόσφαιρα μέσω εξατμισοδιαπνοής. Η ποσότητα των 2750 εκατ. m³ πηγαίνει με αναλογία 1:3 σε επιφανειακή αποθήκευση και σε υπόγειους υδροφορείς. Από τα υπόγεια ύδατα το ένα τρίτο καταλήγει στη θάλασσα (ΤΑΥ, 2021)



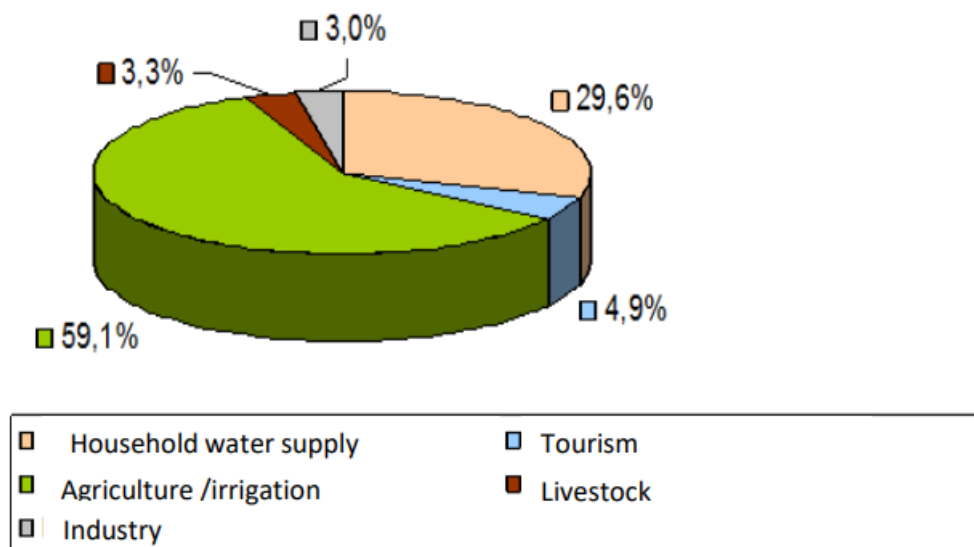
Εικόνα 11. Κατανομή βροχόπτωσης στην Κύπρο (Πηγή: www.moa.gov.cy, ΤΑΥ)

Ενώ η ζήτηση του νερού στην Κύπρο όλο και αυξάνεται λόγω της κοινωνικοοικονομικής και τουριστικής ανάπτυξης, οι βροχοπτώσεις και οι επιφανειακές απορροές έχουν μειωθεί, γεγονός που έχει οδηγήσει στην εμφάνιση του φαινομένου της λειψυδρίας (Zittis et al., 2020b). Για την αντιμετώπισή του έχουν στραφεί στη μέθοδο της αφαλάτωσης θαλασσινού νερού και την επαναχρησιμοποίηση των λυμάτων με τριτοβάθμια επεξεργασία. Το αφαλατωμένο νερό χρησιμοποιείται κυρίως για τις ανάγκες ύδρευσης, ενώ το επαναχρησιμοποιούμενο νερό για άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου όπου αυτό επιτρέπεται.

Τα ύδατα στην Κύπρο χωρίζονται σε επιφανειακά και υπόγεια. Τα επιφανειακά ύδατα αποτελούνται από ποταμούς-χειμάρρους, πηγές, λίμνες, έλη και φράγματα, ενώ τα υπόγεια παραμένουν αποθηκευμένα στον υδροφόρο ορίζοντα. Όσον αφορά τους ποταμούς, οι περισσότεροι πηγάζουν από την οροσειρά του Τροόδους και του Πενταδάκτυλου ενώ ακολουθεί ο Ακάμας και η χερσόνησος της Καρπασίας. Η επιφανειακή κατανομή των υδάτων ακολουθεί των εποχική κατανομή των βροχοπτώσεων-χιονοπτώσεων με υψηλές τιμές κατά τον χειμώνα και χαμηλές τιμές το καλοκαίρι. Στην πλειονότητά τους οι ποταμοί ρέουν 3-4 μήνες το έτος, με εξαίρεση τμήματα ποταμών του Ξερού ποταμού, του Διαρίζου, του Καργώτη, του Κουρή, της Γερμασόγειας και της Μαραθάσας που παρουσιάζουν συνεχή ροή. Χαρακτηριστικά των ποταμών της Κύπρου αποτελούν τα χαμηλά επίπεδα υδάτων στην κοίτη τους και η βατότητα που παρουσιάζουν όλο το χρόνο με εξαίρεση ένα μικρό διάστημα το χειμώνα (Κυπριακή Δημοκρατία, 2023).

Στην περίπτωση της Κύπρου φαίνεται το φαινόμενο της λειψυδρίας όλο και εντείνεται, γεγονός που επιβεβαιώνεται από την αύξηση το δείκτη εκμετάλλευσης νερού στο 45%, δείχνοντας μια μη βιώσιμη χρήση του νερού για τα μελλοντικά αποθέματα (Buckley & Howarth, 2010). Ο δείκτης αυτός δείχνει την αναλογία μεταξύ διαθέσιμων υδάτινων πόρων και της ποσότητας του νερού που χρησιμοποιείται σε μια χώρα (Eurostat, 2023). Επιπροσθέτως, η Κύπρος είναι η χώρα στην ΕΕ με τη χαμηλότερη ποσότητα ετησίων αποθεμάτων γλυκού νερού ανά κάτοικο (Buckley & Howarth, 2010). Έχει περάσει από έντονα φαινόμενα ξηρασίας και λειψυδρίας με το πιο σημαντικό το 2008 που χρειάστηκε για να ικανοποιηθούν οι ανάγκες σε πόσιμο νερό να εισάγει νερό από την Ελλάδα, ενώ έπειτα από αυτό επιβλήθηκαν περιορισμοί στην χρήση νερού ανά νοικοκυριό. Επιπλέον, οι υπόγειοι υδροφορείς έχουν επιβαρυνθεί αρκετά, αφού η εκμετάλλευσή τους γίνεται πέραν των

οικολογικών ορίων που έχουν οριστεί, ενώ το 2007 είχε εξάγει ποσοστό μεγαλύτερο του 100% των διαθέσιμων για άντληση υπόγειων υδάτων. Μελέτη που καλύπτει έως και το έτος 2030, δείχνει πως το ετήσιο κόστος έλλειψης νερού στον οικιακό και βιομηχανικό τομέα μπορεί να φτάσει έως 88 εκατ. ευρώ. Από το ποσό αυτό, τα 16-32 εκατ. ευρώ θα είναι επιπρόσθετο κόστος λόγω της μειωμένης διαθεσιμότητας υδάτων που έχει επιφέρει η κλιματική αλλαγή (Zachariadis, 2010). Η εκτιμώμενη ετήσια ζήτηση νερού στον Κυπριακό χώρο κυμαίνεται σε 270 εκ. m³ εκ των οποίων το 59,1% χρησιμοποιείται για άρδευση (Moleski & Bsc, 2023)



Εικόνα 12. Κατανομή διάθεσης νερού στην Κύπρο (TAY,2019)

2.1.82.1.5 Κλίμα

Στην Κύπρο κυριαρχεί το μεσογειακό κλίμα το οποίο χαρακτηρίζει το ζεστό και ξηρό καλοκαίρι που διαρκεί από το Μάιο έως το Σεπτέμβρη και ο ήπιος χειμώνας που διαρκεί από το Νοέμβριο έως τα μέσα Μαρτίου. Οι εποχές του φθινοπώρου και της άνοιξης είναι μικρής διάρκειας. Η ηλιοφάνεια είναι άφθονη καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου με κορύφωση τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο, ενώ η μέση διάρκειά της είναι 11 ώρες. Οι άνεμοι είναι συνήθως ασθενείς έως μέτριοι και πνέουν σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Οι ισχυροί άνεμοι και οι θύελλες είναι πιο σπάνιο φαινόμενο για την Κύπρο και εμφανίζονται κυρίως σε παράκτιες περιοχές υψηλού υψομέτρου (Κυπριακή Δημοκρατία, 2023).

Κατά τους χειμερινούς μήνες βρίσκεται αντιμέτωπη με μέτωπα που κινούνται στο χώρο του Μεσογείου από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Οι διαταραχές αυτές διαρκούν 1-3 ημέρες και αφήνουν μεγάλες ποσότητες βρόχινου νερού. Η μέση βροχόπτωση κατά τους μήνες Δεκέμβρη έως Φλεβάρη αντιστοιχεί στο 60% της συνολικής ετήσιας. Η μέση θερμοκρασία κατά τον Ιανουάριο κυμαίνεται στους 10°C στην κεντρική πεδιάδα και στους 3°C στις

κορυφές του Τροόδους, με μέση ελάχιστη στους 5 και 0°C αντίστοιχα. Η υγρασία κυμαίνεται σε ποσοστό 60-80% (Κυπριακή Δημοκρατία, 2023).

Κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών όπως και η περιοχή της ανατολικής Μεσογείου, έτσι και η Κύπρος, βρίσκεται υπό την επίδραση του εποχιακού βαρομετρικού χαμηλού. Αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι οι υψηλές θερμοκρασίες και ο καθαρός ουρανός. Επιπλέον, οι θερμοκρασίες κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα, με τη μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρα τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο να κυμαίνεται στους 22-29°C. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται στους 27-36°C. Η υγρασία βρίσκεται σε ποσοστό 40-60% το οποίο μειώνεται κατά το μεσημέρι (Κυπριακή Δημοκρατία, 2023).

2.1.92.1.6 Γεωργία

Οι κλιματολογικές συνθήκες επηρεάζουν άμεσα την πορεία της γεωργικής παραγωγής. Η άνοδος της θερμοκρασίας είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει τις αποδόσεις ακολουθούν οι αστάθμητοι παράγοντες όπως οι πόροι σε νερό και η αύξηση των συγκεντρώσεων σε διοξείδιο του άνθρακα (European Commission, 2023). Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής έχει επηρεάσει τις χώρες της Μεσογείου και συνάμα έχει δημιουργήσει δυσκολίες στις καλλιέργειες που οδηγούν πολλούς γεωργούς σε οικονομικές δυσκολίες. Το μεταβαλλόμενο κλίμα κάνει την καλλιεργητική περίοδο και τις αποδόσεις αβέβαιες. Επιπλέον, η συχνότερη εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων όπως ξηρασία, έντονες βροχοπτώσεις και χιόνια αλλά και καύσωνες βλάπτουν επίσης την παραγωγή. Η αύξηση της θερμοκρασίας, δείχνει πως προκαλεί αύξηση στην εμφάνιση παρασίτων και ασθενειών και αποτελεί πρόσθετο κίνδυνο για τις καλλιέργειες. Η αύξηση των επιπέδων διοξειδίων του άνθρακα έχει θετικές επιδράσεις σε πολλές καλλιέργειες όπως και η μέτρια αύξηση της θερμοκρασίας, ωστόσο η ραγδαία αύξησή της επηρεάζει αρνητικά. Έρευνα έδειξε πως η γεωργική παραγωγή στην Κύπρο περιορίστηκε από την αλλαγή του κλίματος και τις συνέπειες που αυτή επιφέρει. Οι ετήσιες αποδόσεις των καλλιεργειών δείχνουν μείωση 41-43% στο άμεσο μέλλον το οποίο ενδέχεται να έχει οικονομικές απώλειες έως και 80 εκατ. ευρώ σε ετήσια βάση (Chenoweth et al., 2011b).

Κυρίως οι καλλιέργειες στα πεδινά είναι τα δημητριακά όπως το σιτάρι και το κριθάρι, τα λαχανικά, οι πατάτες και τα εσπεριδοειδή. Οι ελαιώνες είναι ευδοκιμούν σε όλο το νησί και με ιδιαίτερη ευκολία σε βουνοπλαγιές οι οποίες καταλήγουν σε θάλασσα. Στα βουνά του Τροόδους κυρίως στις νότιες και δυτικές πλευρές κυριαρχούν οι αμπελώνες, ενώ στις κοιλάδες του που είναι καλλιεργήσιμες κυριαρχούν φυλλοβόλα οπωροφόρα δέντρα. Η Κύπρος κυρίως εξάγει πατάτες, εσπεριδοειδή, φρούτα, λαχανικά και σταφύλια (Κυπριακή Δημοκρατία, 2023).

2.32.2 Υδραυλική Προσομοίωση

2.3.22.2.1 Το Λογισμικό HEC-RAS

Για την υδραυλική προσομοίωση χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερης μορφής λογισμικό HEC-RAS στην έκδοση 6.3.1 το οποίο δημιουργήθηκε από το Σώμα Μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού (U.S Army Corps of Engineers, U.S.A.C.E). Αποτελεί ένα πλήρες σύστημα λογισμικού ιδανικό για διαδραστική χρήση με πλήθος δυνατοτήτων και χρηστών. Το λογισμικό πραγματοποιεί υπολογισμούς σε μόνιμη και μη μόνιμη συνθήκη ροής και δίνει τη δυνατότητα για προσομοίωση της στάθμης του νερού αλλά και της μεταφοράς και απόθεσης ιζήματος. Αποτελείται από γραφικό περιβάλλον διεπαφής με το χρήστη και έχει δυνατότητα αποθήκευσης, διαχείρισης και επεξεργασίας των δεδομένων εισόδου και εξόδου (U.S Army Corps of Engineers, 2016). Περιέχει τέσσερα βασικά είδη ανάλυσης ποταμών για:

- Μόνιμη ροή
- Μη μόνιμη ροή
- Προσομοίωση μεταφοράς ιζημάτων με κινητά όρια
- Ανάλυση ποιότητα νερού

Επιπλέον, προσφέρονται δυνατότητες ανάλυσης των αποτελεσμάτων των υπολογισμών του προφίλ επιφανειακών υδάτων σε χαρακτηριστικά του νερού όπως το βάθος, η στάθμη και η ταχύτητα ροής για οποιαδήποτε χρονική στιγμή της προσομοίωσης. Ακόμη, παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές των προαναφερθέντων μεγεθών σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Το λογισμικό έχει δυνατότητα προσομοίωσης σε μονοδιάστατη (1D), δισδιάστατη (2D) αλλά και συνδυασμό μονοδιάστατης και δισδιάστατης ανάλυσης για ένα πλήρες δίκτυο φυσικών και τεχνητών καναλιών. Η προσθήκη της δυνατότητας επίλυσης με δισδιάστατη ροή έγινε στο HEC-RAS version 5.0, το Φεβρουάριο του 2016.

Αρχικά η δυνατότητα δισδιάστατης προσομοίωσης εφαρμόστηκε συνδυαστικά με την μονοδιάστατη. Η συνδυασμένη (1D/2D) ανάλυση βρίσκει κυρίως εφαρμογή σε μεγάλα ποτάμια συστήματα, καθώς επιτρέπει την εφαρμογή μονοδιάστατης ανάλυσης στην κύρια κοίτη και δισδιάστατη μοντελοποίηση σε περιοχές που απαιτούν υψηλότερο επίπεδο υδροδυναμικής ακρίβειας.

2.3.32.2.2 Μονοδιάστατη Ανάλυση του Προγράμματος

Η μονοδιάστατη (1D) μοντελοποίηση στο HEC-RAS είναι ένα ισχυρό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της ροής του νερού σε ποτάμια, ρυάκια και κανάλια. Η προσέγγιση αυτή απλοποιεί την αναπαράσταση του υδραυλικού συστήματος θεωρώντας τη ροή σε ένα επίπεδο. Το HEC-RAS διαιρεί το κανάλι σε μια σειρά από διατομές και εντός κάθε διατομής υπολογίζει τα χαρακτηριστικά της ροής του νερού, όπως η ταχύτητα, το βάθος και η εκροή. Αυτή η τεχνική μοντελοποίησης 1D χρησιμοποιείται ευρέως στην υδραυλική μηχανική και τη διαχείριση ποταμών για διάφορες εφαρμογές, όπως η χαρτογράφηση των πλημμυρικών πεδίων, ο σχεδιασμός γεφυρών και αγωγών και η αξιολόγηση των επιπτώσεων των έργων υποδομής στην υδροδυναμική του ποταμού. Οι μηχανικοί και οι υδρολόγοι

χρησιμοποιούν το HEC-RAS για να αναλύσουν τις επιπτώσεις διαφορετικών σεναρίων ροής, μεταφοράς ιζημάτων και αλλαγών στη μορφολογία της κοίτης του ποταμού.

Επιπλέον, το λογισμικό μπορεί να ενσωματωθεί με συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) για να ενισχύσει τις δυνατότητες χωρικής ανάλυσης. Η μονοδιάστατη ανάλυση σε υδραυλική προσομοίωση εφαρμόζεται κυρίως σε ανοιχτούς αγωγούς συγκεκριμένης διατομής σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο και απότομες κλίσεις καθώς και για την προσομοίωση του υδρογραφικού δικτύου.

Το θεωρητικό μέρος των υπολογισμών στην 1D μοντελοποίηση με το HEC-RAS περιλαμβάνει την εφαρμογή θεμελιωδών αρχών της μηχανικής των ρευστών και της υδραυλικής μηχανικής για την προσομοίωση της συμπεριφοράς της ροής του νερού σε ποτάμια και κανάλια (U.S Army Corps of Engineers, 2016). Ακολουθούν ορισμένα βασικά θεωρητικά στοιχεία αυτών των υπολογισμών:

- **Εξίσωση ενέργειας:** χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των προφίλ της επιφάνειας του νερού υπολογίζονται από τη μια διατομή στην άλλη με την επίλυση της εξίσωσης της ενέργειας με μια επαναληπτική διαδικασία που ονομάζεται μέθοδος τυπικού βήματος. Λαμβάνει υπόψη τις μεταβολές της κινητικής και δυναμικής ενέργειας αλλά και του υδραυλικού ύψους. Η εξίσωση ενέργειας γράφεται ως εξής:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (2.1)$$

Όπου:

$Z_1, Z_2 (m)$: υψόμετρο εκάστοτε θέσεων

$Y_1, Y_2 (m)$: βάθος ροής

$V_1, V_2 (m/s)$: μέση ταχύτητα

a_1, a_2 : συντελεστής στάθμης ταχύτητας

$g (m/s^2)$: επιτάχυνση της βαρύτητας

h_e : απώλεια προφίλ ενέργειας

- **Εξίσωση του Manning (n):** χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ταχύτητας ροής σε ένα ανοικτό κανάλι. Συνδέει την ταχύτητα ροής, τις ιδιότητες της διατομής του καναλιού και έναν συντελεστή τραχύτητας

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) A \cdot R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S} \quad (S.1) \quad (2.2)$$

Όπου:

Q : Παροχή ροής (m^3/s)

A : Επιφάνεια (m^2)

R : υδραυλική ακτίνα (m)

n : συντελεστής Manning

S : κλίση της ροής (m/m)

- **Εξίσωση συνέχειας:** προκύπτει από την αρχή της διατήρησης της μάζας και είναι μια θεμελιώδης έννοια στην 1D υδραυλική μοντελοποίηση. Δηλώνει ότι ο ρυθμός εισροής νερού σε μια δεδομένη διαδρομή πρέπει να ισούται με τον ρυθμό εκροής. Εκφράζεται μέσω της εξίσωσης:

$$Q = A \cdot V \quad (2.3)$$

Όπου:

Q : Παροχή ροής (m^3/s)

A : Επιφάνεια (m^2)

V : ταχύτητα ροής (m/s)

- **Δρομολόγηση ροής:** τέλος, χρησιμοποιεί αριθμητικές μεθόδους για να δρομολογήσει τη ροή μέσω του δικτύου καναλιών επιλύοντας τις εξισώσεις που αναφέρονται παραπάνω σε διακριτές διατομές κατά μήκος της διαδρομής του ποταμού. Αυτοί οι υπολογισμοί λαμβάνουν υπόψη παράγοντες όπως η αντίσταση ροής, η γεωμετρία του καναλιού και οι οριακές συνθήκες για να προβλέψουν πώς μεταβάλλονται οι στάθμες και οι ταχύτητες του νερού καθώς το νερό κινείται κατάντη.

Γενικότερα, η μονοδιάστατη επίλυση επιλέγεται σε περιπτώσεις που:

- Κυριαρχεί μια κύρια κοίτη με συγκεκριμένη διεύθυνση ροής, χωρίς μεγάλες υπερχειλίσεις στις γύρω περιοχές, φαινόμενο που συναντάται σε ορεινές περιοχές
- Υπάρχει μια διευθετημένη διατομή ή όχθες με απότομο ανάγλυφο που περιορίζουν την υπερχειλίση
- Υπάρχει ένα απλό πλημμυρικό πεδίο που η υπερχειλίση πραγματοποιείται μεμονωμένα σημεία
- Υπάρχουν ελλiptή δεδομένα για την προσομοίωση

2.3.42.2.3 Δισδιάστατη Ανάλυση του Προγράμματος

Η δισδιάστατη ανάλυση εφαρμόζεται κυρίως σε υψηλής ποιότητας ΨΜΕ με ήπιες κλίσεις (πεδινές εκτάσεις), σε ροή και προς τις δυο διευθύνσεις αλλά και στη διερεύνηση θραύσης φράγματος.

Η δισδιάστατη (2D) μοντελοποίηση στο HEC-RAS επιλέγεται συνήθως έναντι της μονοδιάστατης όταν απαιτείται λεπτομερέστερη υδραυλική προσομοίωση. Τέτοιες περιπτώσεις είναι (USACE, 2023):

- Πολύπλοκη γεωμετρία: σε πολύπλοκα κανάλια με ακανόνιστη πλημμυρική επιφάνεια και περίπλοκα μοτίβα ροής με αποτέλεσμα η πλημμυρική παροχή να πλημμυρίζει ανεξέλεγκτα και να απλώνεται στο πλημμυρικό πεδίο
- Χαρτογράφηση πλημμυρικού πεδίου: σε ανάγκη λεπτομερούς χαρτογράφησης πλημμυρικών πεδίων σε περιοχές χαμηλού υψομέτρου και αστικής ανάπτυξης με έντονους μαιανδρισμούς και μικρή κοίτη, η 2D μοντελοποίηση δίνει πιο ακριβή αναπαράσταση της εξάπλωσης των πλημμυρικών υδάτων. Έτσι, γίνεται πιο κατανοητή η αλληλεπίδραση της πλημμυρικής απορροής με τον αστικό ιστό και των έργων του, καθώς αναμένεται υπερχειλίση σημαντικού πλημμυρικού όγκου

- Λειτουργία ταμειευτήρων: η δισδιάστατη μοντελοποίηση παρέχει καλύτερες πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο διαφυγής του νερού και το πως θα επηρεαστεί η τριγύρω περιοχή. Ακόμη χρησιμοποιείται σε μελέτες λιμνών και εκβολών ποταμών

Χαρακτηριστικό της δισδιάστατης μοντελοποίησης είναι η αύξηση του υπολογιστικού φόρτου έναντι της μονοδιάστατης. Ωστόσο ο υπολογιστικός φόρτος μπορεί να μειωθεί και να προσαρμοστεί μέσω χαρακτηριστικών ορίων.

Για την εφαρμογή της 2D μοντελοποίησης χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις συνέχειας (μαθηματική έκφραση της αρχής διατήρησης μάζας) και ποσότητας κίνησης (μαθηματική έκφραση της διατήρησης ορμής). Οι εξισώσεις Navier-Stokes περιγράφουν την κίνηση των ρευστών σε τρεις διαστάσεις. Η ολοκλήρωση των οποίων προκύπτει εξισώσεις κατάλληλες για ρηχά ύδατα. Για την εφαρμογή των εξισώσεων σε μελέτη πλημμυρικού κινδύνου σε δυο διαστάσεις, γίνονται κατάλληλες θεωρήσεις για ρηχά νερά (Shallow Water Equations). Οι παραδοχές που πραγματοποιούνται για την εφαρμογή των εξισώσεων είναι οι εξής (U.S Army Corps of Engineers, 2016):

- Ασυμπίεστη ροή
- Αμετάβλητη πυκνότητα νερού
- Υδροστατική πίεση ρευστού

Για συνθήκες μη μόνιμης ροής εφαρμόζουμε τις ακόλουθες διαφορικές εξισώσεις:

- Διατήρηση της μάζας:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (hu)}{\partial x} + \frac{\partial (hv)}{\partial y} + q = 0 \quad (2.4)$$

Όπου:

$H(x,y,t)$ (m): υψόμετρο στάθμης νερού

$H(x,y,t)$ (m): βάθος ύδατος

t : χρόνος

u, v (m/s): συνιστώσες ταχύτητας κατά x, y

q (m^3/s): εισερχόμενη ροή

- Διατήρηση της ορμής (για τις δυο διευθύνσεις):

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - cfu + fv \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - cfv + fu \quad (2.6)$$

Όπου:

u, v (m/s): οι ταχύτητες κατά τις διευθύνσεις x, y αντίστοιχα

g (m/s^2): επιτάχυνση της βαρύτητας

$vt(m^2/s)$: συντελεστής οριζόντιου κινηματικού ιξώδους

$H(x,y,t)$ (m): η στάθμη του ύδατος

cf (s^{-1}): συντελεστής τριβής του πυθμένα

f (s^{-1}): παράμετρος Coriolis

Σε ορισμένες περιπτώσεις σε ροή ρηχών υδάτων η παράμετρος Coriolis, η μεταγωγική και τοπική επιτάχυνση και το ιξώδες, δε λαμβάνονται υπόψιν. Οι εξισώσεις κίνησης, στην περίπτωση αυτή, ανάγονται σε δισδιάστατη μορφή των εξισώσεων κύματος διάχυσης (Diffusion Wave Approximation). Ο συνδυασμός της εξίσωσης αυτής με την εξίσωση αρχής διατήρησης της μάζας έχει αποτέλεσμα τις εξισώσεις Diffusion Wave Approximation of the Shallow Water (DSW) και παρουσιάζονται παρακάτω:

$$-g \frac{\partial H}{\partial x} = cf u \quad (2.7)$$

$$-g \frac{\partial H}{\partial y} = cf v \quad (2.8)$$

3. Υδραυλική Προσομοίωση των Περιοχών Δυνητικού Σοβαρού Κινδύνου Πλημμύρας

Για τη συνδυασμένη (1D/2D) προσομοίωση που εφαρμόστηκε στα υφιστάμενα μοντέλα των ΠΔΣΚΠ 21-22 και 29 στα πλαίσια του 2^{ου} Κύκλου Εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

- Χάραξη της κύρια γραμμής του ποταμού που αποτυπώνει και τον άξονα ροής
- Καθορισμός των όχθων του ποταμού ως Bank lines, οι όχθες αποτυπώνουν τους διαφορετικούς συντελεστές τραχύτητας και διαχωρίζουν την κοίτη του ποταμού από το δισδιάστατο πλημμυρικό πεδίο
- Χάραξη των κύριων διευθύνσεων ροής ως Flowpaths μέσω των οποίων εισάγονται μέσω τριών κύριων διευθύνσεων ροής (κεντρική, αριστερή, δεξιά) ώστε να υπολογίζεται το μήκος μεταξύ των διατομών. Η κεντρική κατεύθυνση ροής αποτυπώνει τον κύριο άξονα του ποταμού. Οι δυο άλλες κατευθύνσεις (αριστερή και δεξιά) ορίζονται μεταξύ των επιλεγμένων όχθων των διατομών. Έξω από τις οποίες πραγματοποιείται η δισδιάστατη προσομοίωση
- Δημιουργία διατομών κάθε στη διεύθυνση με κατεύθυνση από αριστερά προς τα δεξιά και από ανάντη προς κατάντη. Το πλάτος του πρέπει να καλύπτει την περιοχή μεταξύ των όχθων. Κάθε διατομή ορίζει μια χιλιομετρική θέση με την αρχή των μετρήσεων να είναι στην εκβολή του εκάστοτε μοντέλου. Οι μεταξύ τους αποστάσεις ορίζονται ίσες με 30 έως 50 m και έπειτα τροποποιούνται βάσει των εξής χαρακτηριστικών:
 - i. Όστε να υπάρχει ομαλή και γραμμική μεταβολή μεταξύ τους
 - ii. Η κλίση της γραμμής ενέργειας να μη μειώνεται περισσότερο από το 50% και να μη αυξάνεται περισσότερο από 100%
 - iii. Να αποτυπώνονται σε σημαντικά σημεία του ποταμού όπως σημεία αλλαγής κλίσεων, συναρμογές σε διευθετημένες κοίτες, σε θέσεις

ύπαρξης χαρακτηριστικών που αλλάζουν τη ροή, θέσεις ελάχιστου και μέγιστου εμβαδού διατομής, έντονες αλλαγές του συντελεστή τραχύτητας και θέσεις ανάντη και κατόντη τεχνικών έργων

- Καθορισμός του διαστάτου πεδίου δημιουργείται ένας υπολογιστικός κάρναβος. Αρχικά προστίθενται πλευρικοί υπερχειλιστές (Lateral Structures) παράλληλα στην κύρια κοίτη και μεταξύ της αριστερής και της δεξιάς όχθης αντίστοιχα, ώστε να ενώνεται το υδατόρεμα με το πλημμυρικό πεδίο. Η υδραυλική επίλυση γίνεται με εξισώσεις Standard Weir Equations.

Κατά τη διάρκεια εφαρμογής του 1^{ου} Κύκλου της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ προέκυψαν 19 ΠΔΣΚΠ καθώς και 19 νέες ΠΔΣΚΠ στα πλαίσια της εφαρμογής του 2^{ου} Κύκλου Εφαρμογής της ίδιας Οδηγίας. Οι περιοχές αυτές αναλύονται στον ακόλουθο πίνακα (ΤΑΥ, 2022):

Πίνακας 3.1 : Οι ΠΔΣΚΠ του 1^{ου} Κύκλου Εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ

| Κωδικός | Όνομασία Υδατορέματος | Περιοχή | L (km) | A (km ²) |
|------------|---|---|--------|----------------------|
| CY-APSFR01 | Πεδιαίος | Από το Πολιτικό έως το Δήμο Λευκωσίας | 25,30 | 120,00 |
| CY-APSFR02 | Κλήμος | Έγκωμη και Αγ. Δομέτιος | 5,37 | 15,50 |
| CY-APSFR03 | Παραπόταμος Μέρικα | Κοκκινοτριμιθιά | 3,80 | 23,20 |
| CY-APSFR04 | Καλόγερος | Στροβολός και Βιομηχανική περιοχή των Λατσιών | 6,00 | 30,20 |
| CY-APSFR05 | Μερίκας και Παραπόταμοι Κουτής και Κατουρής | Παλιομέτοχο και Αγίοι Τριμιθιάς | 5,80 | 54,90 |
| CY-APSFR06 | Αλμυρός-Αλυκός | Βιομηχανική Περιοχή Δαλιού | 8,00 | 75,00 |
| CY-APSFR07 | Ποταμός εισροής και Λίμνη Παραλιμνίου | Παραλίμνι | 2,66 | 21,20 |
| CY-APSFR08 | Γιαλιάς | Νήσου, Πέρα Χωρίο και Δάλι | 6 | 104,00 |
| CY-APSFR09 | Ποταμός Ορμηδέας | Ορμήδεια | 5,04 | 26,00 |
| CY-APSFR10 | Αρχάγγελος-Καμίτσης και Παραπόταμος | Αραδίππου-Λιβαδειά | 11,30 | 98,00 |
| CY-APSFR11 | Ποταμός Καμάρων | Καμάρες Λάρνακας | 6,70 | 44,70 |
| CY-APSFR12 | Κοσιηνάς | Μεσόγη, Πάφος, Χλώρακας | 9,10 | 13,05 |

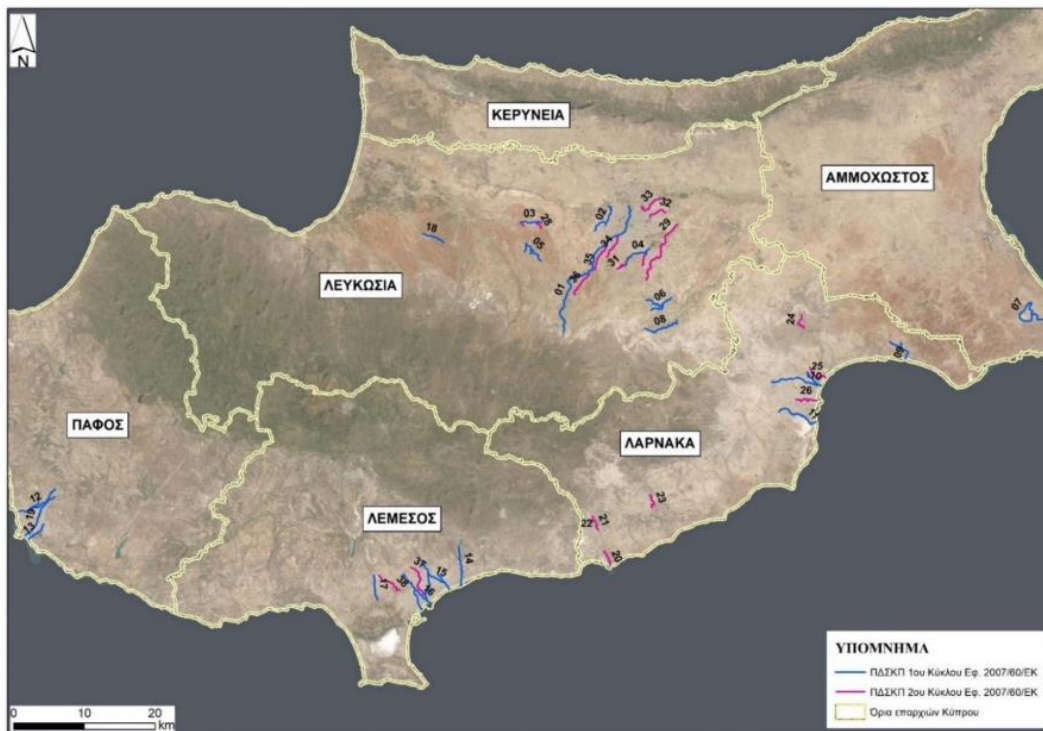
| Κωδικός | Όνομασία Υδατορέματος | Περιοχή | L (km) | A (km ²) |
|----------------|--------------------------------------|--|---------------|----------------------|
| CY-APSFR13 | Λιμνάρκα | Πόλη της Πάφου | 3,38 | 15,70 |
| CY-APSFR14 | Ποταμός της Γερμασόγειας | Γερμασόγεια | 6,20 | 178,35 |
| CY-APSFR15 | Ποταμός Βαθιάς και Παραπόταμος Βαθιά | Μέσα Γειτονιά, Αγ. Αθανάσιος και Ανατολική περιοχή Λεμεσού | 7,70 | 27,60 |
| CY-APSFR16 | Νέα και παλιά κούνη ποταμού Γαρούλλη | Πολεμίδα, Λεμεσός | 13,60 | 102,75 |
| CY-APSFR17 | Αργάκι του ΜΑρκέτου-Ύψωνας | Ύψωνας | 3,90 | 7,43 |
| CY-APSFR18 | Κομήτης | Αστρομερίτης | 3,70 | 4,85 |
| CY-APSFR19 | Αργάκι του Βασιλικού στην Πάφο | Πόλη της Πάφου | 5,90 | 5,50 |
| Σύνολο: | | | 136,79 | 967,93 |

Πίνακας 3.2 : Οι ΠΔΣΚΠ του 2^{ου} Κύκλου Εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ

| Κωδικός | Όνομασία Υδατορέματος | Περιοχή | L (km) | A (km ²) |
|------------|-----------------------------------|---------------------|--------|----------------------|
| CY-APSFR20 | Εκβολή ποταμού Βασιλικού | Κοινότητα Μαρί | 2,54 | 149,71 |
| CY-APSFR21 | Βασιλικός π, στην Καλαβασό | Κοινότητα Καλαβασού | 2,51 | 114,99 |
| CY-APSFR22 | Ποταμός της Ασγάτας | Κοινότητα Καλαβασού | 0,45 | 16,82 |
| CY-APSFR23 | Πεντάσχοινος ποταμός | Αγ. Θεόδωρος | 2,68 | 158,93 |
| CY-APSFR24 | Ανώνυμο υδατόρεμα στους Τρούλλους | Κοινότητα Τρούλλων | 2,94 | 12,01 |
| CY-APSFR25 | Ανώνυμο υδατόρεμα στα Λιβιάδια | Δήμος Λιβαδιών | 3,50 | 10,30 |
| CY-APSFR26 | Αστική περιοχή πλημμύρας Λάρνακας | Δήμος Λάρνακας | 3,91 | 12,16 |

| Κωδικός | Όνομασία Υδατορέματος | Περιοχή | L (km) | A (km ²) |
|----------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------|----------------------|
| CY-APSFR27 | Υδατόρεμα Κοκκινοτριμιθιάς | Κοινότητα Κοκκινοτριμιθιάς | 1,23 | 5,35 |
| CY-APSFR28 | Υδατόρεμα Κοκκινοτριμιθιάς | Κοινότητα Κοκκινοτριμιθιάς | 1,49 | 8,69 |
| CY-APSFR29 | Ποταμοί Βυζακωτός και Καλόγερος | Δήμοι Λασιών, Γερίου, Αγλαντζιάς | 11,60 | 58,99 |
| CY-APSFR30 | Βαθύς παραπόταμος Καλόγερου | Δήμος Λασιών | 2,20 | 7,23 |
| CY-APSFR31 | Ποταμός Καλόγερος Λακατάμια | Δήμος Λακατάμιας | 2,16 | 12,51 |
| CY-APSFR32 | Ποταμός Κατέβας | Δήμος Λευκωσίας | 3,10 | 5,95 |
| CY-APSFR33 | Ποταμός Κοτσίρκας | Δήμος Λευκωσίας | 4,46 | 12,22 |
| CY-APSFR34 | Παραπόταμος Πεδιαίου | Δήμοι Λακατάμιας και Στροβόλου | 3,92 | 8,14 |
| CY-APSFR35 | Αργάκι του Νομικού | Δήμος Στροβόλου | 4,51 | 8,17 |
| CY-APSFR36 | Παραπόταμος Πεδιαίου στη Δευτερά | Κοινότητες Πάνω και Κάτω Δευτεράς | 4,21 | 10,56 |
| CY-APSFR37 | Ποταμός Αγ, Φύλας | Δήμος Λεμεσού | 5,73 | 14,32 |
| CY-APSFR38 | Αργάκι στα Κάτω Πολεμίδια | Δήμοι Ύψωνα και Κάτω Πολεμίδια | 4,49 | 11,49 |
| Σύνολο: | | | 67,63 | 638,52 |

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται τα μοντέλα υδραυλικής προσομοίωσης των ΠΔΣΚΠ CY-APSFR21 (Βασιλικός π. στην Καλαβασό), CY-APSFR22 (ποταμός της Ασγάτας) και CY-APSFR29 (ποταμοί Βυζακωτός και Καλόγερος).



Εικόνα 13. ΠΔΣΚΠ 1ου και 2ου Κύκλου Εφαρμογής Οδηγίας 2007/60/ΕΚ (Πηγή:www.moa.gov.cy, ΤΑΥ 2022)

3.1 ΠΔΣΚΠ 21-22

Οι δυο ΠΔΣΚΠ βρίσκονται στην κοινότητα Καλαβασού. Το χωριό αυτό, βρίσκεται 40 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της Λάρνακας και δυτικά του ποταμού Βασιλικού στην υψομετρική θέση των 80 μέτρων. Σύμφωνα με την τελευταία πληθυσμιακή καταγραφή (2011) ο πληθυσμός ανέρχεται στους 721 κατοίκους (Κοινοτικό Συμβούλιο Καλαβασού, 2023).

Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι στα 445 χιλιοστά και οι καλλιέργειες βασίζονται σε εσπεριδοειδή όπως πορτοκαλιές και λεμονιές, οπωροφόρα δέντρα και λαχανικά. Η κατασκευή φράγματος στην περιοχή έχει ωφελήσει στην άρδευση μεγάλης έκτασης. Η θέση του φράγματος είναι 5 χιλιόμετρα βορειοδυτικά και έχει αποθηκευτική ικανότητα 17.000.000 m³. Οδικά συνδέεται με τον αυτοκινητόδρομο Λευκωσίας – Λεμεσού στα νότιο τμήμα και βορειοδυτικά με την Ασγάτα (Κοινοτικό Συμβούλιο Καλαβασού, 2023).

Η ΠΔΣΚΠ 22 (ποταμός της Ασγάτας) ανήκει στον οικισμό της Ασγάτας το οποίο αποτελεί το ανατολικότερο χωριό της Λεμεσού και απέχει από αυτή 26 χιλιόμετρα. Βρίσκεται στη μέση μιας κοιλάδας σε υψομετρική θέση 190 μέτρων και τα βουνά που την περιβάλλουν είναι στα βόρεια η Βούππα (υψομέτρου 370 μέτρων), στα νότια το Μονοδέντρι (υψομέτρου 340 μέτρων), στα νοτιοδυτικά τον Τερατσωτό (υψομέτρου 458 μέτρων), στα δυτικά τους Τρούλλους (υψομέτρου 339 μέτρων) και στα ανατολικά το Γερακαρκό (υψομέτρου 361 μέτρων).

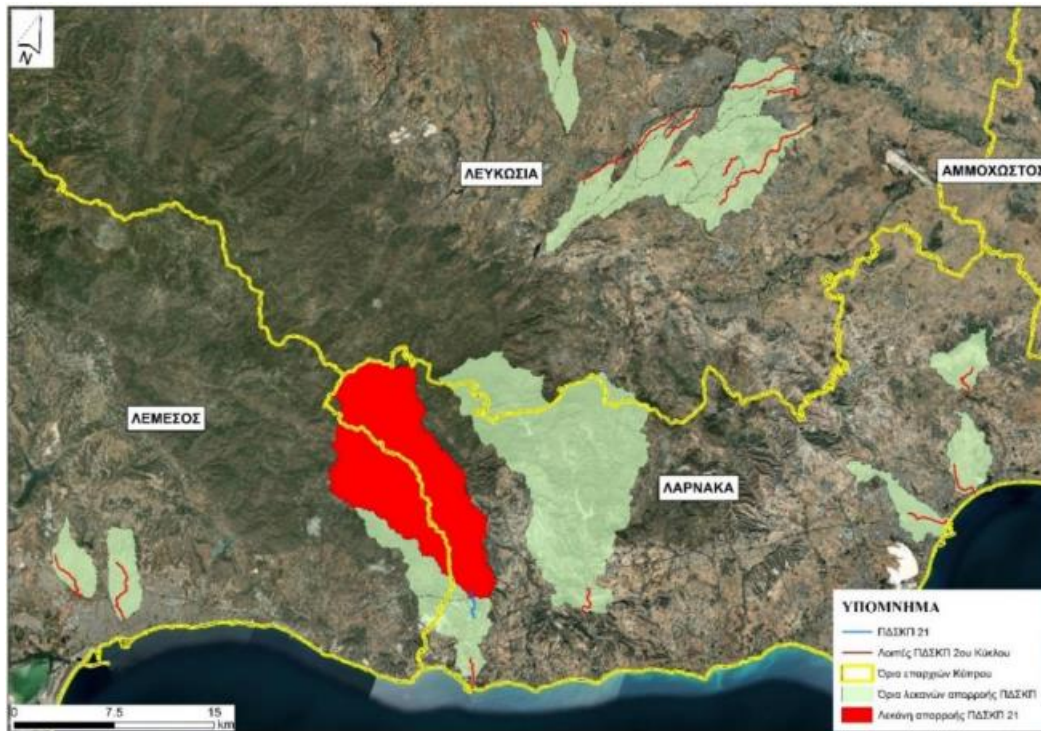
Ως προς τη σύσταση των εδαφών της περιοχής, είναι κυρίως φαιοχώματα και ασβεστούχα. Κύριες καλλιέργειες αποτελούν τα λαχανικά, τα όσπρια, οι πατάτες, οι ελιές, οι χαρουπιές και οι ροδιές. Στη δυτική πλευρά του οικισμού εμφανίζονται κυρίως ελιές, χαρουπιές και

πεύκα σε συνδυασμό με χαμηλή βλάστηση από σκοίνα, θυμάρι και τρεμιθιές. Το φυσικό τοπίο της Ασγάτας σε συνδυασμό με τα μεταλεία αλλά και τη χλωρίδα της μονοπωλεί συχνά το ενδιαφέρον. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η ένταξη μιας περιοχής στα νοτιοδυτικά του οικισμού στο πρόγραμμα Natura 2000 αλλά και μιας άλλης στα βόρεια στον χαρακτηρισμό ως ζώνη «Ζ» που αποτελεί ζώνη προστασίας του φυσικού περιβάλλοντος (Κοινοτικό Συμβούλιο Ασγάτας, 2023).

3.1.1 Θέση

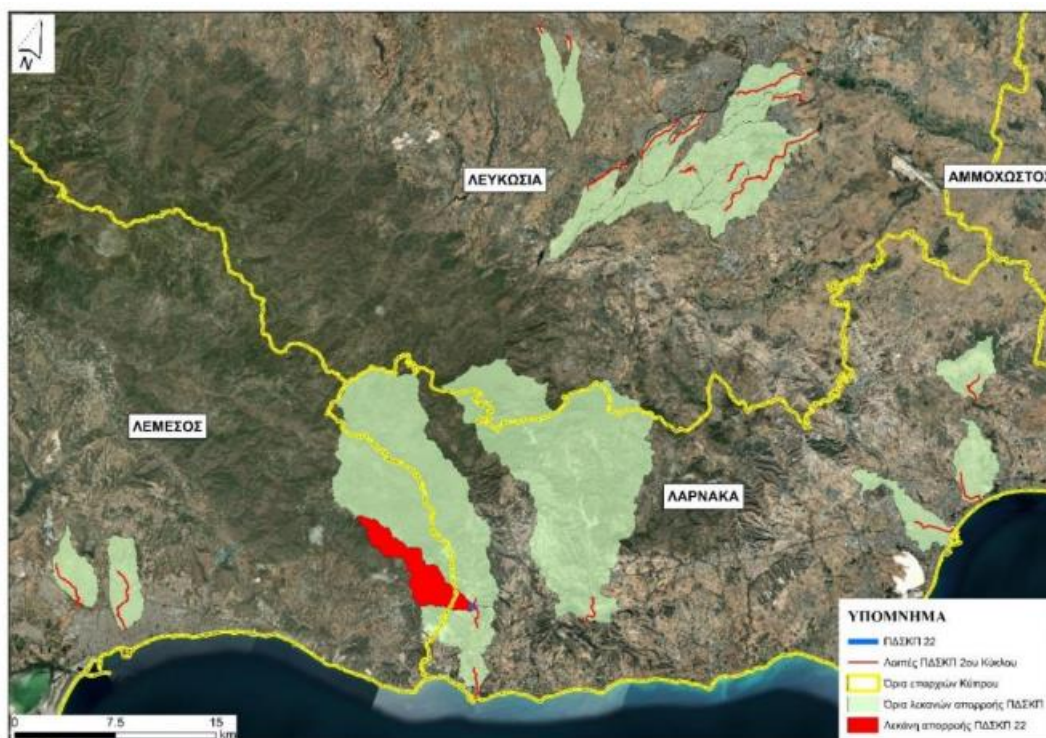
Οι ΠΔΣΚΠ που έχουν οριστεί σύμφωνα με το 2^ο κύκλο εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ με κωδική ονομασία CY-APFR21 και CY-APFR22 βρίσκονται στην κοινότητα Καλαβασού που υπάγεται στην Επαρχία της Λάρνακας. Οι περιοχές αυτές καλύπτουν το τμήμα του ποταμού Βασιλικού που βρίσκεται ανάντη και κατόντη της οικιστικής περιοχής καθώς και τον συμβάλλοντα παραπόταμο της Ασγάτας. Οι λεκάνες απορροής των περιοχών αυτών, αποτελούν υπολεκάνες απορροής του ποταμού Βασιλικού.

Η συνολική έκταση της λεκάνης απορροής της ΠΔΣΚΠ 21 είναι 114,99 km² και υπάγεται διοικητικά στην Επαρχία Λάρνακας (κοινότητες Οδού, Μελίνης, Αγίων Βαβατζίνας, Όρας, Λάγειας και Καλαβασού) και της Επαρχίας Λεμεσού (κοινότητες Επταγώνειας, Ακαπνού, Βίκλας, Κελλακίου, Κλωναρίου, Σανίδας, Βάσας και Ασγάτας). Ο Ποταμός Βασιλικός στην Καλαβασό έχει μήκος 2,51 km και κατά μήκος κλίση 1,4%. Η κίνησή του είναι προς νοτιοανατολικά και διασχίζει τον οικισμό μέσω ανοικτού διευθετημένου καναλιού στα ανατολικά του, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα είναι μη διευθετημένη. Η ΠΔΣΚΠ 22 (Ποταμός της Ασγάτας) συμβάλει στην ΠΔΣΚΠ 21 (εκβολή π. Βασιλικού) , από τα δυτικά, ανάντη του του οικισμού Καλαβασού (ΤΑΥ, 2020).



Εικόνα 14. Η λεκάνη απορροής της ΠΔΣΚΠ 21 (π. Βασιλικός στην Καλαβασό) (ΤΑΥ, 2022)

Η συνολική έκταση της λεκάνης απορροής της ΠΔΣΚΠ 22 (Ποταμός της Ασγάτας) είναι 16,82km² και υπάγεται διοικητικά στην Επαρχία Λάρνακας (κοινότητα Καλαβασού) και της Επαρχίας Λεμεσού (κοινότητες: Σανίδας, Βάσας και Ασγάτας). Έχει μήκος 0,43 km και μέση κατά μήκος κλίση 1,9%. Το μεγαλύτερο μήκος της βρίσκεται σε βαθύ φαράγγι με εμφανή χειμαρρώδη χαρακτηριστικά όπως έντονη κατά μήκος κλίση και έντονη βλάστηση η οποία κάνει μη ορατό το υδατόρεμα σε συγκεκριμένα τμήματα. Στο κατάντη τμήμα του, συμβάλει με την ΠΔΣΚΠ 21 (ποταμός Βασιλικός στην Καλαβασό).



Εικόνα 15. Η λεκάνη απορροής της ΠΔΣΚΠ 22 (π. της Ασογάτας) (ΤΑΥ, 2022)

3.1.2 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής και υδρογραφικού δικτύου

Το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Βασιλικού απαρτίζεται από βλάστηση και καλλιέργειες με ορισμένες αστικές χρήσεις γύρω από τον οικισμό της Καλαβασού. Σημαντική ήταν η επίδραση της πυρκαγιάς του Ιουλίου 2021 που επηρέασε το βόρειο (ανάντη) τμήμα της λεκάνης καίγοντας 55km² δασικών και γεωργικών καλλιεργήσιμων εκτάσεων (ΤΑΥ, 2022). Πιο συγκεκριμένα, πριν την πυρκαγιά το βόρειο τμήμα της λεκάνης της ΠΔΣΚΠ 21, καλύπτονταν από δάση κωνοφόρων και σκληρόφυλλη βλάστηση. Το κεντρικό τμήμα της λεκάνης, κοντά στο φράγμα της Καλαβασού που βρίσκεται κατάντη της περιοχής που επλήγη από την πυρκαγιά, χαρακτηρίζεται δασώδης και θαμνώδης με γεωργικές χρήσεις και καλλιέργειες. Το κατάντη τμήμα του φράγματος χαρακτηρίζεται από σκληρόφυλλη βλάστηση. Η συνολική έκταση της λεκάνης απαρτίζεται από διάσπαρτους οικισμούς (ΤΑΥ, 2022).

Πίνακας 3.3: Βασικές χρήσεις γης της ΠΔΣΚΠ 21

| Χρήσεις γης | Ποσοστό (%) |
|--|-------------|
| Γη γεωργικής χρήσης με τμήματα φυσικής βλάστησης | 29,30 |
| Σκληρόφυλλη βλάστηση | 25,18 |
| Εναλλαγή δασώδων-θαμνώδων εκτάσεων | 18,54 |
| Κωνοφόρα δάση | 8,56 |
| Ετήσιες-μόνιμες καλλιέργειες | 7,01 |
| Μη αστικές χρήσεις | 3,34 |
| Αστικές χρήσεις | 8,07 |

Το μεγαλύτερο τμήμα λεκάνης απορροής για την ΠΔΣΚΠ 22 (Ποταμός Ασγάτας) αποτελείται από σκληρόφυλλη βλάστηση με καλλιεργήσιμες και μεταβατικές εκτάσεις. Σχεδόν στο σύνολό της είναι μη αστικών χρήσεων (ΤΑΥ, 2022).

Πίνακας 3.4: Βασικές χρήσεις γης της ΠΔΣΚΠ 22

| Χρήσεις γης | Ποσοστό (%) |
|--|-------------|
| Γη γεωργικής χρήσης με τμήματα φυσικής βλάστησης | 52,96 |
| Σκληρόφυλλη βλάστηση | 18,85 |
| Εναλλαγή δασώδων-θαμνώδων εκτάσεων | 16,77 |
| Κωνοφόρα δάση | 4,88 |
| Ετήσιες-μόνιμες καλλιέργειες | 2,61 |
| Μη αστικές χρήσεις | 0,23 |
| Αστικές χρήσεις | 3,68 |

Το έδαφος που κυριαρχεί στη λεκάνη απορροής των ΠΔΣΚΠ 21 και 22 χαρακτηρίζεται από μεγάλο δυναμικό επιφανειακής απορροής κυρίως στο ανάντη τμήμα. Τα εδάφη είναι ρηχά (<50 cm), χαλικώδη ή πηλώδη πάνω από αδιαπέρατο πέτρωμα. Χαρακτηριστικό αυτών των εδαφών είναι οι δυσμενείς συνθήκες κορεσμού σε περιπτώσεις εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων λόγω της σύστασης του υποβάθρου που δε διευκολύνει την κατείδυση. Γεωλογικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής αποτελούν ο οφιόλιθος Τροόδους στο ανάντη τμήμα και η ιζηματογενή ακολουθία Τροόδους. Στο ανάντη τμήμα εμφανίζονται πλήθος φλεβών ενώ από την Καλαβασό έως το Μαρί κυριαρχούν Κρητίδες, Μάργες και ο συνδυασμός τους με σποραδικές εμφανίσεις Κερατόλιθων, Ψαμμιτών και Ασβεστόλιθων. Οι λεκάνες απορροής χαρακτηρίζονται από χαμηλή διαπερατότητα, μέτριους προς χαμηλούς ρυθμούς διήθησης και μέτριος προς υψηλό δυναμικό πλημμυρικής απορροής (ΤΑΥ, 2020).

Όσον αφορά το υδρογραφικό δίκτυο των δυο ΠΔΣΚΠ χαρακτηρίζεται ως πυκνό, δενδριτικής μορφής με πλήθος ρεμάτων και ρυακιών σχηματίζοντας μικρά φαράγγια κατά την κίνησή τους σε κοιλάδες μεγάλου βάθους. Ο κύριος κλάδος έχει μήκος 25,49 km και 12,34 km για τις ΠΔΣΚΠ 21 και 22 αντίστοιχα. Στο μεγαλύτερο μέρος η κοίτη του ποταμού Βασιλικού είναι φυσική, εξαίρεση αυτού αποτελεί η διευθετημένη κοίτη ανατολικά του οικισμού Καλαβασού (εντός της ΠΔΣΚΠ 21) και μικροί αναβαθμοί κατάντη αυτού. Η ύπαρξη φράγματος στον Καλαβασό διακόπτει τη φυσική απορροή στα ανάντη του οικισμού, με αποτέλεσμα την αποθήκευση νερού στον ταμιευτήρα ή την υπερχειλίση του προς τα κατάντη (ΤΑΥ, 2020).

3.1.3 Καταγραφή ιστορικών πλημμυρών για ΠΔΣΚΠ 21-22

Τα σημαντικότερα πλημμυρικά φαινόμενα που έχουν εμφανιστεί στην περιοχή της Καλαβασού που εμπεριέχει τις ΠΔΣΚΠ 21 και 22 συνοψίζονται στις ημερομηνίες: 21/01/2012, 21/11/2018 και 07/01/2020 (ΤΑΥ, 2022) . Το σημαντικότερο από τα οποία ήταν το γεγονός του 2020 με υπερχειλίση ποταμού στη συμβολή με τον ποταμό της Ασγάτας. Ο οικισμός που υπάρχει στη συγκεκριμένη περιοχή έχει πυκνή δόμηση με μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς. Οι πλημμύρες εμφανίζονται συχνότερα στη συμβολή ΠΔΣΚΠ 21 και 22, η έκταση των οποίων εξαρτάται από την ένταση της εκάστοτε βροχόπτωσης. Σπανιότερα έχουν εμφανιστεί στη νότια έξοδο του οικισμού όπου η κοίτη έχει περιοριστεί λόγω της

παρακαμπτήριου οδού, πριν την κατασκευή της οποίας δεν εμφανιζόντουσαν πλημμυρικά προβλήματα (Κοινοτικό Συμβούλιο Καλαβασού, 2023).

3.2 ΠΔΣΚΠ 29

Η ΠΔΣΚΠ 29 με κωδικό ονομασίας CY-APSF29 σύμφωνα με το 2^ο κύκλο εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60 ανήκει στους Δήμους Αγλαντζιάς, Γερίου και Λατσιών που υπάγονται στην Επαρχία της Λευκωσίας και περιλαμβάνει τους ποταμούς Βυζακωτό και Καλόγερο.

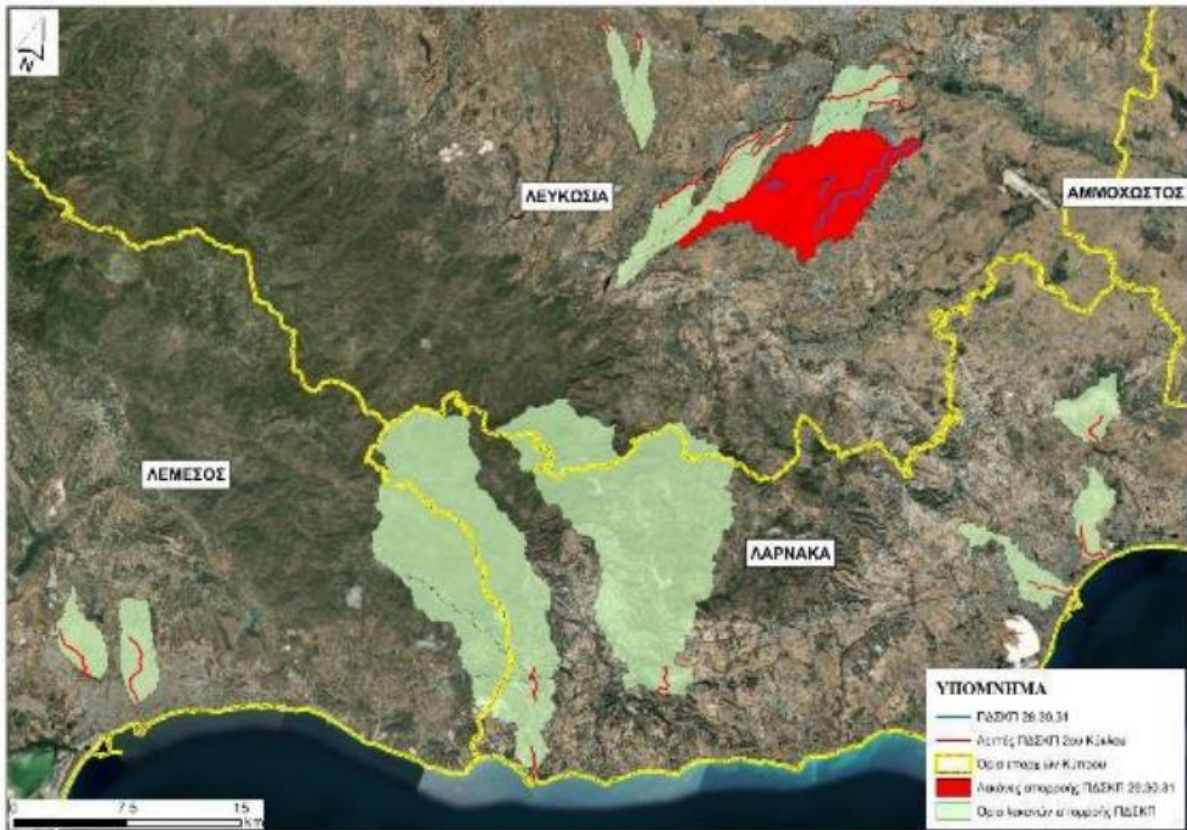
Ως προς τους δήμους που καλύπτουν την λεκάνη απορροής της ΠΔΣΚΠ 29. Ο Δήμος Αγλαντζιάς ανήκει στους ακριτικούς δήμους της χώρας εκτάσεως 31 km², 14 εκ των οποίων αποτελούν καλλιεργήσιμη γη και από το 1974 αποτελούν κατεχόμενη έκταση. Από τα υπόλοιπα 17 km², τα 9 km² είναι εθνικά πάρκα. Πιο συγκεκριμένα είναι το Εθνικό Δασικό Πάρκο Αθαλάσσας, το Πάρκο Αγίου Γεωργίου, Αθαλάσσας, Εθνικό πάρκο Παιδαγωγικής Ακαδημίας, Δημοτικό Πάρκο «Σπύρος Κυπριανού» και άλλα μικρότερης έκτασης πάρκα (Δήμος Αγλαντζιάς, 2023).

Ο Δήμος Γερίου είναι ένας ακόμη ακριτικός δήμος που βρίσκεται σε απόσταση 10 km νοτιοανατολικά της Λευκωσίας. Μετά το 1974 ένα μέρος του είναι κατεχόμενο και ένα μικρότερο αποτελεί «νεκρή ζώνη». Το χωριό αριθμεί 10000 κατοίκους σύμφωνα με την τελευταία εκτίμηση που έγινε το 2007 (Δήμος Γερίου, 2023).

Όσον αφορά το δήμο Λατσιών, βρίσκεται σε απόσταση 7 km νότια της Λευκωσίας, έχει έκταση 16,28 km² και ο πληθυσμός του ανέρχεται στους 13.000 κατοίκους καθιστώντας τον 6^ο πιο πυκνοκατοικημένο δήμο της επαρχίας της Λευκωσίας. Το μέσο υψόμετρο της περιοχής είναι 190 έως 195 μέτρα, με μεγαλύτερα υψόμετρα στη νοτιοδυτική άκρη του (240 έως 300 μέτρα) και χαμηλότερα υψόμετρα στα βορειοανατολικά (160 έως 190 μέτρα). Το οικισμό διατρέχουν οι χειμάρροι Δρακοντιάς και Καλόγερος οι οποίοι αποτελούν παρακλάδια του ποταμού Βαθύ που και αυτός αποτελεί παρακλάδι ενός από τους μεγαλύτερους ποταμούς της Κύπρου, τον Πεδιαίο. Τέλος, τα Λάτσια δέχονται ως μέση ετήσια βροχόπτωση 340 mm (Δήμος Λατσιών, 2023).

3.2.1 Θέση

Η ΠΔΣΚΠ 29 αποτελείται από λεκάνη απορροής έκτασης 58,99 km², έχει μήκος 10,85 km, κατά μήκος κλίση 0,80% και φορά προς τα βόρεια - βορειοανατολικά. Υπολεκάνες της ΠΔΣΚΠ 29 αποτελούν η ΠΔΣΚΠ 30 (Βαθύς παραπόταμος Καλόγερου) και η ΠΔΣΚΠ 31 (Ποταμός Καλόγερος Λακατάμια). Η ΠΔΣΚΠ βρίσκεται σε αστική περιοχή, στο ανάντη τμήμα της υπάρχουν καλυμμένα σημεία της κοίτης ενώ κατάντη διασχίζει καλλιέργειες, το Εθνικό Δασικό Πάρκο Αθαλάσσας αλλά και το μέσο της πανεπιστημιούπολης του Πανεπιστημίου Κύπρου. Το πλέον κατάντη τμήμα της, βορειοανατολικά του Πανεπιστημίου ανήκει στη νεκρή ζώνη. Η τμήμα της κοίτης που περνά κάτω από δρόμους γίνεται με υφιστάμενα τεχνικά έργα ενώ δεν υπάρχει πλήθος έργων αποχέτευσης ομβρίων που να εκβάλλουν στην ΠΔΣΚΠ. Οι εκατέρωθεν περιοχές της ΠΔΣΚΠ 29 έχουν επιφανειακή ροή στα τμήματα με ανοικτή και μη διευθετημένη κοίτη ενώ εντός του αστικού ιστού γίνεται μέσω του δικτύου ομβρίων των δρόμων (ΤΑΥ, 2020).



Εικόνα 16. Τα όρια της λεκάνης απορροής της ΠΔΣΚΠ 29(TAY, 2022)

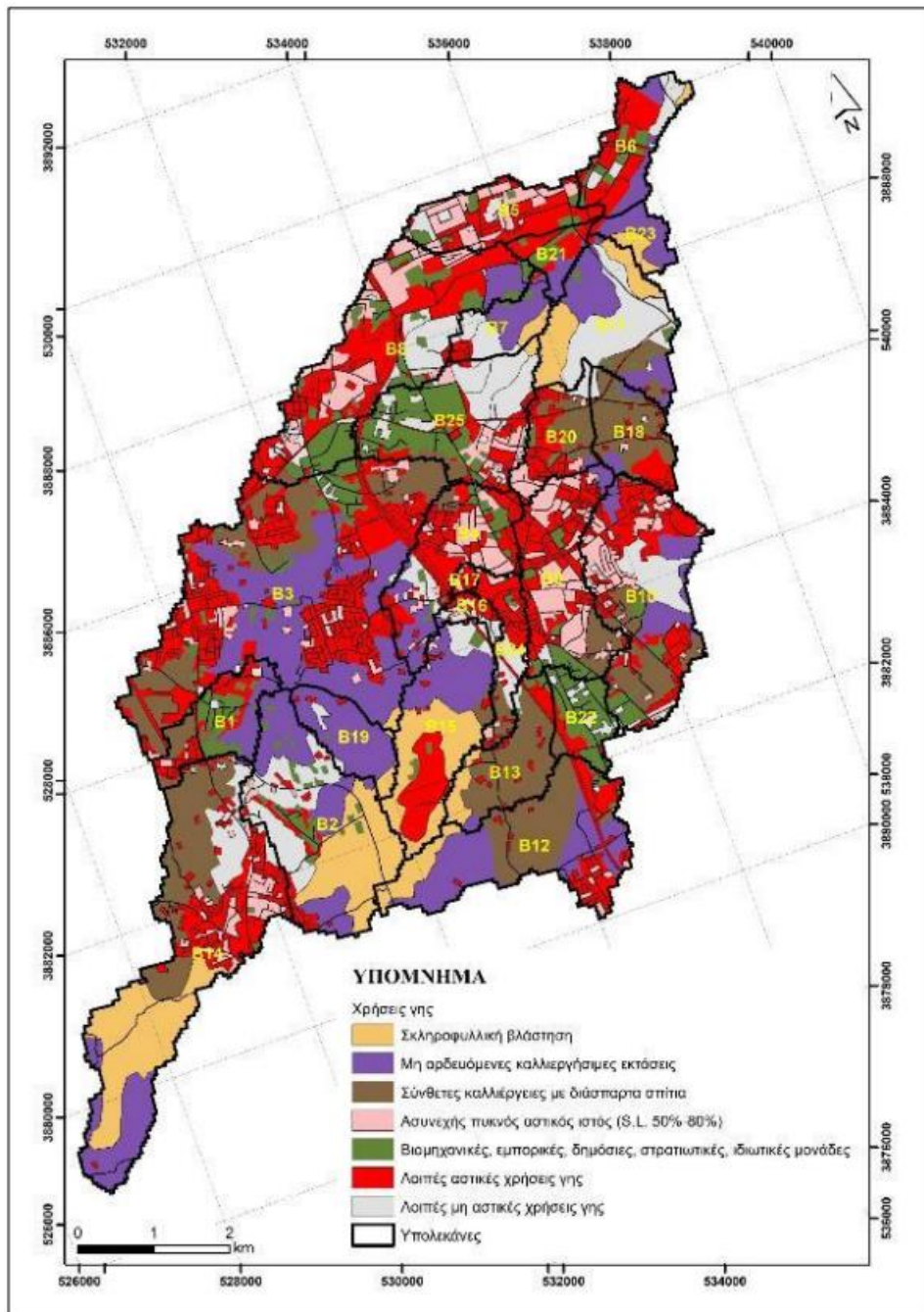
3.2.2 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής και υδρογραφικού δικτύου

Η λεκάνη απορροής της ΠΔΣΚΠ 29 αποτελείται κυρίως από κατοικημένες, βιομηχανικές και εμπορικές εκτάσεις, ενώ υπάρχουν ακόμη μη καλλιεργήσιμη και μη αρδευόμενη γη. Το χωμάτινο φράγμα της Αθαλάσσας που βρίσκεται εντός του Εθνικού Δασικού Πάρκου Αθαλάσσας και κοντά στο νοσοκομείο της Λευκωσίας, αποτελεί σημαντικό υδροβιότοπο και πηγή οξυγόνου της περιοχής (TAY, 2022).

Ως προς τις χρήσεις γης, στη λεκάνη κυριαρχούν οι αστικές χρήσεις, κυρίως κατοικίες, βιομηχανικές και εμπορικές εκτάσεις. Στο ανάντη τμήμα υπάρχουν κυρίως εκτάσεις μη αρόσιμης γης ή καλλιέργειες αλλά και σκληρόφυλλη βλάστηση. Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι κυριότερες χρήσεις γης (TAY, 2022).

Πίνακας 3.5: Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής της ΠΔΣΚΠ 29

| Χρήσεις γης | Ποσοστό (%) |
|---|-------------|
| Μη αρδευόμενη καλλιεργήσιμη γη | 19,38 |
| Σύνθετες καλλιέργειες και οικίες | 14,23 |
| Σκληρόφυλλη βλάστηση | 9,64 |
| Βιομηχανικά, εμπορικά, δημόσια, στρατιωτικά, ιδιωτικά ακίνητα | 8,80 |
| Πυκνός αστικός ιστός (Μη συνεχής) | 8,30 |
| Μη αστικές χρήσεις | 9,81 |
| Αστικές χρήσεις | 29,84 |



Εικόνα 17. Χρήσεις γης της ΠΔΣΚΠ 29 (ΤΑΥ, 2022)

Ως προς τη γεωλογική σύσταση των εδαφών της περιοχής απαρτίζεται κυρίως από πηλώδη και αργιλώδη. Τα εδάφη είναι ως επί το πλείστον μέτριου βάθους (50-100 cm) με ορισμένες περιοχές ρηχών (<50 cm) και βαθιών (>100 cm) εδαφών. Από γεωλογική άποψης, η λεκάνη της ΠΔΣΚΠ 29 δεν έχει σταθερή διαπερατότητα, στο ανάντη τμήμα της χαρακτηρίζεται χαμηλή έως σχετικά χαμηλή, ενώ στο κατόντη τμήμα ως μέση. Τα χαρακτηριστικά της διαπερατότητας οφείλονται στην ύπαρξη της ιζηματογενούς ακολουθίας Τροόδου με εναλλαγή πετρωμάτων όπως αλλουβιακά – κολουβιακά, ψαμμίτη, ασβεστόλιθο, μάργες και κροκαλοπαγή (ΤΑΥ, 2022).

Σύμφωνα με την υδρολογική ανάλυση (Κεφ. 2.1.3 της παρούσας διπλωματικής) το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης ανήκει στον τύπο D, ενώ μικρότερα τμήματα καλύπτονται από τύπος C και B. Συμπερασματικά, η λεκάνη αποτελείται κυρίως από αδιαπέρατα εδάφη χαμηλής διηθητικότητας άρα υπάρχει αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης όγκου άμεσης απορροής σε πλημμυρικά επεισόδια (ΤΑΥ, 2022).

Ως προς το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής, χαρακτηρίζεται ως δενδριτικό με πολλά ρυάκια, πυκνό και υδατορέματα έως και 4^{ης} τάξης. Η κύρια κοίτη στην ΠΔΣΚΠ 29 είναι εμφανής στο μεγαλύτερο μέρος της και περνάει τόσο από υπεραστικές όσο και αστικές εκτάσεις, με ορισμένα διευθετημένα τμήματα. Η ύπαρξη του φράγματος Αθαλάσσας που δημιουργήθηκε αρχικά για τη άρδευση των γύρω περιοχών, σήμερα έχοντας εγκαταλείψει αυτή τη χρήση της, η λίμνη τροφοδοτείται από τα όμβρια ύδατα μέσω των χειμάρρων Βαθύ και Καλόγηρος. Το φράγμα αυτό έχει διακόψει τη φυσική απορροή στο κατάντη τμήμα της λεκάνης.

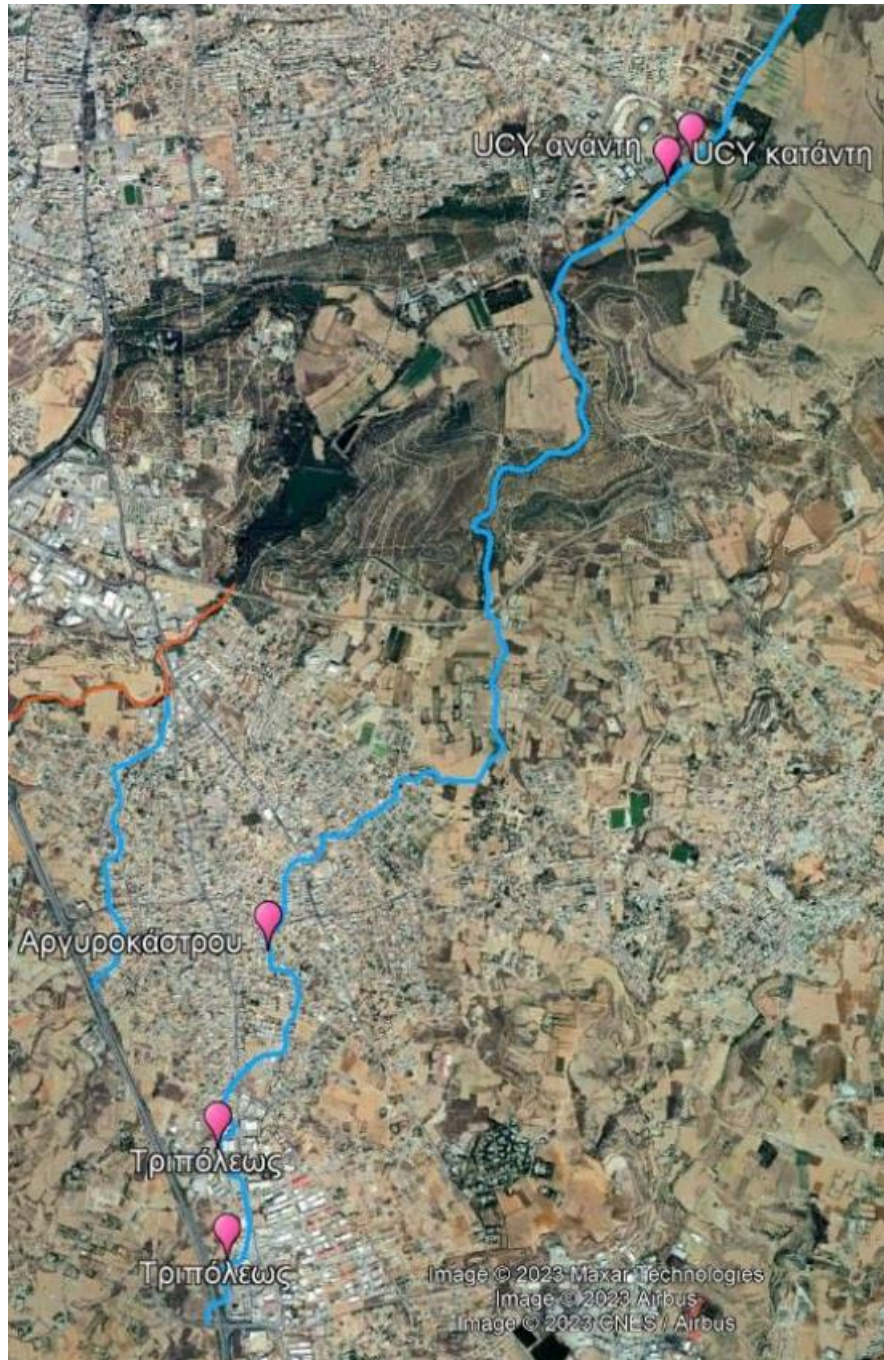
3.2.3 Καταγραφή ιστορικών πλημμυρών για ΠΔΣΚΠ 29

Στην ΠΔΣΚΠ 29 κυριαρχούν οι αιφνίδιες πλημμύρες με τα φαινόμενα να επηρεάζουν τόσο βιομηχανικές όσο και τις οικιστικές περιοχές Λατσιών, Γερίου και την Πανεπιστημιούπολη. Οι μηχανισμοί πλημμύρας που συναντώνται είναι η φυσική υπερχειλίση ποταμού και το φράξιμο γεφυριών λόγω εναπόθεσης φερτών υλικών (ΤΑΥ, 2022).

Στην περιοχή γύρω από τους ποταμούς Βυζακωτό και Καλόγερο έχουν καταγραφεί πλήθος πλημμυρικών φαινομένων. Αξιοσημείωτες είναι οι πλημμύρες που σημειώθηκαν στις εξής ημερομηνίες: 09/12/2014, 10/06/2016, 03/02/2017 και 09/02/2017. Σημαντικές ζημιές σε κατοικίες, οδικό δίκτυο, εμπορικά αλλά και βιομηχανικά ακίνητα της περιοχής είχε προκαλέσει η πλημμύρα τον Ιούνιο του 2016. Πιο συγκεκριμένα, έπληξε την περιοχή της Λατσιάς που υπάγεται στην περιφερειακή ενότητα της Λευκωσίας. Στη συγκεκριμένη περιοχή υπερχείλισε ο ποταμός και η πυροσβεστική δέχθηκε 80 κλήσεις ακόμη και για απεγκλωβισμό ανθρώπων (ERMIS-F, 2023).

Ιδιαίτερα ευάλωτα στον πλημμυρικό κίνδυνο, για συνήθεις περιόδους επαναφοράς, είναι τα εξής σημεία (ΤΑΥ, 2022):

- Τμήμα της οδού Τριπόλεως, κατάντη του αυτοκινητοδρόμου Α1
- Τμήμα της οδού Τριπόλεως (αντιπροσωπία αυτοκινήτων και εργοστάσιο)
- Η οδός Αργυροκάστρου
- Τμήμα νοτιοανατολικά του Πανεπιστημίου Κύπρου



Εικόνα 18. Θέσεις ευάλωτων πλημμυρικών περιοχών της ΠΔΣΚΠ 29

3.3 Υφιστάμενα μοντέλα

Για την παρούσα διπλωματική εργασία διατέθηκαν από το ΤΑΥ τα μοντέλα συνδυασμένης (1D/2D) υδραυλικής προσομοίωσης του 2^{ου} Κύκλου Εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60. Για το σύνολο της υδραυλικής προσομοίωσης των 19 ΠΔΣΚΠ που προέκυψαν, επιλέχθηκε το λογισμικό HEC-RAS για μονοδιάστατη ή δισδιάστατη μη μόνιμη ροή. Το πρόγραμμα αυτό είχε χρησιμοποιηθεί και στην κατάρτιση μοντέλων του 1^{ου} Κύκλου Εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ και είναι του ίδιου οργανισμού με το υδρολογικό πρόγραμμα HEC-HMS που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των υδρολογικών μοντέλων βροχής – απορροής. Τα

αποτελέσματα της υδρολογικής προσομοίωσης εισάγονται εύκολα από το χρήστη ως δεδομένα εισόδου στο πρόγραμμα υδραυλικής προσομοίωσης.

Η επιλογή της μεθόδου μοντελοποίησης έγινε βάσει των ακόλουθων παραγόντων (ΤΑΥ, 2022):

- Σε περιπτώσεις που η αναλογία μήκους ποταμού με το εκτιμώμενο πλημμυρικό πεδίο είναι μεγαλύτερη ή ίση με 3 προς 1, συνίσταται η απλούστερη και ταχύτερη (σε υπολογιστικό χρόνο), μονοδιάστατη ανάλυση
- Σε σημεία στένωσης της κοίτης λόγω παρουσίας γεφυρών ή οχετών, προτιμάται η δισδιάστατη ανάλυση
- Όταν η κοίτη κινείται μέσα σε οικιστική περιοχή, προτιμάται η δισδιάστατη ανάλυση για τα ακριβέστερα αποτελέσματα που δίνει

3.3.1 Επιλογή τρόπου επίλυσης των υφιστάμενων μοντέλων της ΠΔΣΚΠ 21 – 22

Στα πλαίσια της διπλωματικής στάλθηκαν από το ΤΑΥ τα υφιστάμενα μοντέλα υδραυλικής προσομοίωσης για τις ΠΔΣΚΠ 21-22 και 29. Τα πλημμυρικά πεδία των ΠΔΣΚΠ 21 (Ποταμός Βασιλικός στην Καλαβασό) και 22 (Ποταμός της Ασγάτας) συμβάλλουν ανάντη του οικισμού, σημείο που εμφανίζει συχνά προβλήματα, με σημαντικούς όγκους νερού να εκρέουν από την κοίτη. Εκτιμήθηκε πως η παροχετευτικότητα της κοίτης για την ΠΔΣΚΠ 21 είναι περιορισμένη να δεχθεί τις παροχές που έχουν προκύψει βάσει της υδρολογικής ανάλυσης για τις τρεις περιόδους επαναφοράς που εξετάστηκαν. Επιλέχθηκε η δημιουργία κοινού ομοιώματος για τις δυο ΠΔΣΚΠ, ώστε να εξεταστεί η συμπεριφορά της συμβολής των υδατορεμάτων τους και η περίπτωση πλημμύρας από τον ποταμό Βασιλικό προς τον οικισμό της Καλαβασού. Σε περίπτωση που η ΠΔΣΚΠ 22 μοντελοποιούνταν ως ανεξάρτητη περιοχή, θα μπορούσε να γίνει μονοδιάστατη ανάλυση καθώς αποτελεί χείμαρρο με μεγάλη κατά μήκος κλίση και συνθήκες μονοδιάστατης ροής με αποτέλεσμα οι εκατέρωθεν της κοίτης πλαγιές να εμποδίζουν την υπερχειλίση της κοίτης και τη δημιουργία ευρέος πλημμυρικού πεδίου(ΤΑΥ, 2022).

3.3.2 Επιλογή τρόπου επίλυσης των υφιστάμενων μοντέλων της ΠΔΣΚΠ 29

Όσον αφορά την ΠΔΣΚΠ 29 (Ποταμοί Βυζακωτός και Καλόγερος), το μεγαλύτερο μέρος της κοίτης βρίσκεται σε ήπιο ανάγλυφο και εντός κατοικημένης περιοχής με ύπαρξη πλήθος τεχνικών έργων ορισμένα εκ των οποίων είναι μεγάλου μήκους. Αποτέλεσμα μιας πιθανής υπερχειλίσεώς τους θα ήταν η κίνηση στο πλημμυρικό πεδίο σημαντικών όγκων νερού. Για τους λόγους αυτούς επιλέχθηκε η συνδυασμένη μέθοδος προσομοίωσης για την ΠΔΣΚΠ 29.

Στις περισσότερες περιπτώσεις εμφάνισης τέτοιων σφαλμάτων κατά την κατάρτιση των υδραυλικών μοντέλων του 2^{ου} Κύκλου Εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ αξιολογήθηκαν οι παρατηρήσεις. Όπου ήταν δυνατό εξαλείφθηκαν με πύκνωση των διατομών και αλλαγή των παραμέτρων επίλυσης, ενώ σε άλλες περιπτώσεις που το σφάλμα ήταν αποδεκτό δεν πραγματοποιήθηκε κάποια επιπλέον δράση. Τα παραπάνω συχνά απαιτούν πλήθος δοκιμών και παρεμβάσεων στα υδραυλικά μοντέλα, με αποτέλεσμα η τελειοποίησή τους να πρόκειται για μία αρκετά χρονοβόρα διαδικασία.

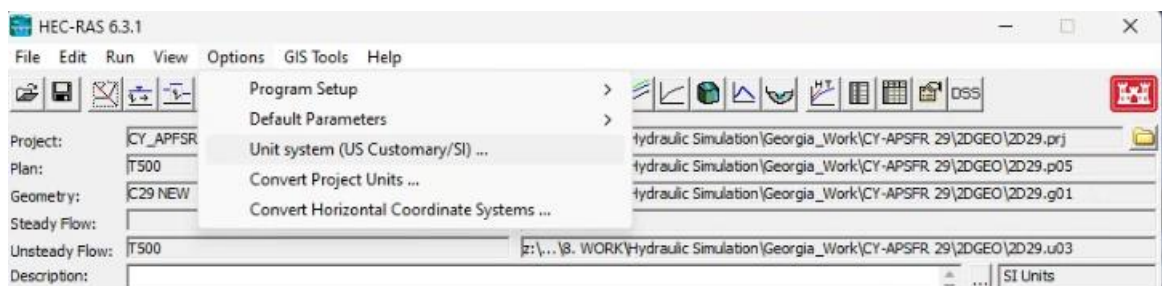
4. Μεθοδολογία Δισδιάστατης Επίλυσης

4.1 Δημιουργία Γεωμετρίας

Για τη δημιουργία των υδραυλικών μοντέλων στο πρόγραμμα υδραυλικής προσομοίωσης HEC-RAS ακολουθείται μια σειρά βημάτων η οποία αποσκοπεί στην κατάστρωση του υδραυλικού μοντέλου και του πλημμυρικού πεδίου για κάθε ΠΔΣΚΠ. Γενικότερα στη δισδιάστατη ανάλυση, το πλήθος εντολών γίνονται στο Ras Mapper στο πεδίο 2D Flow Area.

Παρακάτω αναλύεται η σειρά των βημάτων που ακολουθήθηκε. Η μεθοδολογία βασίστηκε στο Hydraulic Manual του HEC-RAS (USACE, 2023). Η σειρά των βημάτων αναλυτικά αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. **Δημιουργία του Project** πραγματοποιείται στο κεντρικό Menu του προγράμματος από την επιλογή File -> New Project , ονοματίζοντάς το και επιλέγοντας τη θέση του φακέλου που θα αποθηκευτεί. Σημαντικό είναι ο προσδιορισμός των μονάδων μέτρησης να βρίσκεται σε S.I (System International), η επιλογή των οποίων πραγματοποιείται από το κεντρικό Menu του HEC-RAS στο πεδίο Options όπως φαίνεται παρακάτω:

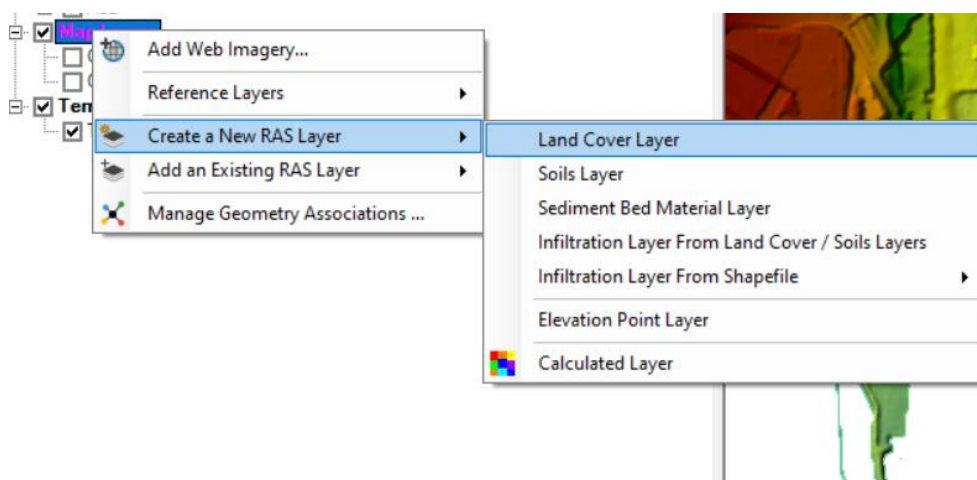


Εικόνα 19. Επιλογή μονάδων μέτρησης το λογισμικό HEC-RAS

Στο παράθυρο του Ras Mapper που εμφανίζεται υπάρχουν τα εξής πεδία (όπως φαίνονται και από την Εικόνα 21) :

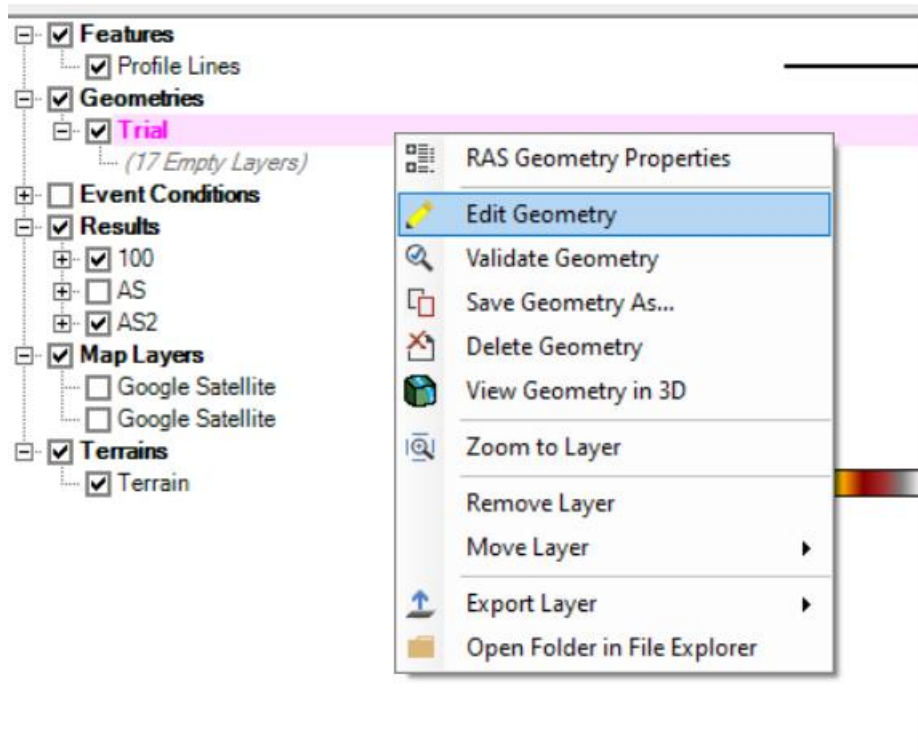
- i. **Features** στο οποίο μπορεί ο χρήστης να σχεδιάσει βοηθητικές γραμμές ως Profile line και σχήματα ως Polygons (Multipoint)
- ii. **Geometries** που πραγματοποιείται η σχεδίαση της Γεωμετρίας, η εισαγωγή των Τεχνικών έργων αλλά και τα σημεία – ρέματα που εφαρμόζονται τα υδρογραφήματα εισόδου
- iii. **Event Conditions** προβάλλει λεπτομέρειες της προσομοίωσης αδιάστατης ροής (δε χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική)
- iv. **Results** εμφανίζονται τα αποτελέσματα έπειτα από την ολοκλήρωση των υδραυλικών υπολογισμών όπου απεικονίζεται σχηματικά πως κατανέμεται ο πλημμυρικός όγκος καθ' όλη τη διάρκειας της υδραυλικής προσομοίωσης. Ακόμη εμφανίζει τα βάθη ροής, την ταχύτητα ροής αλλά και τις χρονικές στιγμές που πραγματοποιούνται οι μέγιστες τιμές αυτών.

- v. **Map Layers** είναι ένα βοηθητικό Layer στο οποίο μπορούν να εισαχθούν αρχεία ως Shape Files (shp) τα οποία βοηθούν το χρήστη στο σχεδιασμό του μοντέλου (όπως τον άξονα ροής, τις υπολεκάνες και τα σημεία των τεχνικών έργων). Τα αρχεία αυτά εξάγονται από κάποιο πρόγραμμα Γεωπληροφοριών (στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα QGIS). Σημαντική είναι η δυνατότητα του συγκεκριμένου Layer στην εισαγωγή του αριθμού Manning στο πεδίο (ως Layer με πολύγωνα που έχουν συσχετιστεί με συγκεκριμένο αριθμό Manning) όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 20. Εισαγωγή του Layer Manning στο HEC-RAS

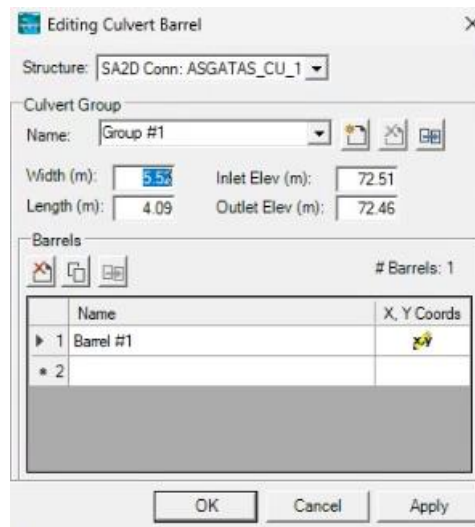
- vi. **Terrains** στο συγκεκριμένο Layer, πραγματοποιείται η εισαγωγή του DEM (Digital Elevation Model) που αποτυπώνει τα υψόμετρα του εδάφους για μια συγκεκριμένη περιοχή. Μια ακόμη δυνατότητά του είναι η διαμόρφωση υψομέτρων από το χρήστη σε σημεία που απαιτείται τροποποίηση. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται από το πεδίο Terrain -> Add New Modification Layer και έπειτα επιλέγεται η δυνατότητα εισαγωγής channel ή polygon.
2. **Εισαγωγή του υποβάθρου** από το Ras Mapper ως Terrain (Terrains -> Add an Existing Terrain -> Επιλογή του DEM) και προσδιορισμός του Projection, επιλέγοντας κάποιο Layer το οποίο περιέχει το σύστημα συντεταγμένων της εκάστοτε χώρας.
 3. **Δημιουργία της Γεωμετρίας** πραγματοποιείται από το Ras Mapper κάνοντας δεξί κλικ στο πεδίο Geometries -> Add New Geometry. Αφού ονοματιστεί η Γεωμετρία (όνομα Trial) και κάνοντας δεξί κλικ στο όνομα (όπως φαίνεται παρακάτω) εμφανίζεται η επιλογή Edit Geometry που εμφανίζει τα 17 Layers της.



Εικόνα 21. Σχεδιασμός Γεωμετρίας στο HEC-RAS

4. **Σχεδιασμός της κύριας κοίτης** του ποταμού αποτυπώνεται ως Breakline και αντιπροσωπεύει τον άξονα ροής του υπό μελέτη ρέματος. Η εισαγωγή της πραγματοποιείται από το Layer 2D Flow Areas -> Breakline.
5. **Σχεδιασμός της περιμέτρου** πραγματοποιείται μέσω του πεδίου 2D Flow Areas -> Perimeter η οποία αντιπροσωπεύει το πλημμυρικό πεδίο – πλέγμα της προσομοίωσης δηλαδή την περίμετρο που θα πραγματοποιηθούν οι υδραυλικοί υπολογισμοί. Σε περιοχές που απαιτείται πιο πυκνό ή πιο αδρομερές πλέγμα εισάγεται το Layer Refinement Regions.
6. **Εισαγωγή τεχνικών** η οποία πραγματοποιείται στο Ras Mapper από το layer SA/2D Connections. Υπάρχει η δυνατότητα για επιλογή μεταξύ culvert και bridge (παρατηρήθηκε πως η επιλογή σχεδίασης τεχνικού ως bridge φέρει ορισμένες ασάθειες στο μοντέλο και ζητείται η εισχώρηση περισσότερων δεδομένων). Το άνοιγμα του οχετού σχεδιάζεται ως culvert στο ίδιο layer. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα για τη σχεδίαση των τεχνικών έργων. Στο παρακάτω παράδειγμα θα αναλυθεί ο σχεδιασμός του τεχνικού έργου ASGATAS_CU_1 που αποτελεί τεχνικό της ΠΔΣΚΠ 21-22.
 - i. Αρχικά σχεδιάζεται στο Ras Mapper ο άξονας του τεχνικού, στο παράθυρο που ανοίγεται κατά την ολοκλήρωση του σχεδιασμού καθορίζεται το όνομα και το πλάτος του τεχνικού.
 - ii. Έπειτα από το Layer Culvert Barrels καθορίζεται το άνοιγμα – ανοίγματα του οχετού. Το barrel σχεδιάζεται πάντα από ανάντη προς κατόντη της ροής. Αφού σχεδιαστεί το barrel επιλέγεται το άνοιγμα του οχετού (Width) καθώς και τα

υψόμετρα ανάντη και κατάντη του τεχνικού (Inlet και Outlet Elevation αντίστοιχα), βάσει των αποτυπώσεων.



Εικόνα 22. Καθορισμός χαρακτηριστικών μεγεθών για τα ανοίγματα του οχετού

- iii. Για την ενσωμάτωση του τεχνικού έργου στο πλέγμα είναι επιθυμητή η μεγαλύτερη υπολογιστική ακρίβεια γύρω από τα τεχνικά έργα. Για το λόγο αυτό, επιλέγεται το πλέγμα γύρω από το τεχνικό Δεξί κλικ στο τεχνικό έργο -> Edit 2D Connection Breakline Properties. Στο παράθυρο που ανοίγεται, ως Near Spacing επιλέγεται το πλέγμα που είναι επιθυμητό (1x1 m στο συγκεκριμένο παράδειγμα). Ως Near Repeats επιλέγεται ο πλησιέστερος ακέραιος αριθμός διαιρεμένος δια 2 του πλάτους του εκάστοτε τεχνικού έργου, έτσι ώστε να καλυφθεί όλο το εμβαδόν του τεχνικού έργου με τη συγκεκριμένη ανάλυση. Ως Far Spacing επιλέγεται η διάσταση που έχει το τελευταίο κελί έπειτα από τα Near Repeats.

Από το πεδίο View/Edit Geometric data και κάνοντας κλικ σε καθένα τεχνικό έργο και επιλέγοντας την εντολή Enforce Internal Connection as Breakline in 2D Flow Areas διορθώνεται ο άξονας του τεχνικού. Τέλος, ο καθορισμός των μεταβλητών/παραμέτρων για κάθε τεχνικό έργο γίνεται στο πεδίο SA/2D Connection. Η επεξεργασία των οχετών γίνεται από το πεδίο culvert. Πιο συγκεκριμένα, επιλέγεται το σχήμα (Shape) του οχετού και το ύψος του ανοίγματός του (Rise). Έπειτα καθορίζονται οι παράμετροι όπως το Entrance Loss Coeff, Exit Loss Coeff, Manning's n for Top/Bottom και τέλος τα υψόμετρα βάσει της αποτύπωσης ανάντη και κατάντη του τεχνικού, Upstream/Downstream Invert Elevation. Ο καθορισμός του αναχώματος και του υψομέτρου που βρίσκεται το κατάστρωμα του δρόμου γίνεται μέσω του Weir/Embankment. Ο καθορισμός των παραμέτρων έγινε βάσει των τιμών που συνιστώνται σύμφωνα με το HEC-RAS 2D User's Manual (USACE, 2023)

Culvert Data Editor

Culvert Group: Group #1

Solution Criteria: Computed Flow Control

Shape: Box Span: 5.52 Rise: 2.7

Chart #: 8 - flared wingwalls

Scale #: 3 - Wingwall flared 0 deg. (sides extended straight)

Culvert Length: 4.09 Depth to use Bottom n: 0

Entrance Loss Coeff: 0.5 Depth Blocked: 0

Exit Loss Coeff: 1 Upstream Invert Elev: 72.51

Manning's n for Top: 0.016 Downstream Invert Elev: 72.46

Manning's n for Bottom: 0.016

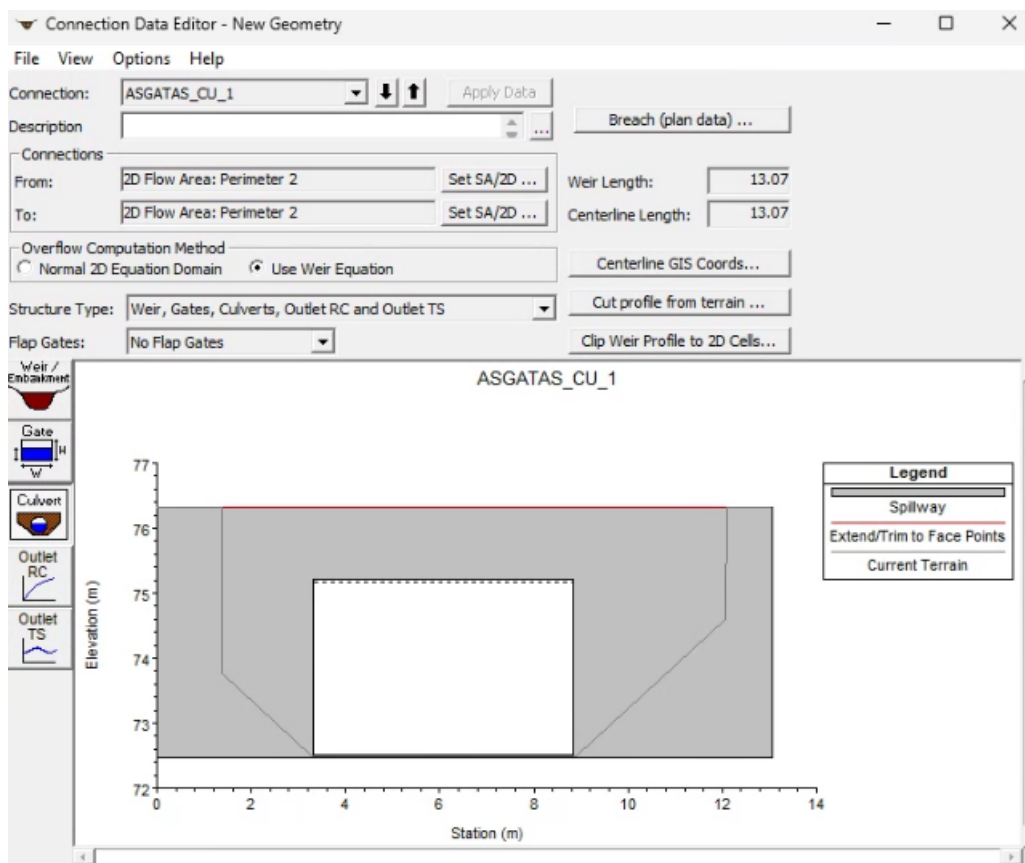
Culvert Barrel Data

| Barrel Name | US Sta | DS Sta | GIS Sta |
|-------------|--------|--------|---------|
| 1 Barrel #1 | 6.07 | 6.07 | 6.07 |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |

| X | Y |
|-------------|-------------|
| 1.847719033 | 1.721528884 |
| 1.175018413 | 1.780165563 |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |

Individual Barrel Centerlines ... Show on Map OK Cancel Help

Εικόνα 23. Σχεδιασμός του τεχνικού έργου

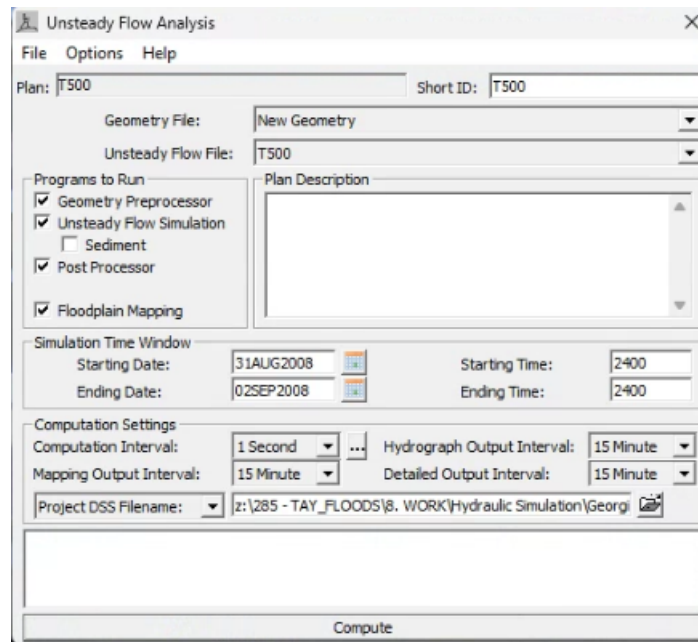


Εικόνα 24. Τελική Διαμόρφωση του τεχνικού έργου ASGATAS_CU_1

7. Δημιουργία πλέγματος η οποία συντελεί στη δημιουργία του υπολογιστικού κάρναβου και στην επιλογή κατάλληλων παραμέτρων ώστε να επιτευχθεί ο βέλτιστος

υπολογιστικός χρόνος. Η επιλογή των διαστάσεων του κάνναβου γίνεται βάσει μεγέθους της περιοχής που πρέπει να καλυφθεί. Γενικότερα, σε μεγαλύτερες εκτάσεις προτιμώνται μεγαλύτερες διαστάσεις ώστε να μειωθεί ο υπολογιστικός φόρτος. Ο υπολογιστικός φόρτος εξαρτάται από το πλήθος των υπολογιστικών κελιών (Computational Points) που θα δημιουργηθούν. Τα κελιά αυτά καθορίζονται από το χρήστη για κάθε layer που πρέπει να καθοριστούν κελιά, ξεχωριστά. Τέλος, η ενσωμάτωση των τεχνικών έργων στο πλέγμα γίνεται με την εντολή Enforce 2D Connection as Breakline

- 8. Διόρθωση πλέγματος** αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία δημιουργίας του κάνναβου, ενδέχεται να εμφανιστούν σφάλματα στο layer των Computational Points. Τα σφάλματα αυτά πραγματοποιούνται λόγω της ύπαρξης πολύγωνου με περισσότερες από 8 πλευρές. Η διόρθωσή των οποίων μπορεί να πραγματοποιηθεί αυτόματα κάνοντας δεξιά κλικ στο layer Perimeter-> Try to fix all meshes είτε χειροκίνητα προσθέτοντας σημεία μέσω του layer Computational Points
- 9. Εισαγωγή Manning** γίνεται μέσω του Map Layers -> Create a New Ras Layer -> Land Cover Layers και επιλέγεται το αρχείο που περιέχει τους αριθμούς Manning
- 10. Εισαγωγή οριακών συνθηκών (Boundary Conditions)** η σχεδιάσή τους πραγματοποιείται μέσω του Layer Boundary Conditions. Η εισαγωγή τους γίνεται είτε σαν ομοιόμορφης ροής κατά μήκος της ροής του ρέματος για τα ρέματα που καλύπτει η εκάστοτε υπολεκάνη, είτε σαν εισροή ανάντη του υδατορέματος από κάποια ανάντη υπολεκάνη. Στις εξόδους των ρεμάτων σχεδιάζεται ένα Boundary Condition έτσι ώστε να καλύπτει την περίμετρο στην έξοδο
- 11. Εισαγωγή υδρογραφημάτων** αποτελεί το τελευταίο βήμα πριν την έναρξη των υπολογισμών του προγράμματος. Αρχικά δημιουργείται ένα Plan μέσω του Unsteady Flow Simulation. Επιλέγεται η ημερομηνία, ο χρόνος της προσομοίωσης, το χρονικό διάστημα ανά το οποίο γίνονται υπολογισμοί (στην περίπτωση της Κύπρου που το πλέγμα έχει ανάλυση 1x1, θα πρέπει το Computational Interval <1 sec) και τέλος ανα πόσα λεπτά είναι επιθυμητή η καταγραφή των υδρογραφημάτων και της πορείας της ροής. Τέλος, από το Unsteady Flow Data δημιουργείται ένα φάκελος στον οποίο εισάγονται τα δεδομένα υδρογραφήματα σε κάθε Boundary Condition που σχεδιάστηκε στο προηγούμενο βήμα



Εικόνα 25. Δημιουργία Unsteady Flow Analysis

12. Αφού ολοκληρωθεί η υδραυλική προσομοίωση, τα αποτελέσματά της (βάθος και ταχύτητα ροής) παρουσιάζονται στο Ras Mapper στο Layer Results

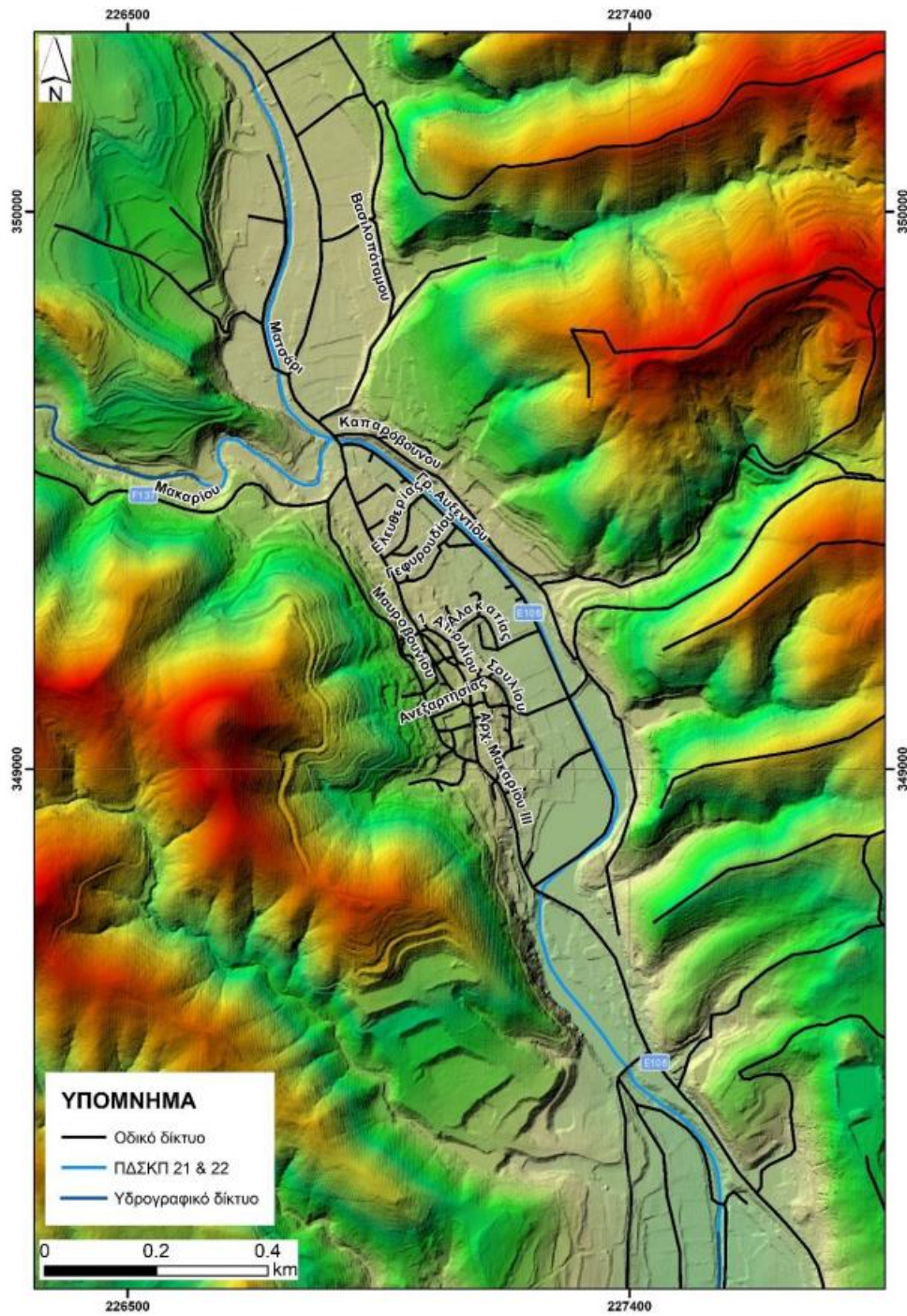
4.2 Εισερχόμενα δεδομένα

Το σύνολο των δεδομένων αλλά και των υφιστάμενων μοντέλων διατέθηκαν από το ΤΑΥ το οποίο προωθεί την διαχείριση των υδατικών πόρων στην Κύπρο και την εναρμόνισή της με τις Ευρωπαϊκές Οδηγίες.

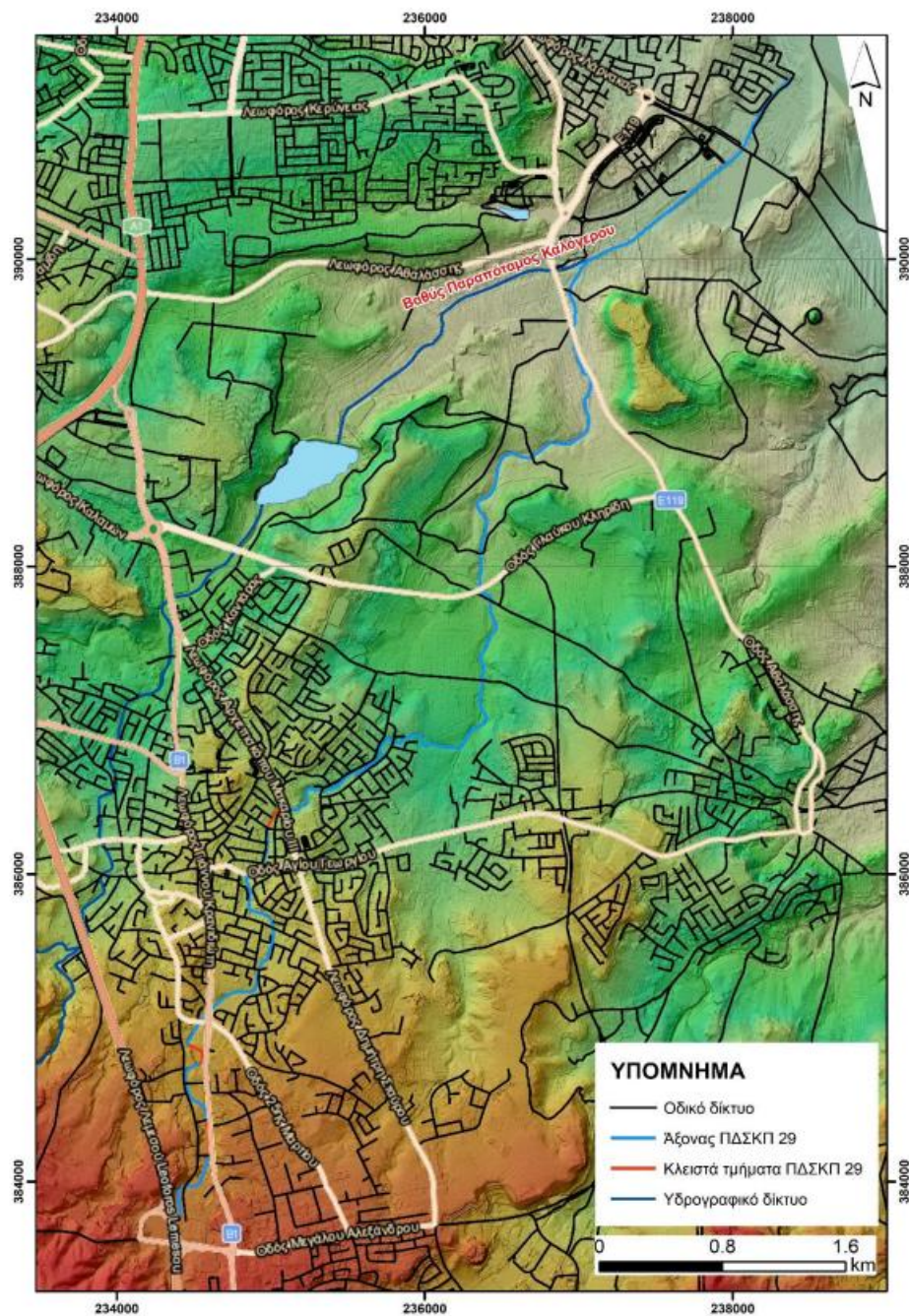
4.2.1 Ψηφιακό Μοντέλο εδάφους

Το ΨΜΕ διατέθηκε από το ΤΑΥ στον Ανάδοχο στα πλαίσια της εκπόνησης του 2^{ου} Κύκλου Εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ. Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους αποτυπώνει τα υψόμετρα εδάφους για την περιοχή της Κύπρου και έχει ανάλυση 1×1 m και το παρέχει το Κτηματολόγιο Κύπρου. Γενικότερα, αποτελεί υψηλής ανάλυσης μοντέλο καθώς αναπαριστά με ικανοποιητική ακρίβεια το ανάγλυφο του εδάφους για τις δυο ΠΔΣΚΠ που καταρτήθηκαν μοντέλα στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αλλά και της κοίτης τους.

Στο ΨΜΕ για την ΠΔΣΚΠ 29 διαπιστώθηκαν τμήματα μη ικανοποιητικής αποτύπωσης των κλίσεων και των υψομέτρων εντός της κύριας κοίτης και πραγματοποιήθηκαν τοπικές διορθώσεις. Στην περιοχή 550 κατάντη της ΠΔΣΚΠ δεν ήταν δυνατή η υδραυλική προσομοίωση καθώς το ΨΜΕ δεν κάλυπτε την περιοχή αυτή. Αυτό συμβαίνει καθώς είναι περιοχή μη ελεγχόμενη από την Κυπριακή Δημοκρατία και δεν εντοπίζεται σ' αυτή κάποια ανθρώπινη δραστηριότητα. Διαπιστώθηκε ότι η μη εισαγωγή της στο υδραυλικό μοντέλο δεν εγκυμονεί κινδύνους στην προσομοίωση (ΤΑΥ, 2022).



Εικόνα 26. ΨΜΕ για την ΠΔΣΚΠ 21-22 (Πηγή: ΤΑΥ, 2022)



Εικόνα 27. ΨΜΕ για την ΠΔΣΚΠ 29 (Πηγή: ΤΑΥ, 2022)

4.2.2 Τεχνικά έργα

Ως προς τα τεχνικά έργα που υπάρχουν στις δυο ΠΔΣΚΠ πραγματοποιήθηκαν αποτυπώσεις τον Αύγουστο του 2021 και διατέθηκαν οι πληροφορίες από το ΤΑΥ. Τα τεχνικά έργα για κάθε ΠΔΣΚΠ αναλύονται παρακάτω.

Για την ΠΔΣΚΠ 21 έχουν καταγραφεί συνολικά 9 τεχνικά έργα τα οποία από ανάντη προς κατόντη έχουν τα εξής χαρακτηριστικά , η κωδική ονομασία CU αντιστοιχεί σε οχετούς (culvert), η BR σε γέφυρα (bridge) και τέλος η ST σε αναβαθμό (store):

- VASILIKOS_CU_6: Αποτελεί δίδυμο κιβωτοειδή οχετό διαστάσεων 2×3×2,2 m με ύπαρξη στηθαίου και πτερυγότοιχους ανάντη και κατάντη
- VASILIKOS_CU_5: Αποτελεί οχετό τεσσάρων ανοιγμάτων διαστάσεων 4×1,95×1,22 m
- VASILIKOS_BR_2: Αποτελεί τοξοειδή γέφυρα ξύλινου καταστρώματος με μεταλλικά κιγκλιδώματα, διαστάσεων 1,55×1,45 m
- VASILIKOS_CU_4: Αποτελεί οχετό που αποσκοπεί στην πρόσβαση σε ιδιοκτησία με διαστάσεις 5×1,27 m
- VASILIKOS_CU_3: Αποτελεί οχετό μεγάλων διαστάσεων που αποσκοπεί στη ροή του νερού κάτω από την οδό E106, αποτελείται από έξι ανοίγματα κυκλικής διατομής, διαμέτρου 3,8 m. Το ένα άνοιγμα είναι πλέον μπαζωμένο και δεν αποσκοπεί σε κάποια υδραυλική λειτουργία. Το πλάτος του οδοστρώματος είναι 10,65 m και έχει μεταλλικά κιγκλιδώματα ασφαλείας
- VASILIKOS_CU_2: Αποτελεί οχετό επτά ορθογωνικών ανοιγμάτων διαστάσεων 2,10×1,8 m το καθένα. Το ανατολικό άνοιγμα έχει μπαζωθεί και δεν αποσκοπεί σε κάποια υδραυλική λειτουργία. Το πλάτος του οδοστρώματος είναι 7 m και υπάρχουν μεταλλικά κιγκλιδώματα ασφαλείας
- VASILIKOS_BR_1: Αποτελεί γέφυρα βαγονέτων μεταλλικού καταστρώματος και διαστάσεων (6,5+8,7) × 4,5 m
- VASILIKOS_ST_1: Αποτελεί σκυροδετημένο αναβαθμό πλάτους 23,5 m με ύψος πτώσης 2,2 m και βρίσκεται 29 μέτρα κατάντη του BR_1
- VASILIKOS_CU_1: Αποτελεί σωληνωτό οχετό δύο ίσων ανοιγμάτων διαμέτρου 1,2 m με πτερυγότοιχους ύψους 0,45 m

Για την ΠΔΣΚΠ 22 έχουν καταγραφεί συνολικά 2 τεχνικά έργα τα οποία από ανάντη προς κατάντη είναι τα ακόλουθα:

- ASGATA_CU_1: Αποτελεί οχετό διαστάσεων 5,5×2,7 m με μεταλλικά στηθαία ασφαλείας
- ASGATA_BR_1: Αποτελεί γέφυρα διαστάσεων 7×2,35 m και αποσκοπεί στην πρόσβαση σε ιδιοκτησία

Για την ΠΔΣΚΠ 29 (Ποταμοί Βυζακωτός και Καλόγερος) έχουν καταγραφεί συνολικά 21 τεχνικά έργα τα οποία αποτελούν οχετούς, δυο εκ των οποίων είναι μεγάλου μήκους, από ανάντη προς κατάντη της ροής είναι τα ακόλουθα:

- CU_21: Αποτελεί οχετό δυο ανοιγμάτων με συνολικό υδραυλικό άνοιγμα (5,1×2,85 + 3,55×2,65) m
- CU_20: Αποτελεί οχετό δυο ανοιγμάτων με συνολικό υδραυλικό άνοιγμα (2,6×1,8 + 2,4×1,8) m χωρίς ύπαρξη στηθαίου
- CU_19: Αποτελεί διπλό κιβωτοειδή οχετό διαστάσεων (2×3×1,8) m συνολικού μήκους 230 m με μεταλλικό στηθαίο (κατάντη) και συμπαγές στηθαίο από σκυρόδεμα
- CU_18: Αποτελεί διπλό κιβωτοειδή οχετό διαστάσεων (2×3,55×3) m, με σκυροδετημένο στηθαίο και μεταλλικό κιγκλίδωμα
- CU_17: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό δυο ανοιγμάτων διαστάσεων (2×2,85×3) m

- CU_16: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό δυο ανοιγμάτων διαστάσεων (2×2,5×2,5) m και μήκους 200 m
- CU_15: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό δυο ανοιγμάτων διαστάσεων (2,75×2,6 + 2,6×2,6) m
- CU_14: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό δυο ανοιγμάτων διαστάσεων (2×2,7×2,44) m με πεζοδρόμια πλάτους 2,5m και μεταλλικά κιγκλιδώματα
- CU_13: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό δύο ανοιγμάτων διαστάσεων (2×2,6×2,65) m με πεζοδρόμιο πλάτους 1,9 m
- CU_12: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό δύο ανοιγμάτων διαστάσεων (3,75×3,5 + 4,2/5,4*3,5) m με πεζοδρόμια 1,9 m
- CU_11: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό δύο ανοιγμάτων διαστάσεων (3,9×2,2 + 4×2,2) m με πεζοδρόμια πλάτους 1,95 m
- CU_10: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό δυο ανοιγμάτων διαστάσεων (2×3,1×2,6) m με πεζοδρόμια 2,8 m
- CU_9: Αποτελεί διευθετημένο οχετό μεγάλου μήκους (210 m) διαστάσεων (2×3×3) m
- CU_8: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό δύο ανοιγμάτων διαστάσεων (2×3,55×2,35) m με πεζοδρόμιο 3 m και 1,5 m ανάντη και κατόντη αντίστοιχα
- CU_7: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό δύο ανοιγμάτων διαστάσεων (2×3,4×2,4) m με πεζοδρόμιο 1,7 m
- CU_6: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό δύο ανοιγμάτων διαστάσεων (2,5×1,65 + 2,5×1,9) m
- CU_5: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό τριών ίσων ανοιγμάτων διαστάσεων (3×2,7×2,05) m
- CU_4: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό δυο ανοιγμάτων διαστάσεων (2×4×2,45) m με μεταλλικά στηθαία
- CU_3: Αποτελεί γεφύρι πέντε τοξωτών ανοιγμάτων διαστάσεων (1,25 προς 3,2) m το καθένα
- CU_2: Αποτελεί κιβωτοειδή οχετό τριών ίσων ανοιγμάτων διαστάσεων (2×1,5×1,85) ×1,6 m
- CU_1: Αποτελεί διπλό κιβωτοειδή οχετό διαστάσεων (2×4,8×2) m με μεταλλικό στηθαίο

4.2.3 Συντελεστές Manning

Ο συντελεστής τραχύτητας ή αλλιώς αριθμός Manning εκφράζει της απώλειες που οφείλονται στην τριβή κατά μήκος της ροής του νερού (Robert Manning, 1889). Η σχέση μέσω της οποίας υπολογίζεται ο αριθμός είναι η ακόλουθη:

$$Q = \left(\frac{1}{n}\right) A \cdot R^{\frac{2}{3}} \sqrt{S} \quad (4.1)$$

Όπου:

Q: Παροχή ροής (m³/s)

A: Επιφάνεια (m²)

R: υδραυλική ακτίνα (m)

*n: συντελεστής Manning
S: κλίση της ροής (m/m)*

Για τη δισδιάστατη προσομοίωση οι τιμές του αριθμού Manning (n) εξαρτώνται από τις εκάστοτε χρήσεις γης και είναι ίσες ή μεγαλύτερες των τιμών της μονοδιάστατης ανάλυσης ώστε να αναπαρασταθούν οι υψηλότερες απώλειες ενέργειας της ροής που πραγματοποιείται εκτός της κύριας κοίτης (TAY, 2022).

Για την εκτίμηση των τιμών Manning αρχικά αναλύθηκαν οι δεδομένες τιμές βάσει των χρήσεων γης κατά Corine από τους Grimaldi et al., 2010, όμως θεωρήθηκαν χαμηλές έπειτα από εφαρμογή τους στα υδραυλικά μοντέλα για τις περιπτώσεις αστικών χρήσεων (όπως η τιμή $n=0,03$ για συνεχή αστική δόμηση 111) και άλλοτε υψηλές σε περιπτώσεις λιβαδιών και καλλιεργειών ($n=0,25$ για τις χρήσεις 231: λιβάδια, 241: ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες και 242: σύνθετα συστήματα καλλιέργειας). Εν συνεχεία, αναλύθηκαν οι τιμές κατά Huang, 2015 έπειτα από τροποποιήσεις από το Ε.Μ.Π για την εναρμόνισή τους στον Ελληνικό χώρο. Η εμπειρία της ομάδας μελέτης στη μελέτη Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας στον ποταμό Έβρο στην Ελλάδα και τον καθορισμό των τιμών Manning λήφθηκε εξίσου υπόψη στον υπολογισμό των τιμών Manning. Λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις προαναφερθέντες πηγές οι τιμές που αποφασίστηκαν για την περιοχή της Κύπρου συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

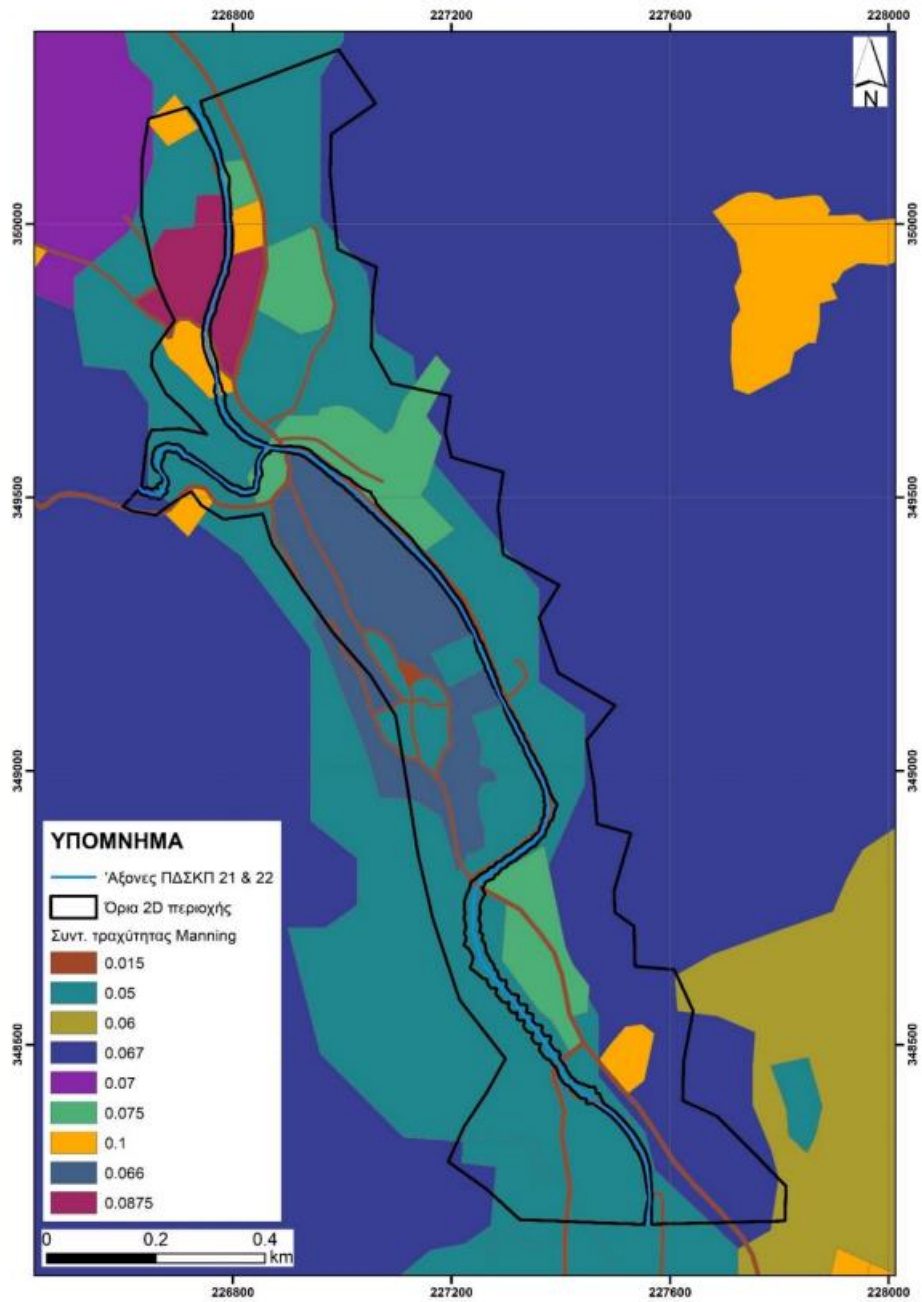
Πίνακας 4.1: Συντελεστές Manning που χρησιμοποιήθηκαν στη δισδιάστατη ανάλυση των 19 νέων ΠΔΣΚΠ (Πηγή: TAY, 2022)

| Κωδικός κατά Corine | Χρήση γης | Manning n |
|---------------------|---|-------------|
| 112 | Ασυνεχής αστικός ιστός | 0,100 |
| 121 | Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες | 0,050 |
| 122 | Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα | 0,015 |
| 131 | Χώροι εξορύξεως ορυκτών | 0,100 |
| 133 | Χώροι οικοδόμησης – Εργοτάξια | 0,100 |
| 141 | Περιοχές αστικού πρασίνου | 0,100 |
| 142 | Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής | 0,100 |
| 211 | Μη αρδευόμενες καλλιεργήσιμες εκτάσεις | 0,070 |
| 212 | Μόνιμα αρδευόμενη γη | 0,050 |
| 221 | Αμπελώνες | 0,080 |
| 222 | Οπωροφόρα δένδρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς | 0,080 |
| 223 | Ελαιώνες | 0,080 |
| 241 | Ετήσιες καλλιέργειες σχετιζόμενες με μόνιμες καλλιέργειες | 0,040 |

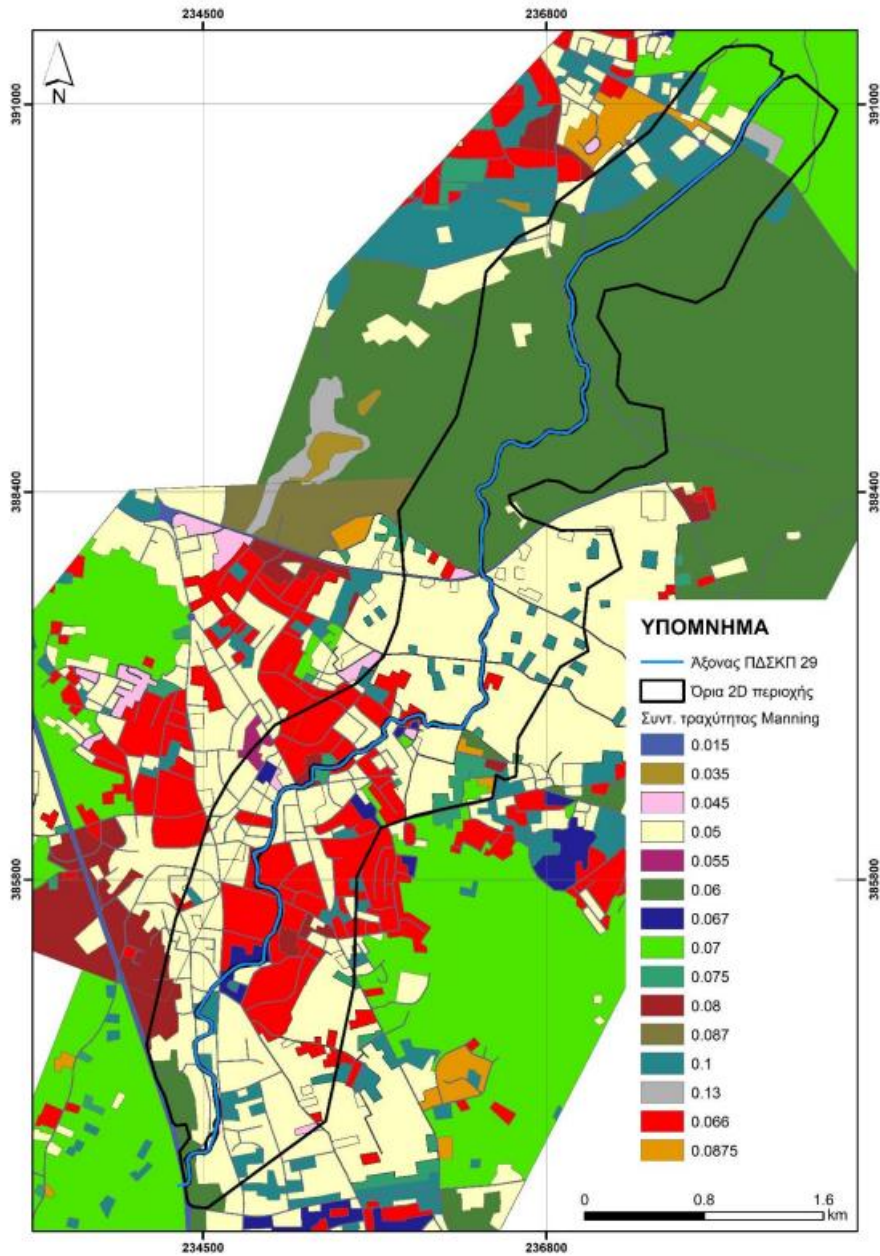
| Κωδικός κατά Corine | Χρήση γης | Manning n |
|---------------------|---|-----------|
| 242 | Σύνθετες καλλιέργειες με διάσπαρτες οικίες | 0,050 |
| 243 | Γη χρησιμοποιούμενη για γεωργία και περιοχές αστικής βλάστησης | 0,060 |
| 311 | Δάση πλατύφυλλων | 0,120 |
| 312 | Δάση κωνοφόρων | 0,150 |
| 321 | Φυσικοί βοσκότοποι | 0,067 |
| 323 | Σκληρόφυλλη βλάστηση | 0,067 |
| 324 | Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις | 0,087 |
| 333 | Εκτάσεις με αραιή βλάστηση | 0,045 |
| 512 | Επιφάνειες στάσιμου ύδατος | 0,035 |
| 11210 | Ασυνεχής πυκνός αστικός ιστός | 0,066 |
| 12100 | Βιομηχανικές, εμπορικές, δημόσιες, στρατιωτικές και ιδιωτικές μονάδες | 0,050 |
| 12220 | Λοιποί δρόμοι | 0,015 |
| 11220 | Ασυνεχής πυκνός αστικός ιστός | 0,075 |
| 11300 | Απομονωμένες δομές | 0,100 |
| 11240 | Ασυνεχής, πολύ χαμηλής πυκνότητας αστικός ιστός | 0,100 |
| 11230 | Ασυνεχής χαμηλής πυκνότητας αστικός ιστός | 0,088 |
| 13400 | Γη χωρίς τρέχουσα χρήση | 0,100 |
| 12210 | Δρόμοι ταχείας διέλευσης | 0,015 |
| 131 - 132 | Χώροι εξορύξεως ορυκτών και χωματερές | 0,100 |
| 124 | Αεροδρόμια | 0,050 |
| 111 | Συνεχής αστικός ιστός | 0,050 |
| 123 | Ζώνες Λιμένων | 0,050 |
| 411 | Βάλτοι στην ενδοχώρα | 0,050 |
| 523 | Θάλασσες και ωκεανοί | 0,035 |

Πιο συγκεκριμένα για τις δυο ΠΔΣΚΠ 21-22 και 29 οι μελέτες βασίστηκαν στις γεωχωρικές πληροφορίες Urban Atlas 2018 Limassol και Urban Atlas 2018 Nicosia αντίστοιχα. Το σύνολο των δυο περιοχών καλύπτονται από τους αντίστοιχους Urban Atlas. Επομένως, πραγματοποιήθηκε αντιστοίχιση των συντελεστών Manning στο πλημμυρικό πεδίο της συνδυασμένης ανάλυσης. Από την αντιστοίχιση αυτή προέκυψαν τα ακόλουθα shapefiles τα

οποία χρησιμοποιήθηκαν στα δυο μοντέλα υδραυλικής προσομοίωσης που εξετάζονται στην παρούσα διπλωματική.



Εικόνα 28. Χωρική κατανομή των συντελεστών Manning στην ΠΔΣΚΠ 21-22 (Πηγή:ΤΑΥ, 2022)



Εικόνα 29. Χωρική κατανομή των συντελεστών Manning στην ΠΔΣΚΠ 29 (Πηγή: ΤΑΥ, 2022)

Εντός του πεδίου που πραγματοποιείται διδιάστατη προσομοίωση προσδιορίστηκαν οι συντελεστές Manning βάσει των χρήσεων γης που παρατηρούνται:

Πίνακας 4.2: Συντελεστές Manning βάσει των χρήσεων γης εντός του διδιάστατου πεδίου (Πηγή: ΤΑΥ, 2022)

| Χρήση γης | Συντελεστής Manning |
|---------------------------------|---------------------|
| Σκληρόφυλλη βλάστηση | 0,067 |
| Σύνθετες καλλιέργειες με οικίες | 0,050 |
| Ασυνεχής πυκνός αστικός ιστός | 0,066 |
| Λοιποί δρόμοι | 0,015 |

| Χρήση γης | Συντελεστής Manning |
|---|---------------------|
| Ασυνεχής, χαμηλής πυκνότητας αστικός ιστός | 0,088 |
| Ασυνεχής, πολύ χαμηλής πυκνότητας αστικός ιστός | 0,100 |
| Καλλιεργήσιμες εκτάσεις μη αρδευόμενες | 0,070 |
| Απομονωμένες δομές | 0,100 |
| Βιομηχανικές, δημόσιες, εμπορικές, στρατιωτικές και ιδιωτικές χρήσεις | 0,050 |
| Καλλιεργήσιμη γη και φυσική βλάστηση | 0,060 |

4.2.4 Γενική μεθοδολογία Υδρολογικών μοντέλων και εισερχόμενα δεδομένα

Σκοπός της υδρολογικής προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της σύμβασης αναθεώρησης του ΣΔΚΠ της Κύπρου – 2^{ος} Κύκλος Εφαρμογής της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2007/60/ΕΚ, είναι η παραγωγή των πλημμυρικών υδρογραφημάτων εισόδου για τις 19 νέες ΠΔΣΚΠ που προέκυψαν. Οι περίοδοι επαναφοράς που εξετάστηκαν σύμφωνα με τους όρους εντολής ήταν 20,100, 500 έτη αλλά και το σενάριο που εξετάζει αναμενόμενες κλιματικές και χρήσεων γης αλλαγές για το έτος 2080 και περιόδου επαναφοράς 20έτη. Το τελευταίο σενάριο δεν εξετάστηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Η λειτουργία του υδρολογικού συστήματος περιγράφηκε από ένα μοντέλο υδρολογικής προσομοίωσης. Αρχικά, αφού διαχωρίστηκαν οι υπολεκάνες, εφαρμόστηκε η συνδυαστική μέθοδος NRCS-CN και η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος σε κάθε μια από αυτές. Με την εφαρμογή της μεθόδου NRCS, μετατρέπεται η βροχή που δέχεται κάθε υπολεκάνη σε επιφανειακή απορροή (σε αυτή προστίθεται και η βασική ροή). Η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος, πραγματοποιεί διόδευση της ολικής επιφανειακής απορροής ανά λεκάνη έως τον αντίστοιχο κόμβο εξόδου. Τέλος, πραγματοποιήθηκε σύνθεση των δυο επιμέρους υδρογραφημάτων για όλες τις υπολεκάνες σε κάθε κόμβο του υδρογραφικού δικτύου και με εφαρμογή εννοιολογικών προσεγγίσεων πραγματοποιήθηκε διόδευση έως την έξοδο της κάθε λεκάνης. Η υδρολογική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό HEC-HMS (Hydrological Modeling System) με τη βοήθεια συστήματος γεωγραφική πληροφορίας. Παρακάτω αναλύονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν από τους μελετητές για την παραγωγή των υδρολογικών μοντέλων:

Αρχικά ορίστηκαν οι θεμελιώδεις χρονικές παράμετροι όπως ο συνολική διάρκεια (μεγαλύτερη ή ίση του χρόνου συγκέντρωσης ώστε να ληφθούν υπόψη και τα πιο απομακρυσμένα σημεία), D, και το χρονικό βήμα, $\Delta t = 15 \text{ min}$ που καθορίζει και το χρονικό βήμα των υπολογισμών.

Για την παραγωγή των υετογραφημάτων στις εισόδους των υπολεκανών χρησιμοποιήθηκαν σημειακές όμβριες καμπύλες οι οποίες αντλήθηκαν από βροχομετρικούς σταθμούς της εξεταζόμενης λεκάνης και της ευρύτερης περιοχής τους.

Ως όμβριες καμπύλες ορίζονται οι στατιστικές σχέσεις που εκτιμούν την μέγιστη ένταση βροχής, $i = f(k,T)$, όπου k η χρονική κλίμακα και T η περίοδος επαναφοράς. Έπειτα από εκτιμήσεις των μελετητών προέκυψε η εξής όμβρια καμπύλη για θέση ενός σταθμού:

$$i(d, T) = \frac{\lambda\psi + \frac{\lambda}{\kappa} \left(\left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)^{-\kappa} - 1 \right)}{(d + \theta)^\eta} \quad (4.2)$$

Όπου:

$i(d,T)$: ένταση της βροχής (mm/hr)

d : χρονική διάρκεια βροχόπτωσης

T : περίοδος επαναφοράς (έτη)

λ : παράμετρος κλίμακας διαστάσεων έντασης βροχής (mm/hr)

ψ : παράμετρος κλίμακας της περιόδου επαναφοράς T (έτη)

κ : παράμετρος σχήματος της ουράς των ακραίων τιμών

θ : παράμετρος χρονικής κλίμακας (hr)

η : αδιάστατη παράμετρος της συνάρτησης χρονικής κλίμακας

Σε υδρομετρικούς σταθμούς όπου $\kappa < 0$, η όμβρια καμπύλη παίρνει την ακόλουθη μορφή (μετατρέπεται σε τετραπαραμετρική σχέση):

$$i(d, T) = \frac{\lambda \left(\psi - \ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right)}{(d + \theta)^\eta} \quad (4.3)$$

Πίνακας 4.3: Παράμετροι συνάρτησης (4.2) που εφαρμόζονται στις όμβριες καμπύλες ανά κλιματική περιοχή (Πηγή:ΤΑΥ, 2022)

| Περιοχή | Παράμετρος θ | Παράμετρος η |
|------------------|---------------------|-------------------|
| Παραλία | 0,113 | 0,814 |
| Εσωτερικά Πεδινά | 0,149 | 0,834 |
| Ημιορεινά | 0,115 | 0,766 |
| Ορεινά | 0,091 | 0,713 |

Επόμενο βήμα ήταν η παραγωγή των σημειακών υετογραφημάτων σχεδιασμού η οποία βασίστηκε στην μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ. Σύμφωνα με την οποία, τα ύψη βροχής που έχουν καταγραφεί σε κάθε θέση, διατάσσονται σε χρονική ακολουθία με το μέγιστο στο μέσο της συνολικής διάρκειας βροχής και τα υπόλοιπα τοποθετούνται σε φθίνουσα εναλλασσόμενη σειρά δεξιά και αριστερά του κεντρικού μπλοκ. Παραδοχή για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου αποτελεί πως σε κάθε επιμέρους χρονική κλίμακα, το εκτιμώμενο ύψος βροχής πρέπει να έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με το συνολικής ύψος βροχής.

Επιπλέον, απαραίτητο δεδομένο εισόδου είναι το επιφανειακό υετογράφημα των λεκανών απορροής το οποίο παράχθηκε με τη χωρική ολοκλήρωση των σημειακών υετογραφημάτων με χρήση της μεθόδου Thiessen. Σύμφωνα με την οποία, το επιφανειακό μέγεθος που εξάγεται προκύπτει ως σταθμισμένο άθροισμα των αντίστοιχων σημειακών.

Απαραίτητη ήταν και η επιφανειακή αναγωγή των εντάσεων βροχής σε επιφανειακές μέσες εντάσεις, καθώς θεωρείται πως τα υετογραφήματα αναφέρονται σε σημειακή κλίμακα ενώ η χωρική κλίμακα του επεισοδίου βροχόπτωσης είναι μεγάλη.

Ακόμη, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της μέγιστης δυνητικής κατακράτησης. Η τιμή αυτή εκφράζεται μέσω της παραμέτρου S , μέσω εμπειρικής εκτίμησης συναρτήσεων του αριθμού καμπύλης απορροής CN (Curve Number). Σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (4.4)$$

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε διόδευση της επιφανειακής απορροής των υπολεκανών με χρήση του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Βάσει της θεωρίας του μοναδιαίου υδρογραφήματος (Unit Hydrograph) πραγματοποιείται χωροχρονικός μετασχηματισμός της απορροής σε πλημμυρική παροχή στον κόμβο εξόδου. Το μοναδιαίο υδρογράφημα για δεδομένη διάρκεια βροχής παράγεται συνθετικά (βάσει γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης) λόγω μη επαρκών δεδομένων πλημμυρικών επεισοδίων. Η επιλογή του κατάλληλου συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (ΣΜΥ) γίνεται βάσει των προδιαγραφών της NRCS (Natural Resources Conservation Service), 2007. Το NRCS ορίζει ένα συγκεκριμένο ΣΜΥ, το PRF 484 (Peak Rate Factor) το οποίο θεωρείται κατάλληλο για φυσικής (μη αστικοποιημένες) λεκάνες μικρής κλίμακας.

Χαρακτηριστική παράμετρος του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος είναι ο χρόνος υστέρησης, t_L (απόσταση κέντρου βάρους του ΜΥ από το κέντρο βάρους της βροχόπτωσης), εκφράζεται ως ποσοστό του χρόνου συγκέντρωσης t_c :

$$t_L = 0,6 t_c \quad (4.5)$$

Με την παραδοχή πως το κέντρο βάρους του ΜΥ ταυτίζεται με την αιχμή, ο χρόνος ανόδου t_p εκφράζεται μέσω της σχέσης:

$$t_p = t_L + \frac{D}{2} = 0,6 t_c + \frac{D}{2} \quad (4.6)$$

Το ΜΥ Standard PRF 484 έχει χρόνο βάσης: $t_b = 5t_p$ και παροχή αιχμής εκτιμώμενη μέσω της εξίσωσης συνέχειας:

$$q_p = \frac{K A h_0}{t_p} \quad (4.7)$$

Όπου:

A: επιφάνεια αποστράγγισης (km²)

t_p: χρόνος αιχμής (hr)

h₀: μοναδιαία βροχόπτωση (h₀=10mm)

K: παράγοντας ρυθμού αιχμής (K=2,08 στην PRF 484)

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία με γνωστό το χρόνο συγκέντρωσης, υπολογίστηκε ο χρόνος ανόδου και η παροχή q_p μέσω της σχέσης (4.7)

Για τον υπολογισμό του χρόνου συγκέντρωσης, δηλαδή του χρόνου που απαιτείται για να φθάσει το νερό που ρέει επιφανειακά από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι την έξοδό της, χρησιμοποιήθηκε η πλέον διαδεδομένη μέθοδος Giandotti σύμφωνα με την οποία:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{\Delta z}} \quad (4.8)$$

Όπου:

t_c: χρόνος συγκέντρωσης (hr)

A: επιφάνεια λεκάνης (km²)

L: μήκος μεγαλύτερης διαδρομής νερού (km)

Δz: υψομετρική διαφορά μέσου υψομέτρου της λεκάνης με το υψόμετρο του κόμβου εξόδου της (m)

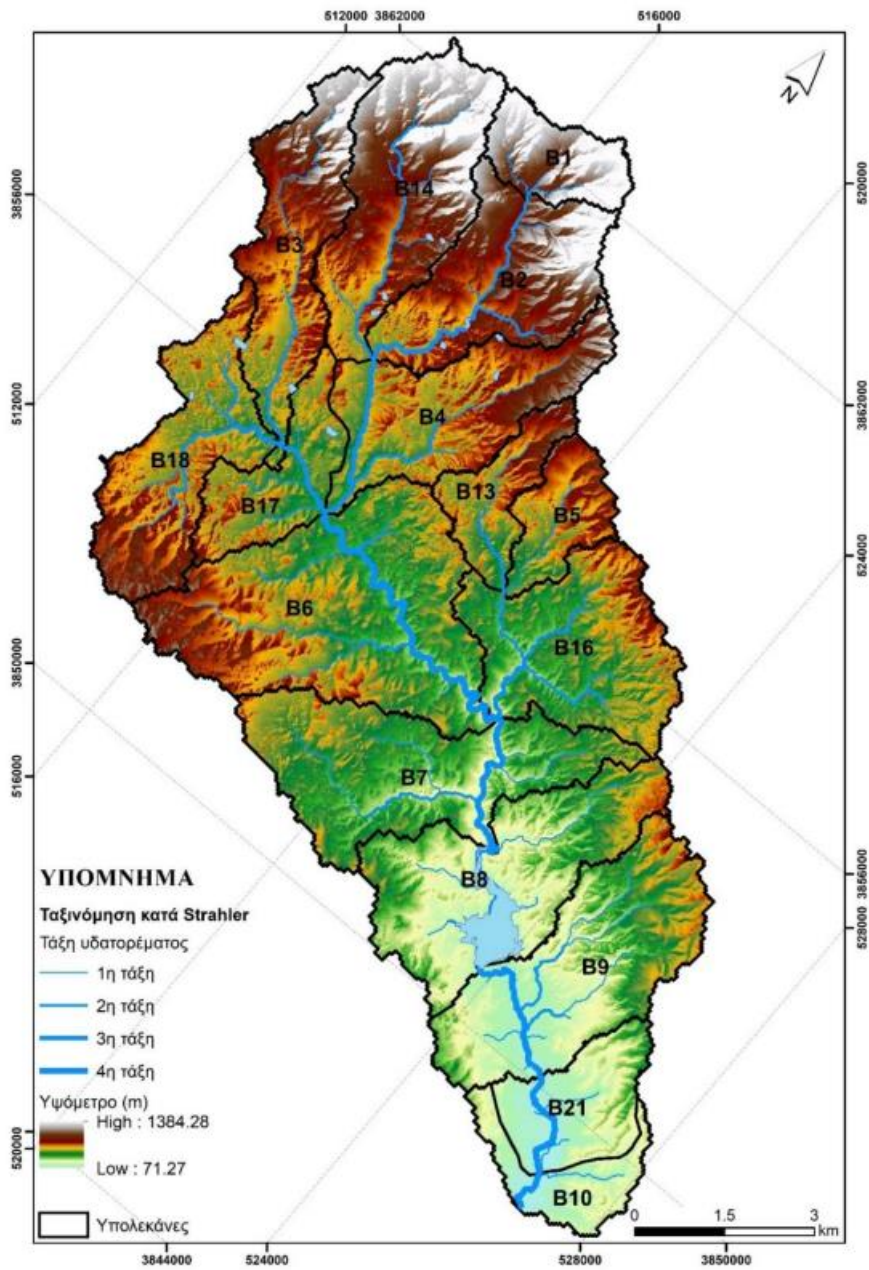
Εν συνεχεία για την πραγματοποίηση διόδευσης, δηλαδή την εμφάνιση στην έξοδο της λεκάνης υδρογραφήματος μικρότερης αιχμής, χρονικής υστέρησης και αυξημένης χρονικής διασποράς, επιλέχθηκε η μέθοδος Muskingum η οποία ενδείκνυται για μικρής κλίσης υδατορέματα, λαμβάνοντας υπόψη και τη χρονική υστέρηση.

4.2.5 Υδρολογικά Δεδομένα για την ΠΔΣΚΠ 21-22

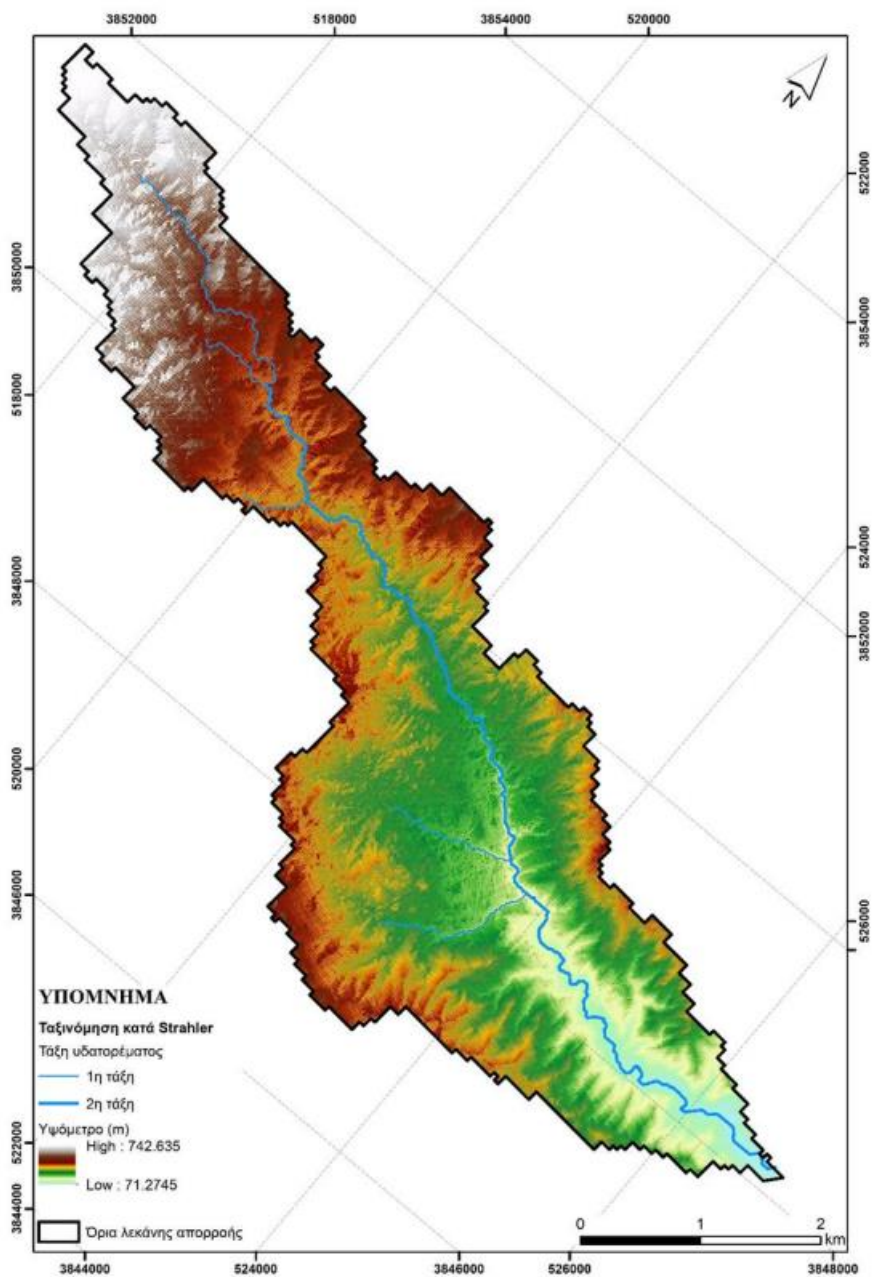
Για την παραγωγή των πλημμυρικών υδρογραφημάτων στις εισόδους των υπό εξέταση ΠΔΣΚΠ, ήταν αναγκαία η μελέτη της ανάντη λεκάνης απορροής αλλά και των πλευρικών της υπολεκανών. Ως λεκάνη απορροής καλείται ένα ενιαίο υδρολογικό σύστημα το οποίο αποτελείται από υπολεκάνες που συνδέονται μεταξύ τους μέσω του υδρογραφικού δικτύου. Ως υδατόρεμα καλείται η διαδρομή μεταξύ δύο κόμβων δηλαδή σημείων ελέγχου. Οι λεκάνες και οι υπολεκάνες τους για τις δυο ΠΔΣΚΠ καθορίστηκαν ως εξής:

Για τη λεκάνη απορροής του π. Βασιλικού στην Καλαβασό – ΠΔΣΚΠ 21 έκτασης 114,99 km² έγινε διαχωρισμός για σκοπούς υδρολογικής μελέτης σε υπολεκάνες. Η λεκάνη απορροής της ΠΔΣΚΠ 22 ταυτίζεται με την υπολεκάνη B15 η οποία αποτελεί υπολεκάνη της ΠΔΣΚΠ 21 που προέκυψε.

Οι εικόνες που ακολουθούν δείχνουν τη σχηματική απεικόνιση και το διαχωρισμό των υπολεκανών ώστε να πραγματοποιηθεί η υδρολογική ανάλυση:



Εικόνα 30. Λεκάνη απορροής για την ΠΔΣΚΠ 21



Εικόνα 31. Λεκάνη απορροής για την ΠΔΣΚΠ 22

Τα υδρογραφήματα εισόδου για το υδραυλικό μοντέλο που καταστρώθηκε για την ΠΔΣΚΠ 21-22, σε κάθε κόμβο αλλά και η ακριβής τους θέση συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.4: Κόμβοι και τύποι οριακών συνθηκών για τις ΠΔΣΚΠ 21-22

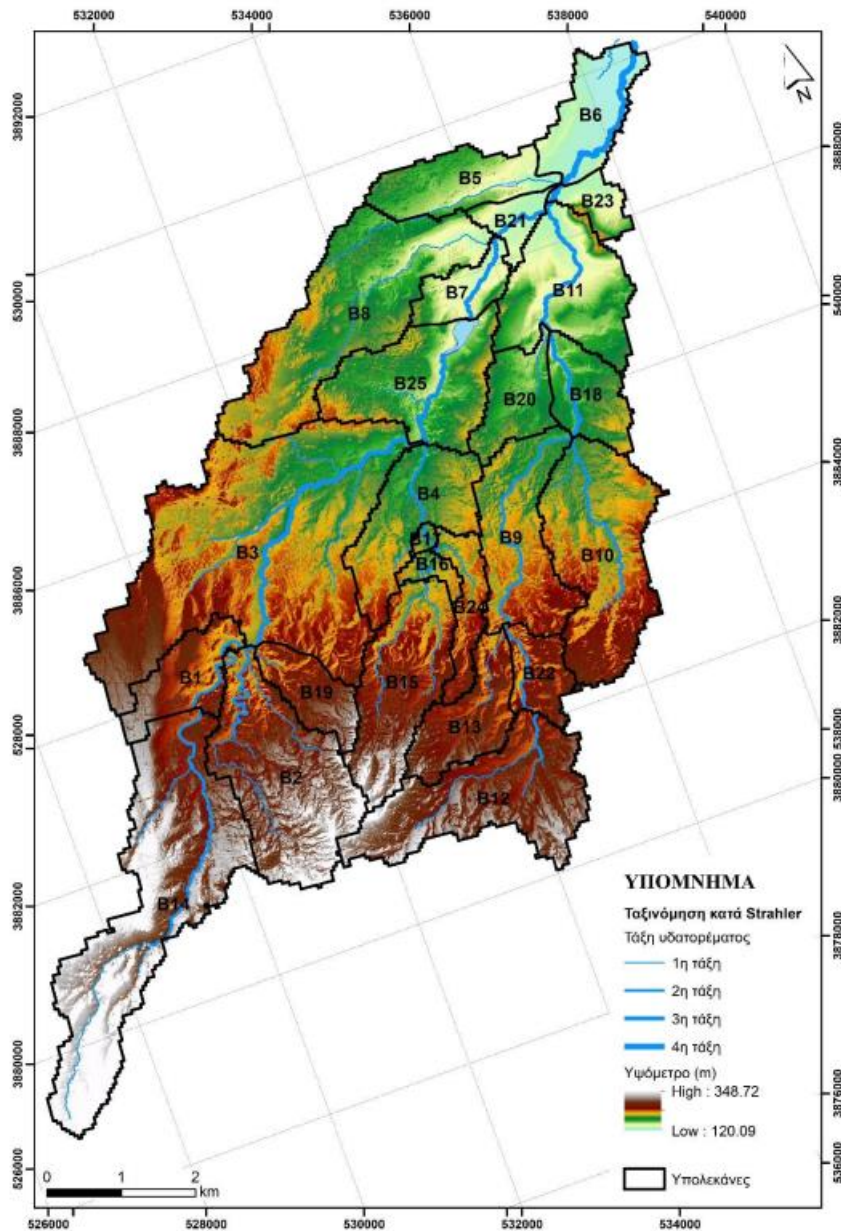
| Κόμβος | Θέση εμφάνισης | Τύπος Οριακής Συνθήκης |
|--------|--|--|
| J17 | Ανάντη πέρας ΠΔΣΚΠ 21 | Πλημμυρογράφημα εισόδου |
| J7-J2 | Υπολεκάνη Β10 | Ομοιόμορφο υδρογράφημα πλευρικών εισροών |
| J2 | Έξοδος υπολεκάνης Β15 και κατάντη πέρας ΠΔΣΚΠ 22 | Πλημμυρογράφημα εισόδου ΠΔΣΚΠ 22 |

| Κόμβος | Θέση εμφάνισης | Τύπος Οριακής Συνθήκης |
|------------|------------------------|--|
| J14-Outlet | Υπολεκάνη 19 | Ομοιόμορφο υδρογράφημα πλευρικών εισροών |
| Outlet | Κατάντη πέρας ΠΔΣΚΠ 21 | Ομοιόμορφο βάθος |

Κατάντη (έξοδος της λεκάνης) της ΠΔΣΚΠ 21 ως οριακή συνθήκη επιλέγεται το βάθος ομοιόμορφης ροής (Normal Depth) που αντιστοιχεί στη μέση κλίση του πυθμένα της ΠΔΣΚΠ 21 η οποία ισούται με: 0,0035 m/m

4.2.6 Υδρολογικά δεδομένα για την ΠΔΣΚΠ 29

Για τη λεκάνη απορροής των Ποταμών Βυζακωτός και Καλόγερος της ΠΔΣΚΠ 29, συνολικής έκτασης 58,99 km² έγινε διαχωρισμός σε 24 υπολεκάνες με σκοπό την καλύτερη υδρολογική ανάλυση, όπως φαίνεται στη φωτογραφία που ακολουθεί:



Εικόνα 32. Λεκάνη απορροής για την ΠΔΣΚΠ 29

Πίνακας 4.5: Κόμβοι και τύποι οριακών συνθηκών για την ΠΔΣΚΠ 29

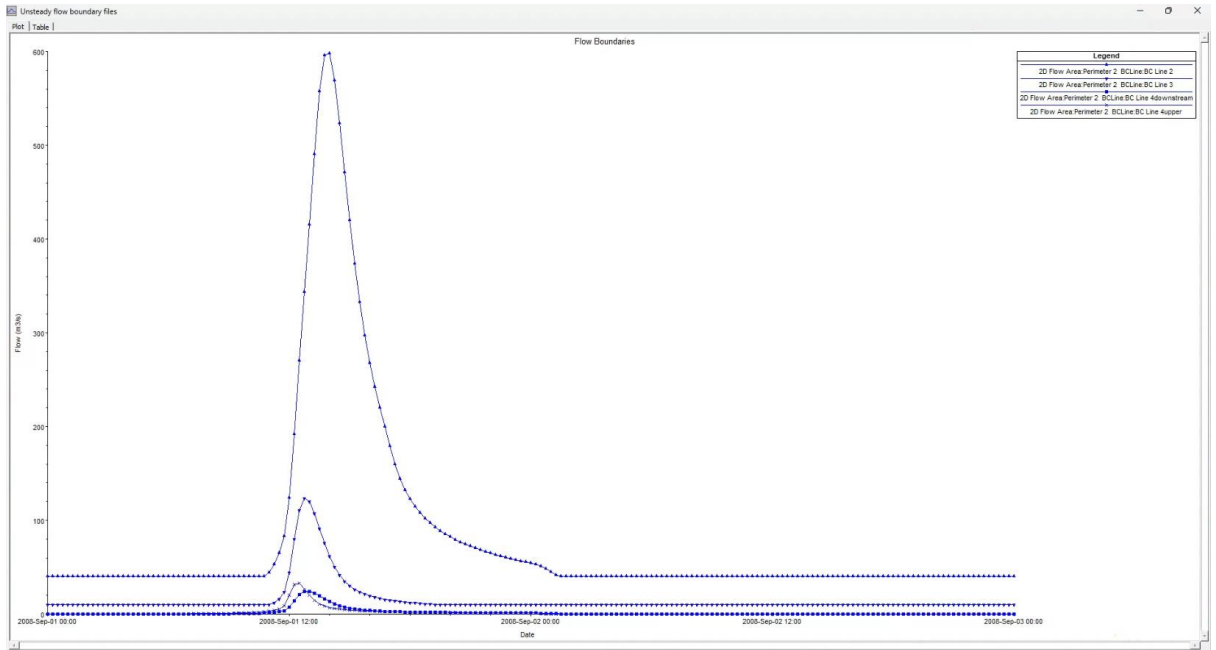
| Κόμβος | Θέση εφαρμογής | Τύπος Οριακής Συνθήκης |
|---------|------------------------------|--|
| J11 | Ανάτη του πέρας ΠΔΣΚΠ 29 | Πλημμυρογράφημα εισόδου |
| J11-J12 | Ρους ποταμού – Υπολεκάνη B22 | Ομοιόμορφο υδρογράφημα πλευρικών εισροών |
| J12 | Έξοδος υπολεκάνης B13 | Πλευρική εισροή |
| J12-J6 | Ρους ποταμού - Υπολεκάνη | Ομοιόμορφο υδρογράφημα πλευρικών εισροών |
| J6 | Έξοδος Υπολεκάνης B10 | Πλευρική εισροή |

| Κόμβος | Θέση εφαρμογής | Τύπος Οριακής Συνθήκης |
|--------|------------------------------|--|
| J6-J16 | Ρους ποταμού - Υπολεκάνη B18 | Ομοιόμορφο υδρογράφημα πλευρικών εισροών |
| J16 | Έξοδος Υπολεκάνης B20 | Πλευρική εισροή |
| J16-J2 | Ρους ποταμού - Υπολεκάνη B11 | Ομοιόμορφο υδρογράφημα πλευρικών εισροών |
| J2 | Συμβολή Κλάδου J3 – J2 | Πλευρική εισροή |
| J15 | Έξοδος Υπολεκανών B5 και B23 | Πλευρική εισροή |
| J15-J1 | Ρους ποταμού – Υπολεκάνη B6 | Ομοιόμορφο υδρογράφημα πλευρικών εισροών |
| | Περας ΠΔΣΚΠ 29 | Ομοιόμορφο βάθος |

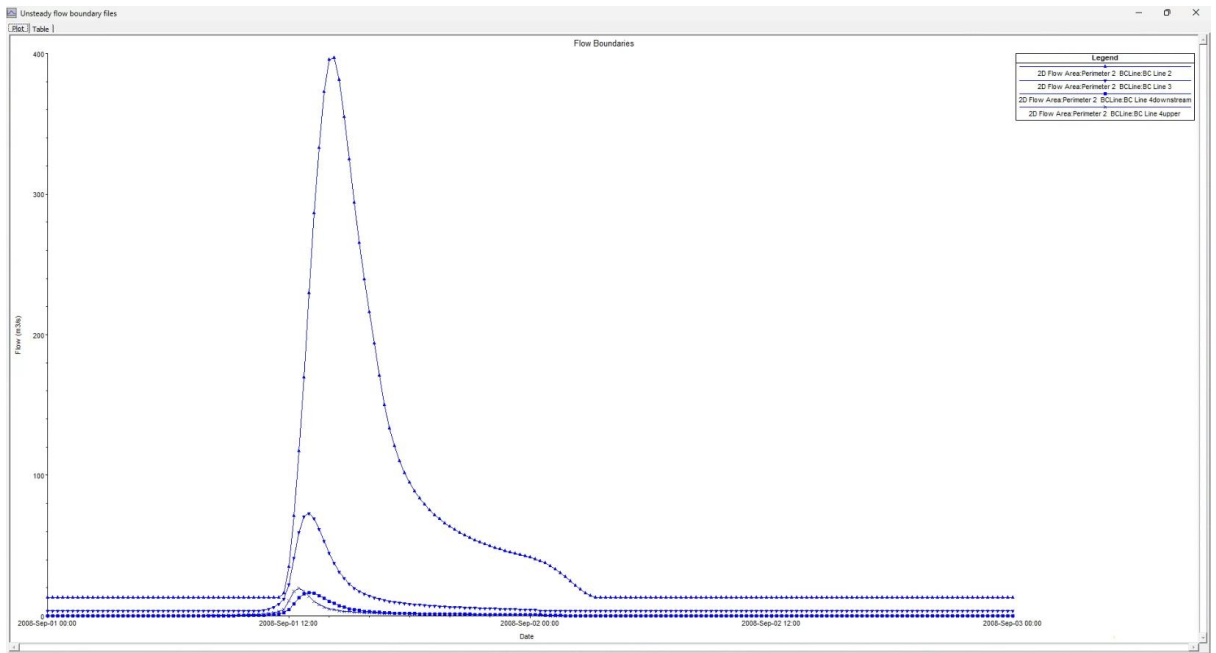
4.2.7 Πλημμυρογραφήματα υδραυλικών μοντέλων

Αποτέλεσμα της υδρολογικής ανάλυσης που περιγράφηκε προηγουμένως ήταν η εξαγωγή των πλημμυρογραφήματων ανά υπολεκάνη και κόμβο, για κάθε μια από τις τρεις περιόδους επαναφοράς. Κατά τη εισαγωγή των πλημμυρογραφήματων στο λογισμικό HEC-RAS, όπως αναλύθηκε προηγουμένως, τίθενται ένα ελάχιστον ποσοστό της τάξης του 1-10% της πλημμυρικής αιχμής στο πεδίο Min. Flow. Η συγκεκριμένη επιλογή δεν επηρεάζει τις παροχές αιχμής παρά μόνο την έναρξη για το πέρας της υδραυλικής προσομοίωσης. Παρακάτω παρουσιάζονται τα πλημμυρογραφήματα που προέκυψαν από την υδρολογική ανάλυση που περιγράφηκε προηγουμένως για κάθε μια περίοδο επαναφοράς της κάθε ΠΔΣΚΠ:

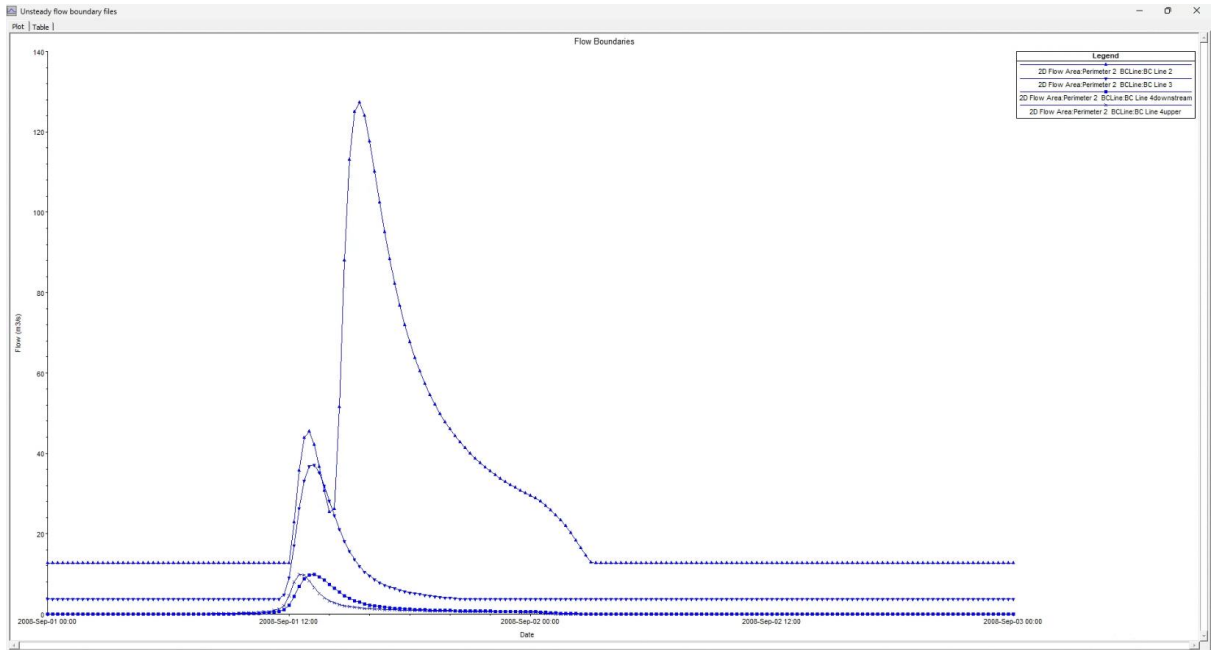
- Για την **ΠΔΣΚΠ 21-22** απεικονίζονται τα πλημμυρογραφήματα εισόδου για κάθε μια από τις περιόδους επαναφοράς T20, 100 και 500 έτη και αντιστοιχούν σχηματικά σε κάθε Boundary Condition που εισήχθη στο μοντέλο:



Εικόνα 33. Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για $T=500$ έτη

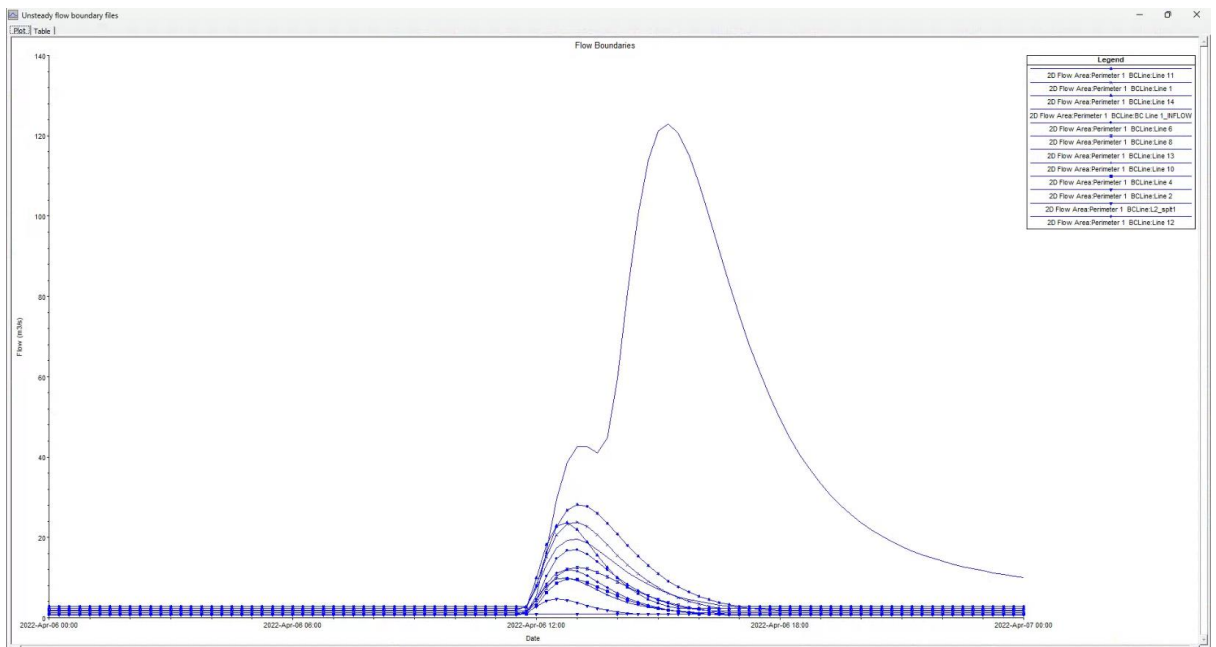


Εικόνα 34. Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για $T=100$ έτη

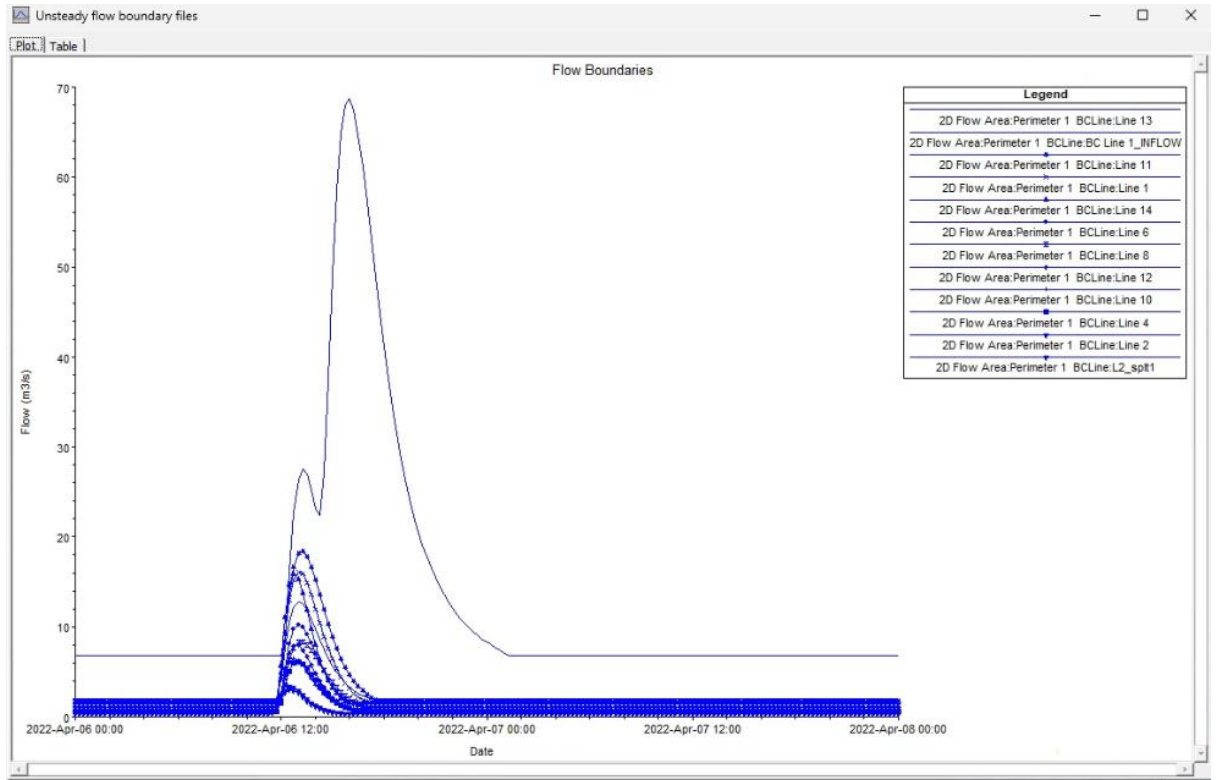


Εικόνα 35. Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για T=20 έτη

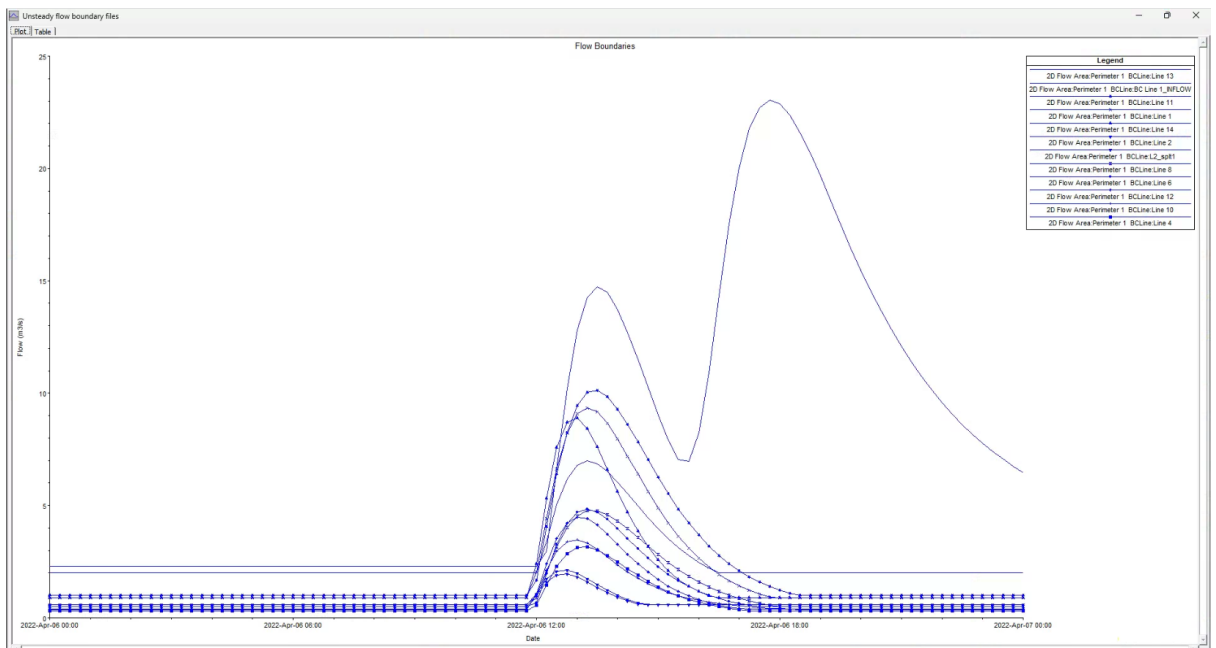
- Για την ΠΔΣΚΠ 29 απεικονίζονται τα πλημμυρογραφήματα εισόδου για κάθε μια από τις περιόδους επαναφοράς T20, 100 και 500 έτη και αντιστοιχούν σχηματικά σε κάθε Boundary Condition που εισήχθη στο μοντέλο:



Εικόνα 36. Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για T=500 έτη



Εικόνα 37. Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για $T=100$ έτη



Εικόνα 38. Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού για $T=20$ έτη

4.3 Κατάστρωση μοντέλων

4.3.1 Κατάστρωση συνδυασμένου 1D/2D μοντέλου

Για την εκπόνηση της αναθεώρησης του ΣΔΚΠ του 2^{ου} Κύκλου εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ στην Κύπρο αποφασίστηκε από τους μελετητές η εφαρμογή της συνδυασμένης μεθόδου ανάλυσης 1D/2D. Σύμφωνα με τις μαρτυρίες των μελετητών η προετοιμασία για κάθε ΠΔΣΚΠ διήρκησε 7 έως 10 εργάσιμες ημέρες.

Πίνακας 4.6: Χρόνος διάρκειας υδραυλικών υπολογισμών για κάθε ΠΔΣΚΠ κατά τη συνδυασμένη προσομοίωση

| Μοντέλα | Περίοδοι επαναφοράς (έτη) | Χρόνος υδραυλικής προσομοίωσης (ώρες) |
|-------------|---------------------------|---------------------------------------|
| ΠΔΣΚΠ 21-22 | T20 | 02:05:12 |
| | T100 | 02:12:36 |
| | T500 | 02:37:04 |
| ΠΔΣΚΠ 29 | T20 | 02:18:28 |
| | T100 | 02:41:22 |
| | T500 | 02:51:07 |

Τα προβλήματα που καταγράφηκαν κατά την προετοιμασία των μοντέλων συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Προβλήματα αστάθειας κατά την σύνθεσης του μονοδιάστατου με το δισδιάστατο πεδίο, κατά την σχεδίαση των υδραυλικών μοντέλων
- Συνεχή εμφάνιση σφαλμάτων (error) που απαιτούν διόρθωση δεδομένων
- Εμφάνιση πλήθους σφαλμάτων σχετικά με την επίλυση εξισώσεων και λογικών σφαλμάτων του μοντέλου που απαιτούν διόρθωση δεδομένων ή παραμέτρων
- Εμφάνιση παρατηρήσεων στο χρήστη ώστε να αξιολογήσει ο ίδιος την ανάγκη ή μη αλλαγής των υπολογιστικών συνθηκών. Οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις εμφάνισης παρατηρήσεων είναι :
 - i. Η ύπαρξη διατομών με μεγάλη απόσταση μεταξύ τους
 - ii. Η ύπαρξη διατομών μη επαρκούς ύψους με αποτέλεσμα να μην παροχετεύεται η πλημμυρική παροχή εντός του υπολογιστικού κάρναβου
 - iii. Μη σαφείς τοπογραφικές αποτυπώσεις που οδηγούν το πρόγραμμα να χρησιμοποιήσει το κρίσιμο βάθος στην πορεία της επίλυσης

Στις περισσότερες περιπτώσεις εμφάνισης τέτοιων σφαλμάτων κατά την κατάρτιση των υδραυλικών μοντέλων του 2^{ου} Κύκλου Εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ αξιολογήθηκαν οι παρατηρήσεις. Όπου ήταν δυνατό εξαλείφθηκαν με πύκνωση των διατομών και αλλαγή των παραμέτρων επίλυσης, ενώ σε άλλες περιπτώσεις που το σφάλμα ήταν αποδεκτό δεν πραγματοποιήθηκε κάποια επιπλέον δράση. Τα παραπάνω συχνά απαιτούν πλήθος δοκιμών και παρεμβάσεων στα υδραυλικά μοντέλα, με αποτέλεσμα η τελειοποίησή τους να πρόκειται για μία αρκετά χρονοβόρα διαδικασία.

4.3.2 Κατάστρωση δισδιάστατου μοντέλου

Στα πλαίσια εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας δημιουργήθηκαν τα δυο μοντέλα πλήρους δισδιάστατης επίλυσης για τις δυο ΠΔΣΚΠ , 21-22 και 29. Αρχικό στάδιο στην κατάστρωση των μοντέλων ήταν η συγκέντρωση των απαιτούμενων δεδομένων από το ΤΑΥ. Κατόπιν συνεννόησης με τον κ. Κώστα Αριστείδου, Συντονιστή του Έργου και της Υπηρεσίας Υδρολογίας και Υδρογεωλογίας του ΤΑΥ Κύπρου, στάλθηκαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα που αναλύθηκαν παραπάνω.

Η κατάστρωση του κάθε μοντέλου για κάθε μια από τις ΠΔΣΚΠ που εξετάστηκαν διήρκησε 3 ημέρες. Οι χρόνοι ώστε να ολοκληρωθούν οι υδραυλικοί υπολογισμοί για κάθε περίοδο επαναφοράς της κάθε ΠΔΣΚΠ φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 4.7: Χρόνος διάρκειας υδραυλικών υπολογισμών για κάθε ΠΔΣΚΠ κατά τη δισδιάστατη προσομοίωση

| Μοντέλα | Περίοδοι επαναφοράς (έτη) | Χρόνος υδραυλικής προσομοίωσης (ώρες) |
|-------------|---------------------------|---------------------------------------|
| ΠΔΣΚΠ 21-22 | T20 | 04:22:25 |
| | T100 | 04:05:09 |
| | T500 | 01:51:39 |
| ΠΔΣΚΠ 29 | T20 | 17:35:58 |
| | T100 | 13:54:16 |
| | T500 | 09:20:53 |

Κατά την κατάστρωση των μοντέλων παρατηρήθηκαν ως προς τη λειτουργία του προγράμματος HEC-RAS τα εξής:

- Προβλήματα κατά την εισαγωγή άλλων χαρακτήρων πέραν των λατινικών αλλά και συγκεκριμένων συμβόλων
- Η εισαγωγή ορισμένων τεχνικών έργων ως Bridge αποτελεί δύσκολη διαδικασία καθώς απαιτεί την ύπαρξη πολλών πληροφοριών για το εκάστοτε τεχνικό που δίνεται σε κάθε αποτύπωση

5. Αποτελέσματα και Σύγκριση Συνδυασμένης – Δισδιάστατη

Προσομίωση

5.1 Αποτελέσματα Υδραυλικής Προσομίωσης

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πλήρους δισδιάστατων υδραυλικών μοντέλων που καταρτήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής για τρεις περιόδους επαναφοράς T20, T100 και T500 έτη. Το λογισμικό HEC-RAS έχει τη δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων όπως τα βάθη, την ταχύτητα ροής και τις μέγιστες τιμές τους, του υδρογραφήματος εξόδου αλλά και σχηματική τρισδιάστατη αποτύπωση του πλημμυρικού πεδίου για κάθε μια από τις περιόδους επαναφοράς.

Αρχικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των σφαλμάτων και του όγκου νερού που ήταν μη διαχειρίσιμος από το μοντέλο και για τις δυο ΠΔΣΚΠ (αποτελέσματα που εξάγει μόνο η πλήρης δισδιάστατη προσομίωση):

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα εκτέλεσης του προγράμματος για 2D κατάρτιση

| Υδραυλικό Μοντέλο | Περίοδος Επαναφοράς (έτη) | Σφάλμα όγκου (%) | Απόλυτο σφάλμα (1000 m ³) | Χρονική Διάρκεια (ώρες) |
|-------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| ΠΔΣΚΠ 21-22 | T20 | -0,11 | -5,716 | 04:22:25 |
| | T100 | 0,05 | -4,870 | 04:05:09 |
| | T500 | 0,00 | 0,004 | 01:51:39 |
| ΠΔΣΚΠ 29 | T20 | 5,20 | -143,52 | 17:35:58 |
| | T100 | 2,95 | -145,17 | 13:54:16 |
| | T500 | 1,62 | 102,022 | 09:20:53 |

Τα παραπάνω αποτελέσματα κρίνονται εύλογα. Αξίζει να σημειωθεί πως για την ΠΔΣΚΠ 29 και περίοδο επαναφοράς T= 20 έτη το σφάλμα (5,2%) είναι υψηλότερο από το αναμενόμενο αλλά μη καθοριστικής σημασίας. Η εμφάνισή του, όπως και η αυξημένη τιμή του όγκου οφείλεται στη συσσώρευση νερού σε απόσταση 580 μέτρων ανάντη της εξόδου. Ο όγκος που παραμένει στο σημείο αυτό και δεν καταλήγει στην έξοδο.

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα εκτέλεσης προγράμματος για 1D/2D κατάρτιση

| Υδραυλικό Μοντέλο | Περίοδος Επαναφοράς (έτη) | Χρονική Διάρκεια (ώρες) |
|-------------------|---------------------------|-------------------------|
| ΠΔΣΚΠ 21-22 | T20 | 02:05:12 |
| | T100 | 02:12:36 |
| | T500 | 02:37:04 |
| ΠΔΣΚΠ 29 | T20 | 02:18:28 |
| | T100 | 02:41:22 |
| | T500 | 02:51:07 |

Ο χρόνος διάρκειας της υδραυλικής προσομοίωσης ήταν ο ίδιος και για τους δυο διαφορετικούς τρόπους ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα, ο χρόνος προσομοίωσης για την ΠΔΣΚΠ 21-22 ήταν 31 Αυγούστου 24:00 έως 02 Σεπτεμβρίου 05:00, αντίστοιχα για την ΠΔΣΚΠ 29 ήταν 06 Απριλίου 24:00 έως 08 Απριλίου 24:00.

Αξίζει να σημειωθεί πως ο χρόνος διάρκειας μιας υδραυλικής προσομοίωσης εξαρτάται και από χαρακτηριστικά του υπολογιστή που χρησιμοποιείται. Τα μοντέλα της πλήρους διδιάστατης με αυτά της συνδυασμένης ανάλυσης, καταρτήθηκαν σε υπολογιστή ίδιων χαρακτηριστικών.

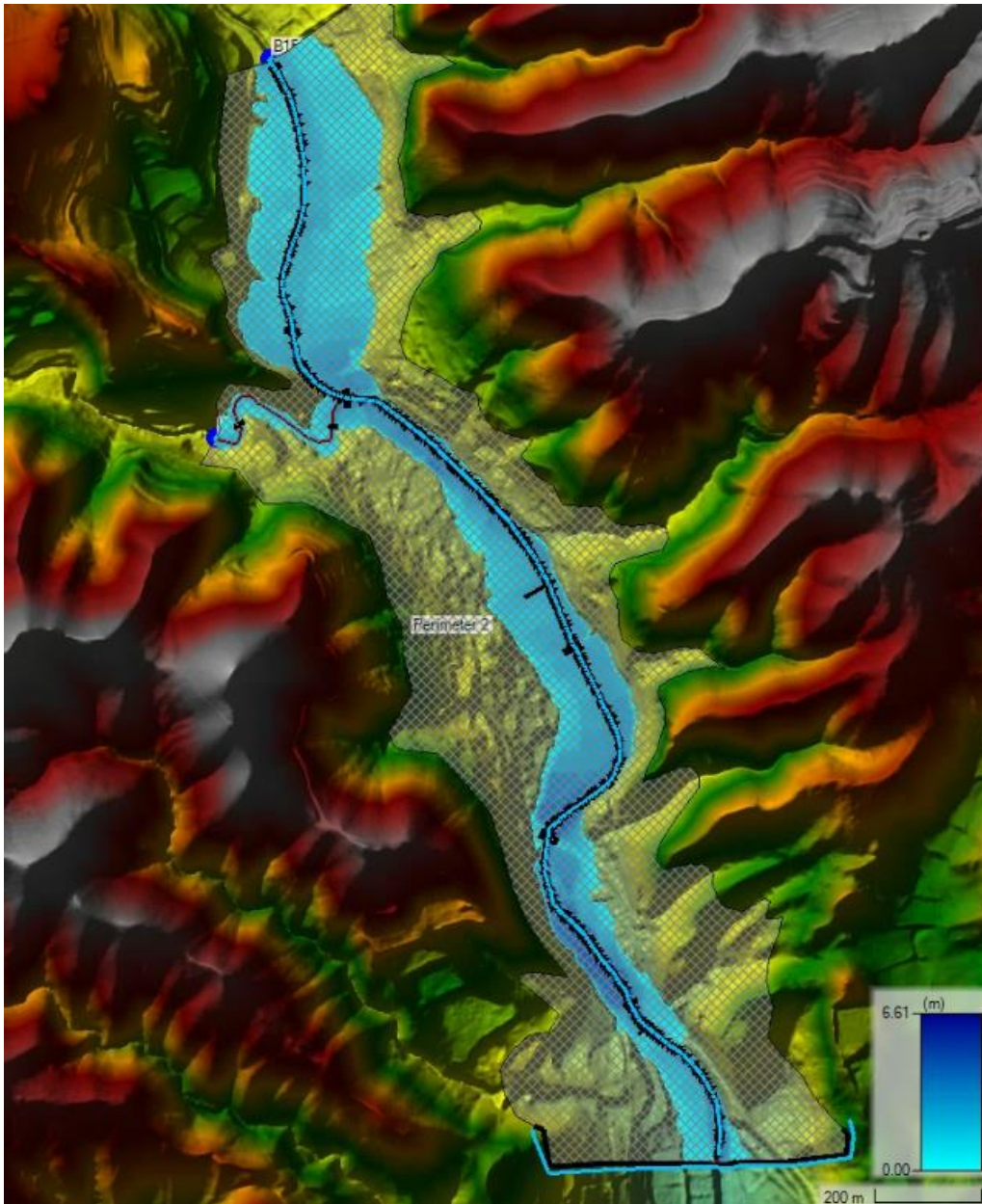
5.1.1 Πλημμυρικό Πεδίο - Βάθη ροής

Τα αποτελέσματα για το πλημμυρικό πεδίο στο πρόγραμμα HEC-RAS αντλούνται μέσω του RAS Mapper -> Results και έπειτα επιλογή της αντίστοιχης περιόδου επαναφοράς.

Παρακάτω παρατίθενται η εικονική αποτύπωση του πλημμυρικού πεδίου της **Πλήρους Δισδιάστατης ανάλυσης** καθώς και των βαθών ροής που πραγματοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία για τα ακόλουθα μοντέλα:

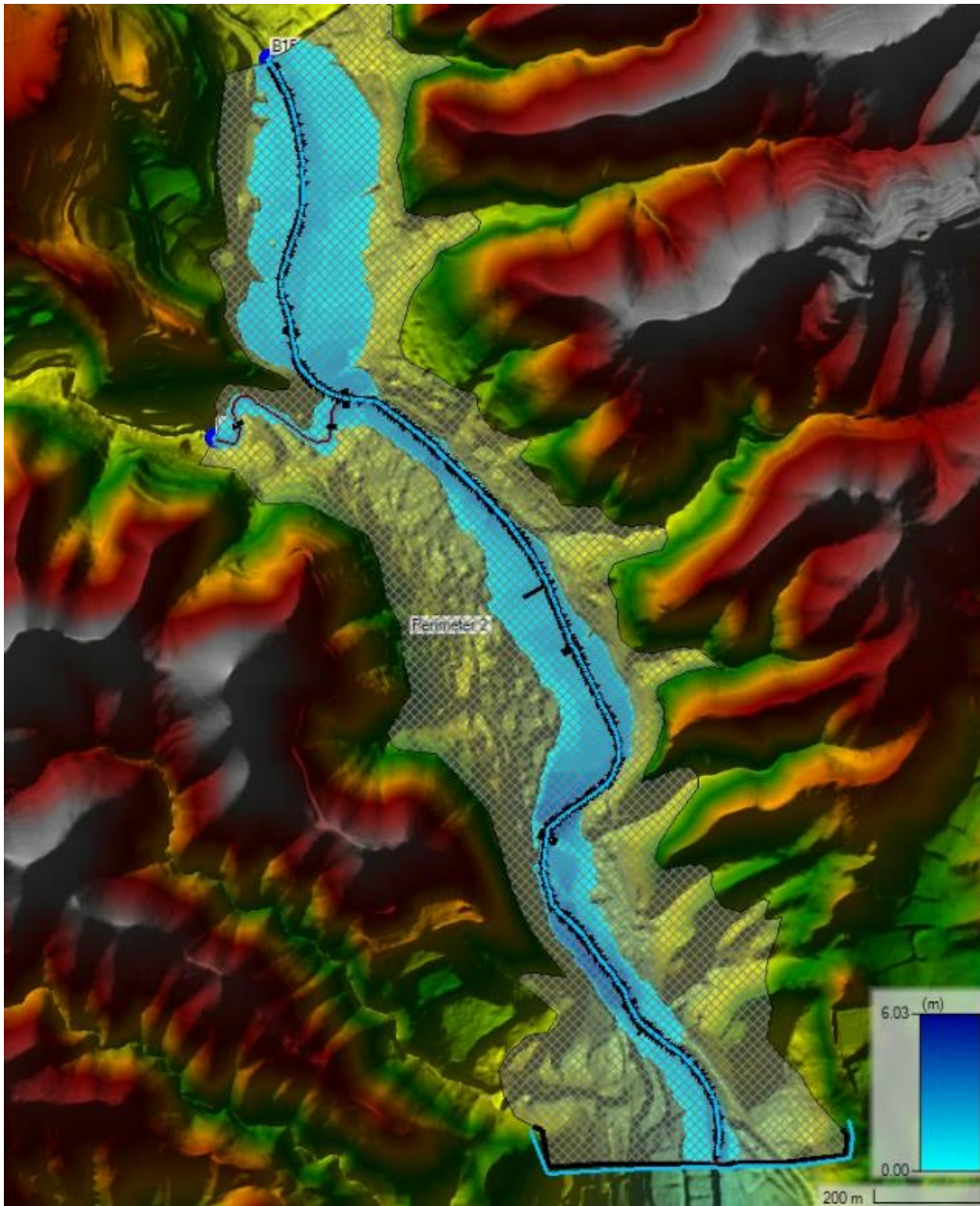
- Για την ΠΔΣΚΠ 21-22

Τα μέγιστα βάθη ροής και για τις τρεις περιόδους επαναφοράς εντοπίζονται σε απόσταση περίπου 100 μέτρων ανάντη της συμβολής των δύο ποταμών (Ασγάτας και Βασιλικού) καθώς και εκατέρωθεν του τεχνικού έργου Vasilikos_CU_1. Οι θέσεις αυτές αποτελούν συχνά σημεία εμφανίσεις πλημμυρικών προβλημάτων (ΤΑΥ, 2022).



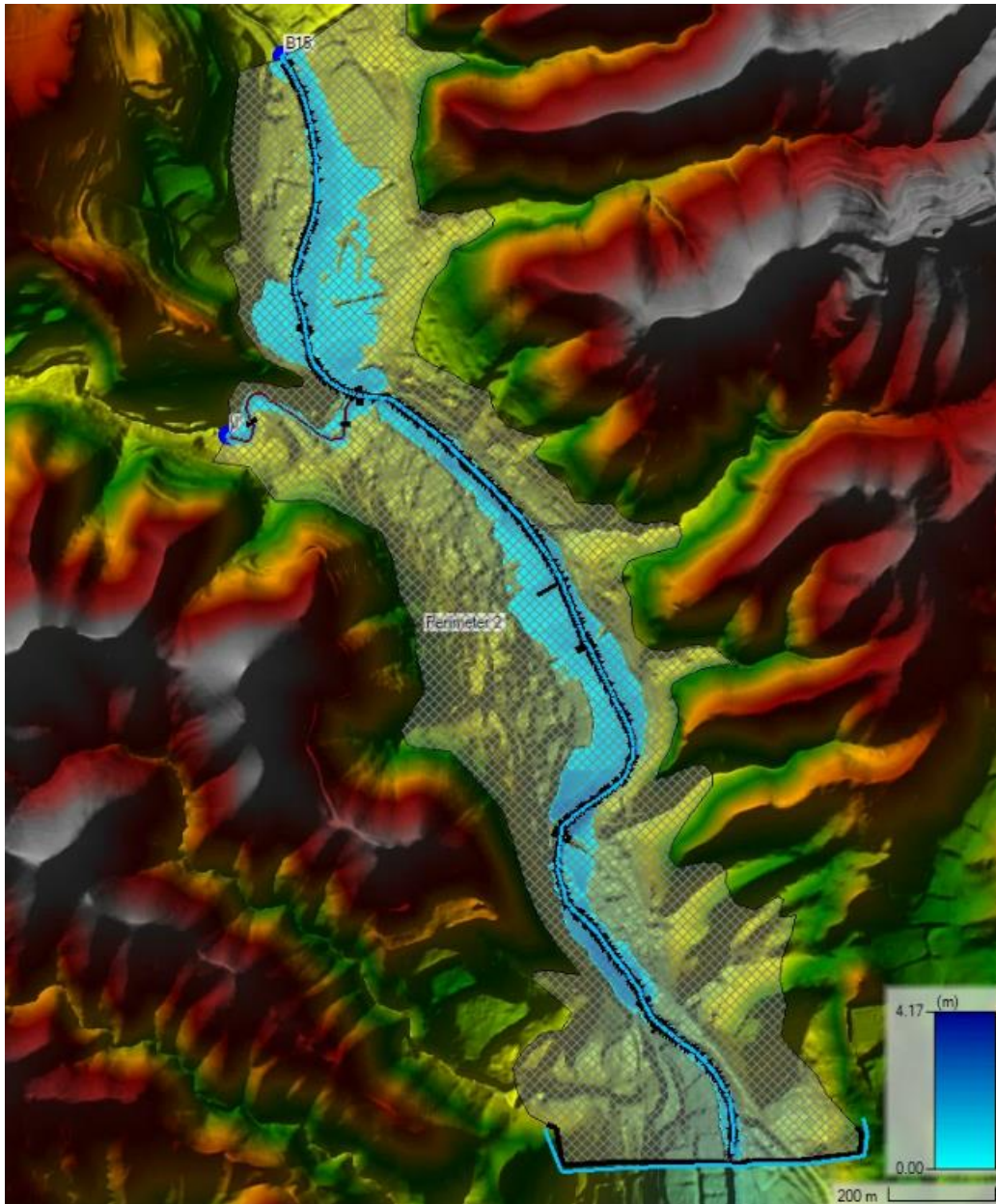
Εικόνα 39. Πλημμυρικό Πεδίο πλήρους διαδιάστατης ανάλυσης της ΠΔΣΚΠ 21-22 για $T=500$ έτη

Για περίοδο επαναφοράς $T= 500$ έτη το μέγιστο καταγραφόμενο βάθος ροής στην πλήρη διαδιάστατη προσομοίωση είναι τα 6,61 μέτρα και εμφανίζονται κυρίως ανάντη της συμβολής των δυο ποταμών το οποίο αποτελεί σημείο συχνής εμφάνισης προβλημάτων λόγω πλημμύρας. Οι τιμές αυτές συγκλίνουν με τις αντίστοιχες της συνδυασμένης μεθόδου.



Εικόνα 40. Πλημμυρικό Πεδίο πλήρους διαδιάστατης ανάλυσης της ΠΔΣΚΠ 21-22 για $T=100$ έτη

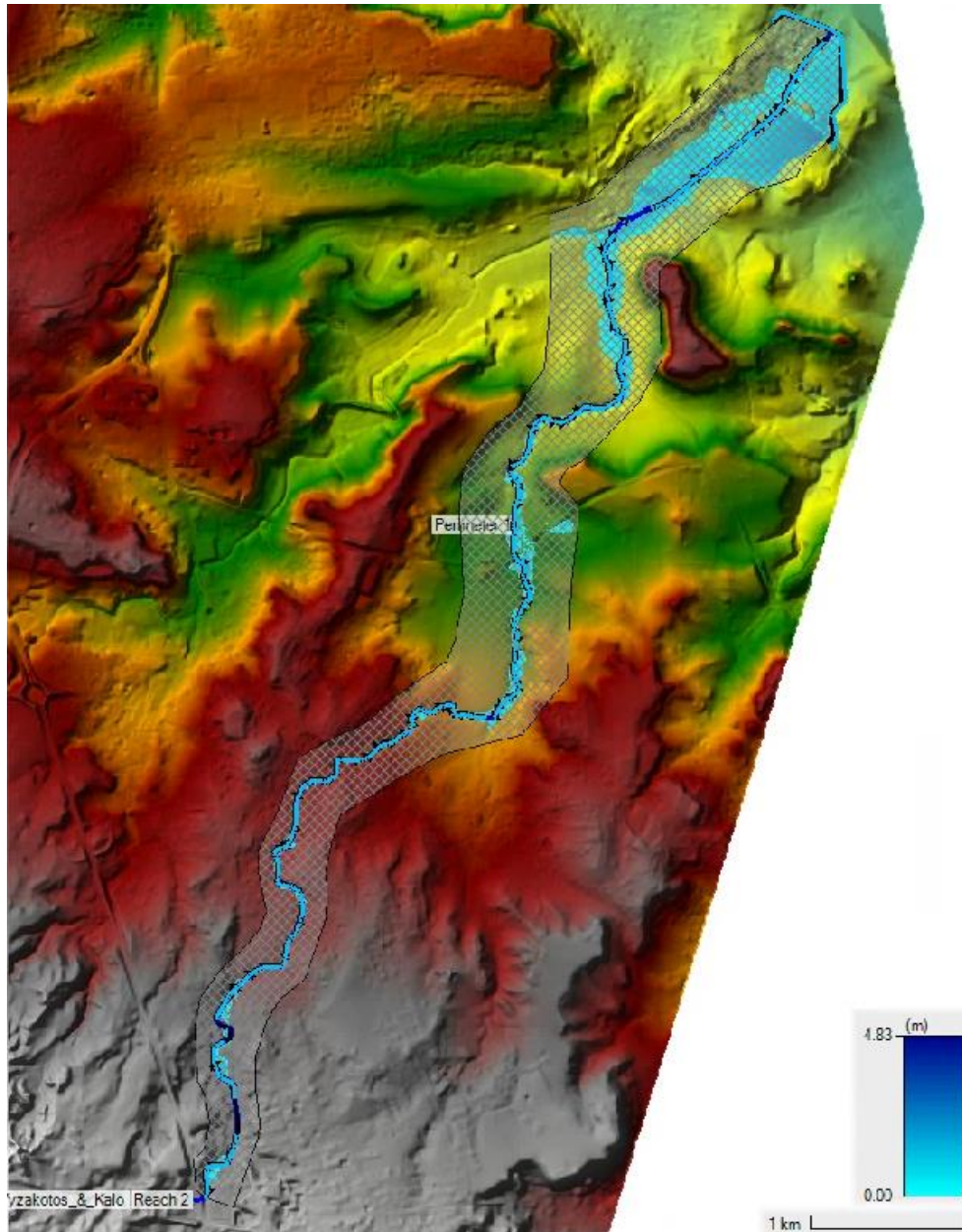
Για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη το μέγιστο βάθος ροής φτάνει τα 6,03 m και παρατηρείται σε απόσταση 100 μέτρων ανάντη της συμβολής των δυο ποταμών (Ασγάτας και Βασιλικού) αλλά και εκατέρωθεν του τεχνικού έργου Vasilikos_CU_1. Τα μέγιστα καταγραφόμενα βάθη ροής για τη συνδυασμένη προσομοίωση φτάνουν έως και τα 5,9 μέτρα στις περιοχές αυτές. Παρατηρείται μικρή απόκλιση μεταξύ των μέγιστων βαθών των δυο μεθόδων προσομοίωσης.



Εικόνα 41. Πλημμυρικό Πεδίο πλήρους διαστάσεων ανάλυσης της ΠΔΣΚΠ 21-22 για $T=20$ έτη

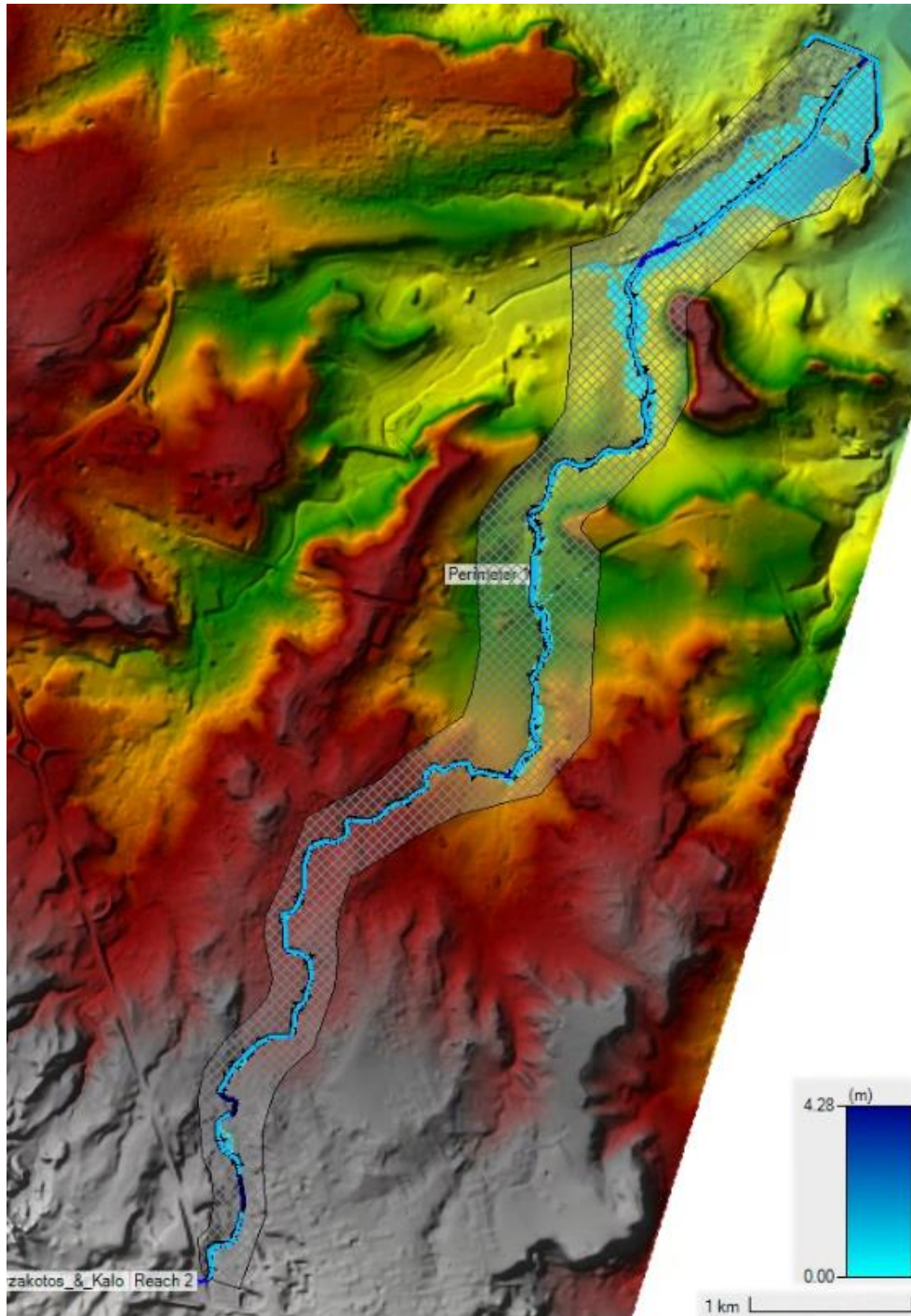
Για περίοδο επαναφοράς $T=20$ έτη το μέγιστο καταγεγραμμένο βάθος ροής είναι 4,17 m και εμφανίζεται ανάντη της συμβολής των δύο ποταμών. Τα μέγιστα βάθη ροής των υφιστάμενων μοντέλων κυμαίνονται από 3,5 έως και 4 m. Παρατηρείται μικρή απόκλιση μεταξύ των μέγιστων βαθών και των σημείων εμφάνισής τους.

- Για την ΠΔΣΚΠ 29



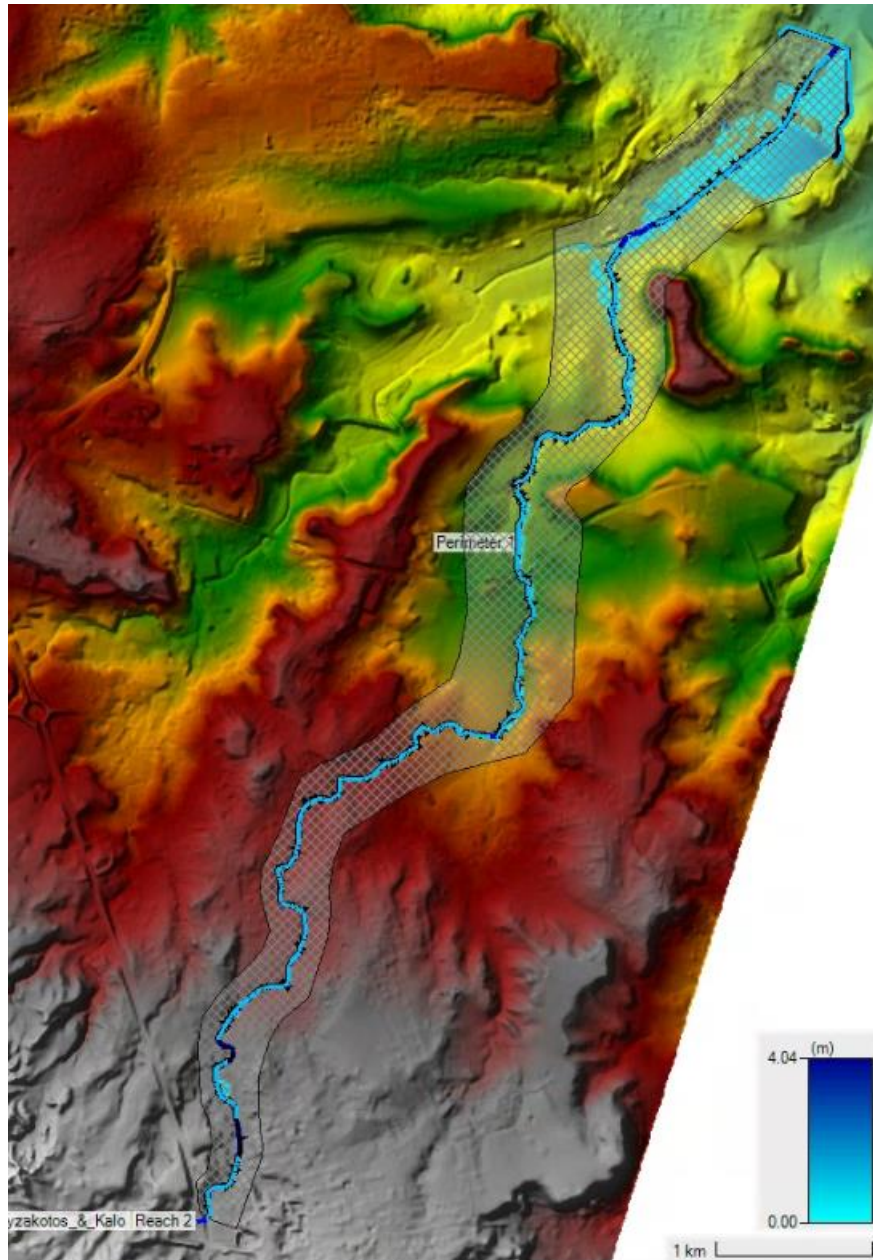
Εικόνα 42. Πλημμυρικό Πεδίο πλήρους διαδιάστατης ανάλυσης της ΠΔΣΚΠ 29 για $T=500$ έτη

Για την περίοδο επαναφοράς $T=500$ έτη το μέγιστο καταγραφόμενο βάθος ροής είναι 4,83 m και εμφανίζεται περί τα 580 μέτρα ανάντη της εξόδου σε γεωργικές εκτάσεις αλλά και στο χώρο του Πανεπιστημίου Κύπρου στο οποίο καταγράφονται βάθη ροής έως και 5,67 m. Για τη συνδυασμένη προσομοίωση το μέγιστο καταγραφόμενο βάθος ροής εκτιμήθηκε στα 5,4 m. Οι τιμές των βαθών ροής αλλά και τα σημεία εμφάνισής του φαίνεται τα συγκλίνουν για τους δυο τρόπους προσομοίωσης.



Εικόνα 43. Πλημμυρικό Πεδίο πλήρους διαδιάστατης ανάλυσης της ΠΔΣΚΠ 29 για $T=100$ έτη

Για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη το μέγιστο βάθος ροής καταγράφεται στην περιοχή του Πανεπιστημίου της Κύπρου και κυμαίνεται από 4,28 έως και 5,12 m. Στη συνδυασμένη μέθοδο προσομοίωσης καταγράφηκε μέγιστο βάθος ροής 4,9 m. Συνεπώς παρατηρείται μικρή απόκλιση στις τιμές των δυο μεθόδων.



Εικόνα 44. Πλημμυρικό Πεδίο πλήρους διαδιάστατης ανάλυσης της ΠΔΣΚΠ 29 για $T=20$ έτη

Για την περίοδο επαναφοράς $T=20$ έτη το μέγιστο καταγραφόμενο βάθος ροής είναι τα 4,04 m και εμφανίζεται κυρίως γύρω από το χώρο του Πανεπιστημίου Κύπρου που σε ορισμένα σημεία το βάθος φτάνει έως και τα 4,9 m. Στη συνδυασμένη προσομοίωση τα βάθη φτάνουν έως και τα 3,9 m. Τα δυο διαφορετικά είδη προσομοίωσης εμφανίζουν παραπλήσιες τιμές βαθών ροής.

5.1.2 Ταχύτητες ροής

Ένα ακόμα αποτέλεσμα που μπορεί να ληφθεί υπόψιν στη σύγκριση των δυο διαφορετικών τρόπων κατάρτισης των υδραυλικών μοντέλων είναι οι ταχύτητες ροής. Παρακάτω αναλύονται οι ταχύτητες ροής για τις δυο ΠΔΣΚΠ που αναλύθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία:

- Για την ΠΔΣΚΠ 21-22

Οι ταχύτητες ροής για την περίοδο επαναφοράς $T=20$ έτη εμφανίζονται κατάντη της συμβολής ΠΔΣΚΠ 21 και ΠΔΣΚΠ 22 καθώς και ανάντη της εξόδου ΠΔΣΚΠ 21. Στις εν λόγω θέσεις οι καταγεγραμμένες μέγιστες ταχύτητες είναι 5,8 m/s και 7,2 m/s αντίστοιχα. Ως προς τις μέγιστες ταχύτητες της συνδυασμένης μεθόδου, έχουν καταγραφεί τιμές 5,5 έως 5,7 m/s και 6,7 έως 7,5 m/s κατάντη της συμβολής των δύο ΠΔΣΚΠ και περί τα 250 m ανάντη της εξόδου της ΠΔΣΚΠ 21 αντίστοιχα.

Για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη η μέγιστη καταγεγραμμένη ταχύτητα ροής είναι 9,7 m/s. Η τιμή της μέγιστης ταχύτητας στη συνδυασμένη ανάλυση είναι 9,8 και εμφανίζεται 250 m ανάντη της εξόδου.

Για περίοδο επαναφοράς $T=500$ έτη η μέγιστη καταγεγραμμένη ταχύτητα ροής είναι 9,8 m/s και εμφανίζεται περί το 1,5 km ανάντη της εξόδου. Ως προς τις τιμές της συνδυασμένης μεθόδου, έχει καταγραφεί μέγιστη τιμή ίση με 9,9 m/s με σημείο εμφάνισης πλησίον αυτού της πλήρους δισδιάστατης προσομοίωσης.

Οι παραπάνω τιμές ταχυτήτων ροής κρίνονται εύλογες και υπάρχει υψηλή σύγκλιση με τις αντίστοιχες τιμές των υφιστάμενων μοντέλων που στάλθηκαν.

- Για την ΠΔΣΚΠ 29

Οι μέγιστες ταχύτητες ροής για την υδραυλική προσομοίωση της ΠΔΣΚΠ 29 για το σύνολο των περιόδων επαναφοράς είναι της τάξης των 5,57 m/s, 6,49 m/s και 7,53 m/s για τις περιόδους επαναφοράς $T=20$, $T=100$ και $T=500$ έτη αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αυτά κρίνονται εύλογα και συγκλίνουν με τις αντίστοιχες τιμές των ταχυτήτων των υφιστάμενων μοντέλων που στάλθηκαν. Οι τιμές στη συνδυασμένη προσομοίωση για περίοδο επαναφοράς $T=20$, $T=100$ και $T=500$ έτη καταγράφηκαν ίσες με 5,52 m/s, 6,44 m/s και 7,41 m/s αντίστοιχα.

5.2 Σύγκριση Πλήρους Δισδιάστατης και Συνδυασμένης ανάλυσης

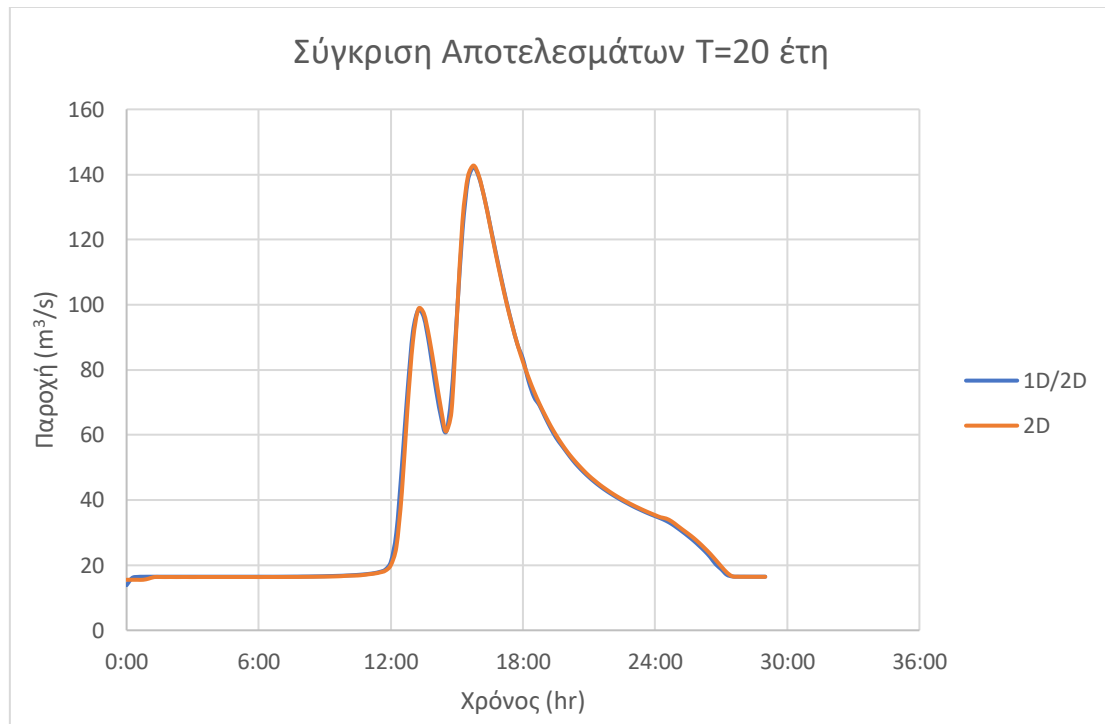
Από τα αποτελέσματα του χρόνου προσομοίωσης μεταξύ πλήρους δισδιάστατων και συνδυασμένων μοντέλων φαίνεται πως μοντέλα της συνδυασμένης ανάλυσης διαρκούν μικρότερο χρονικό διάστημα. Όμως η κατάρτιση των πλήρους δισδιάστατων μοντέλων διαρκεί μόλις 3 ημέρες, έναντι 7 έως 10 ημερών των συνδυασμένων ομοιομάτων. Γεγονός που υποδεικνύει πως η μέθοδος που εφαρμόστηκε στην παρούσα διπλωματική είναι αισθητά λιγότερο χρονοβόρα. Συνεπώς, ως προς τη διάρκεια ολοκλήρωσης της διαδικασίας κατάρτισης και ολοκλήρωσης των υδραυλικών υπολογισμών, η δισδιάστατη ανάλυση υπερτερεί.

5.2.1 Σύγκριση Υδρογραφημάτων Εξόδου

Το λογισμικό HEC-RAS δίνει ως αποτέλεσμα των υπολογισμών τα υδρογραφήματα αλλά και τα βάθη ροής που, αναλύθηκαν παραπάνω, σε σημαντικές θέσεις. Όπως στην έξοδο αλλά και στα σημεία των τεχνικών έργων. Ο χρήστης μπορεί να αντλήσει τα υδρογραφήματα μέσω

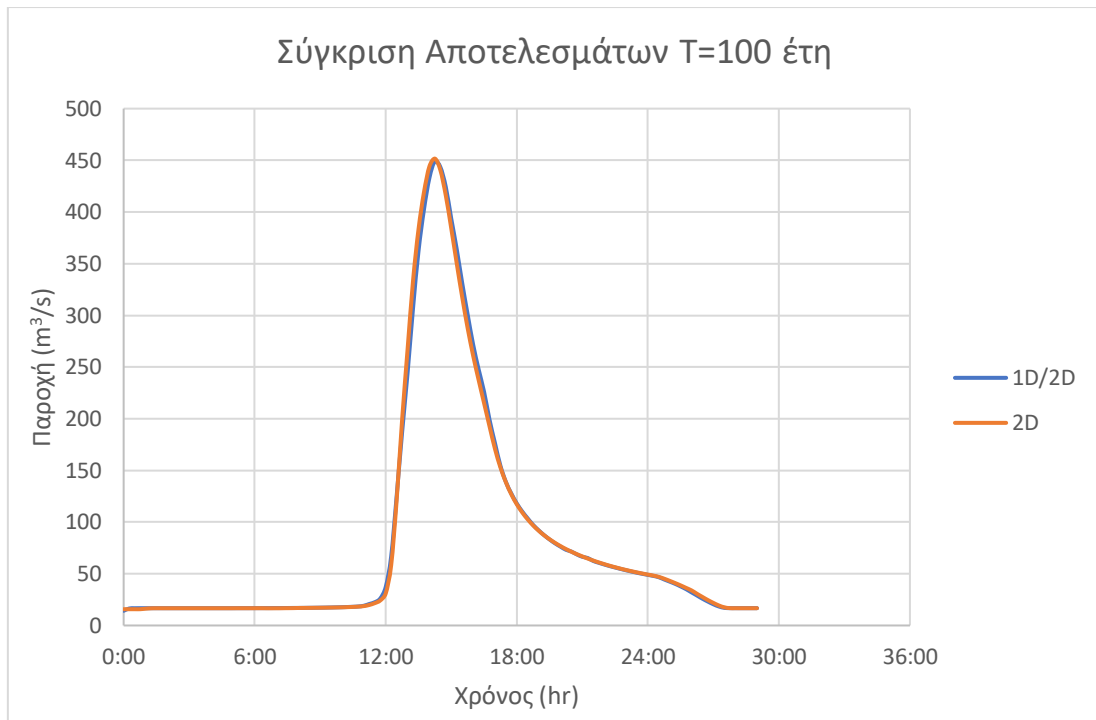
του πεδίου Plot Stage and Hydrographs. Παρακάτω αναλύονται τα υδρογραφήματα εξόδου για τους δυο διαφορετικούς τρόπους υδραυλικής προσομοίωσης:

- Για την ΠΔΣΚΠ 21-22:



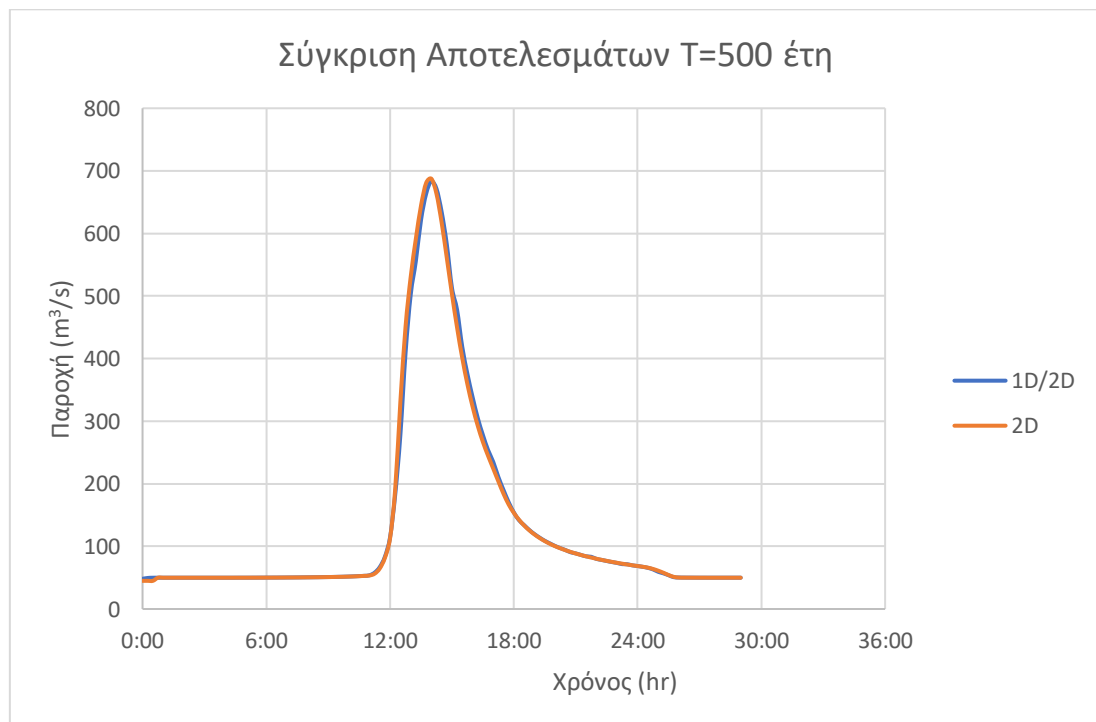
Εικόνα 45. Σύγκριση υδρογραφημάτων εξόδου της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T= 20 έτη

Κατά την υδραυλική προσομοίωση της περιόδου επαναφοράς 20 ετών εμφανίζεται υψηλή ταύτιση της πλημμυρικής αιχμής μεταξύ πλήρους διαστάτης (2D) και συνδυασμένης (1D/2D). Η διαστάτη προσομοίωση δίνει πλημμυρική αιχμή στις 01 Σεπτεμβρίου 14:00 ίση με $142,74 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνδυασμένη στις 01 Σεπτεμβρίου 14:00 ίση με $142,74 \text{ m}^3/\text{s}$.



Εικόνα 46. Σύγκριση υδρογραφημάτων εξόδου της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T= 100 έτη

Κατά την υδραυλική προσομοίωση της περιόδου επαναφοράς 100 ετών εμφανίζεται υψηλή ταύτιση της πλημμυρικής αιχμής μεταξύ πλήρους διαστάταης (2D) και συνδυασμένης (1D/2D). Η διαστάτατη προσομοίωση δίνει πλημμυρική αιχμή στις 01 Σεπτεμβρίου 14:15 ίση με 451,62 m³/s, η συνδυασμένη στις 01 Σεπτεμβρίου 14:15 ίση με 451,62 m³/s.

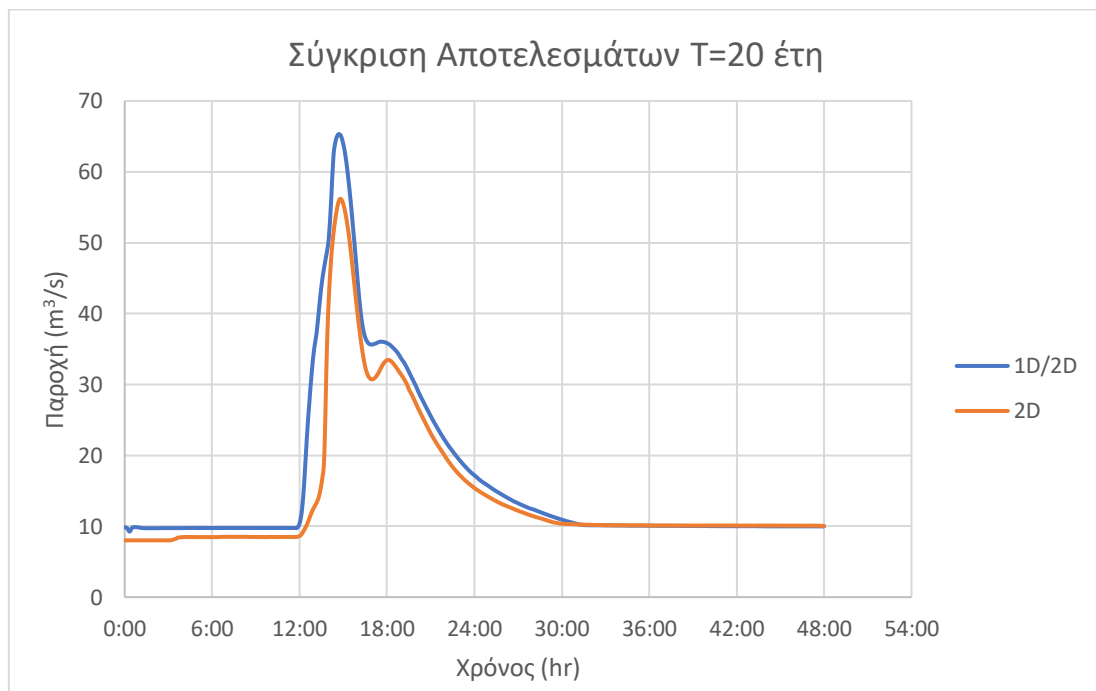


Εικόνα 47. Σύγκριση υδρογραφημάτων εξόδου της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T= 500 έτη

Κατά την υδραυλική προσομοίωση της περιόδου επαναφοράς 500 ετών εμφανίζεται υψηλή ταύτιση της πλημμυρικής αιχμής μεταξύ πλήρους δισδιάστατης (2D) και συνδυασμένης (1D/2D). Η δισδιάστατη προσομοίωση δίνει πλημμυρική αιχμή στις 01 Σεπτεμβρίου 15:45 ίση με 687,53 m³/s, η συνδυασμένη στις 01 Σεπτεμβρίου 15:45 ίση με 687,53 m³/s.

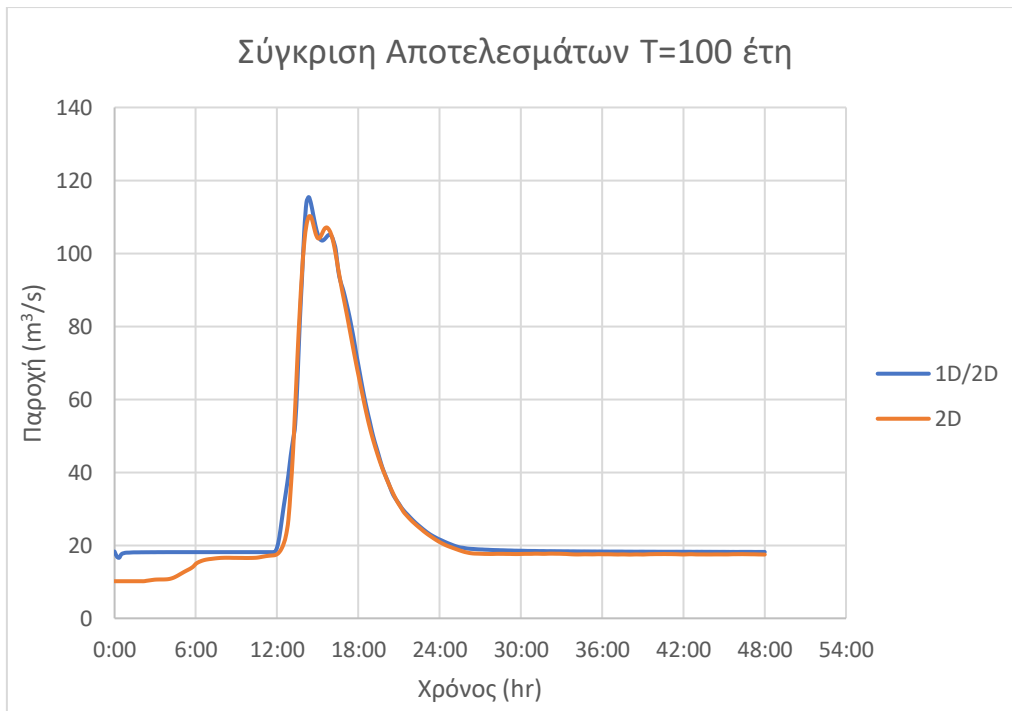
Συμπερασματικά, στην σύγκριση των αποτελεσμάτων για κάθε μια από τις τρεις περιόδους επαναφοράς T20, T100 και T500 έτη εμφανίζεται υψηλή ταύτιση των πλημμυρικών αιχμών μεταξύ πλήρους δισδιάστατης (2D) και συνδυασμένης (1D/2D) γεγονός που υποδεικνύει την υψηλή σύγκλιση των δυο μεθόδων.

- Για την ΠΔΣΚΠ 29:



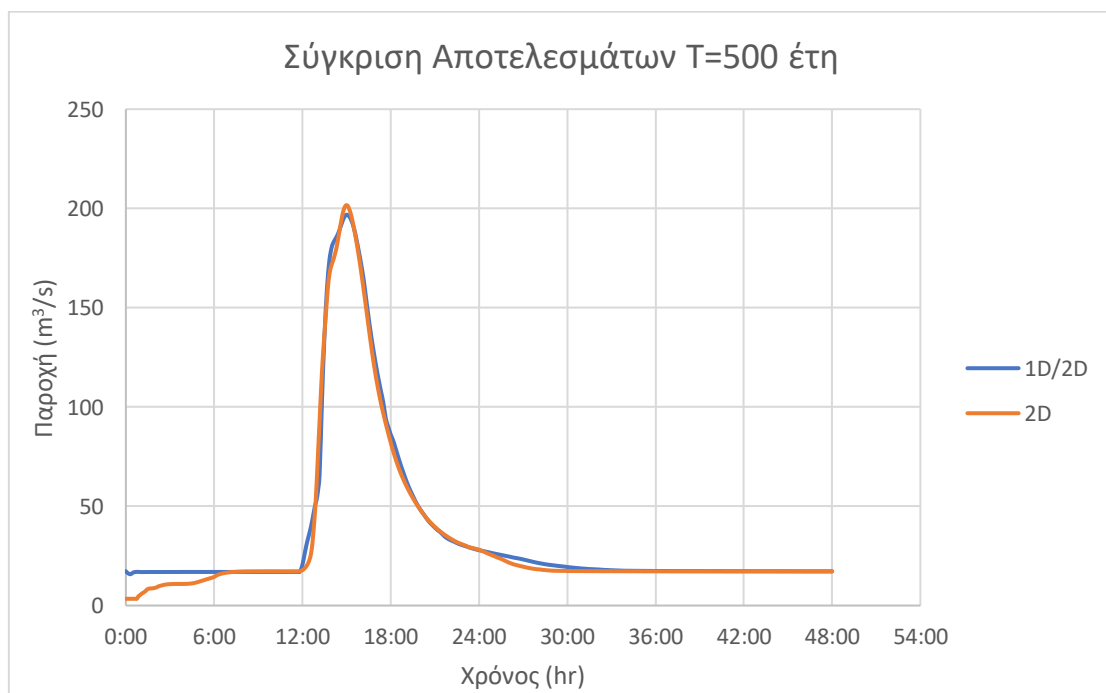
Εικόνα 48. Σύγκριση υδρογραφημάτων εξόδου της ΠΔΣΚΠ 29 για T= 20 έτη

Κατά την υδραυλική προσομοίωση της περιόδου επαναφοράς 20 ετών εμφανίζεται υψηλή ταύτιση της πλημμυρικής αιχμής μεταξύ πλήρους δισδιάστατης (2D) και συνδυασμένης (1D/2D). Η δισδιάστατη προσομοίωση δίνει πλημμυρική αιχμή στις 14h 45' από την αρχή του γεγονότος ίση με 56,12 m³/s, η συνδυασμένη στις 14h 40' ίση με 65,31 m³/s. Η μικρή διαφορά (14%) μεταξύ πλημμυρικών αιχμών κρίνεται εύλογη και συνάδει με τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.1 που καταγράφηκε το μεγαλύτερο σφάλμα στον όγκο απορροής (5,2%). Το σφάλμα αυτό όπως αναλύθηκε και προηγουμένως, οφείλεται στην κατακράτηση μιας ποσότητας νερού σε περιοχή 580 μέτρων ανάντη της εξόδου, με αποτέλεσμα η ποσότητα αυτή να μην καταλήγει στην έξοδο. Το αποτέλεσμα αυτό κρίνεται εύλογο καθώς η περιοχή αυτή αποτελείται από γεωργικές εκτάσεις και ενδεχομένως οφείλεται τόσο στην υπολογιστική ακρίβεια όσο και στον λεπτομερή σχεδιασμό του υπολογιστικού κάρναβου την οποία ο χρήστης μπορεί να καθορίσει και να μεταβάλλει.



Εικόνα 49. Σύγκριση υδρογραφημάτων εξόδου της ΠΔΣΚΠ 29 για T=100 έτη

Κατά την υδραυλική προσομοίωση της περιόδου επαναφοράς 100 ετών εμφανίζεται υψηλή ταύτιση της πλημμυρικής αιχμής μεταξύ πλήρους διαστάτης (2D) και συνδυασμένης (1D/2D). Η διαστάτη προσομοίωση δίνει πλημμυρική αιχμή στις 14h 30' από την εμφάνιση του γεγονότος και ίση με 110,02 m³/s, η συνδυασμένη στις 14hr 20' ίση με 115,44 m³/s. Συνεπώς, υπάρχει υψηλή σύγκλιση μεταξύ των παροχών αιχμής και της εμφάνισής του. Οι μικρές αποκλίσεις κρίνονται μη κρίσιμες.



Εικόνα 50. Σύγκριση υδρογραφημάτων εξόδου της ΠΔΣΚΠ 29 για T= 500 έτη

Κατά την υδραυλική προσομοίωση της περιόδου επαναφοράς 500 ετών εμφανίζεται υψηλή ταύτιση της πλημμυρικής αιχμής μεταξύ πλήρους δισδιάστατης (2D) και συνδυασμένης (1D/2D). Η δισδιάστατη προσομοίωση δίνει πλημμυρική αιχμή στις 15h 15' από την εμφάνιση του γεγονότος και ίση με 198,2 m³/s, η συνδυασμένη στις 15hr ίση με 196,83 m³/s. Τα αποτελέσματα και η μικρή χρονική υστέρηση εμφάνισης της αιχμής μεταξύ των διαφορετικών μεθόδων κρίνονται εύλογα.

Επί συνόλου των αποτελεσμάτων υπάρχει συμφωνία μεταξύ των τιμών πλημμυρικής αιχμής και εμφάνισης τους στην πλήρη δισδιάστατη και στη συνδυασμένη επίλυση.

5.2.2 Σύγκριση Πλημμυρικών Πεδίων

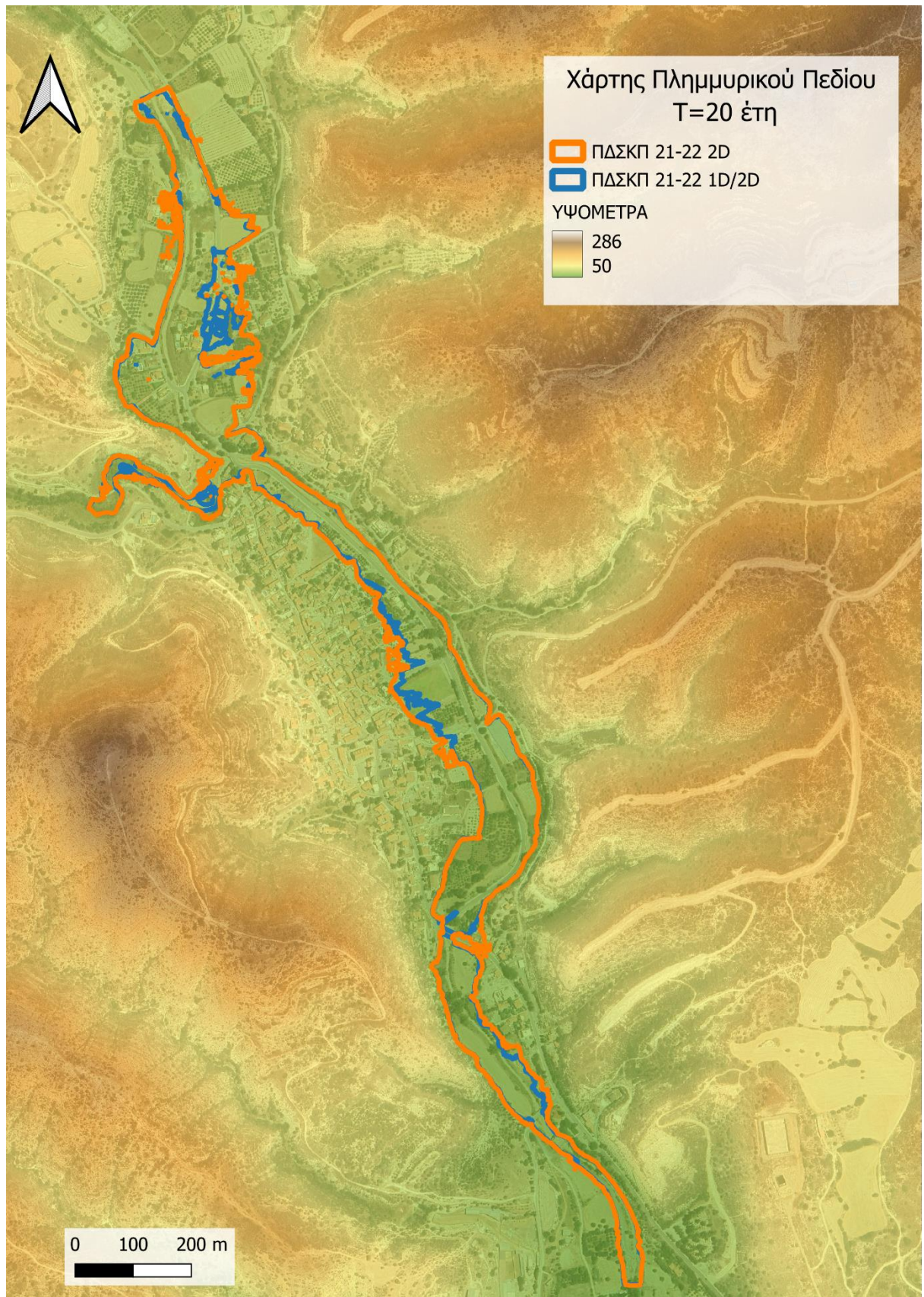
Ένα ακόμα αποτέλεσμα που αποτελεί κριτήριο σύγκριση για την παρούσα διπλωματική εργασία είναι τα πλημμυρικά πεδία των δυο διαφορετικών τρόπων επίλυσης (2D και συνδυασμένη 1D/2D). Ως πλημμυρικό πεδίο θεωρείται το κομμάτι γης εντός του καννάβου το οποίο καλύπτεται από νερό. Η την εξαγωγή των πεδίων πραγματοποιείται στο HEC-RAS μέσω των αποτελεσμάτων για κάθε περίοδο επαναφοράς ξεχωριστά Ras Mapper -> Results -> Create a New Results Map Layer -> Inundation Boundary. Η περαιτέρω επεξεργασία και η εξαγωγή των χαρτών απεικόνισης του συγκρινόμενου πεδίου πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό QGIS. Παρακάτω παρουσιάζονται τα πλημμυρικά πεδία για κάθε μια από τις ΠΔΣΚΠ και κάθε περίοδο επαναφοράς ξεχωριστά.

Ακόμη παρατηρήθηκε μικρή απόκλιση μεταξύ των πλημμυρικών εκτάσεων η οποία παρουσιάζεται παρακάτω. Μικρές αποκλίσεις κρίνονται εύλογες και οφείλονται στην υπολογιστική ακρίβεια που επιλέχθηκε για τα συγκεκριμένα ομοιώματα. Επιπλέον, οφείλεται σε τυχόν διαφορετικές χρήσεις γης (μεγαλύτερος συντελεστής Manning) όπως σε γεωργικές εκτάσεις που παρουσιάζουν κατακράτηση νερού σε εκείνη την περιοχή (εμφάνιση πολυγώνων στο χάρτη).

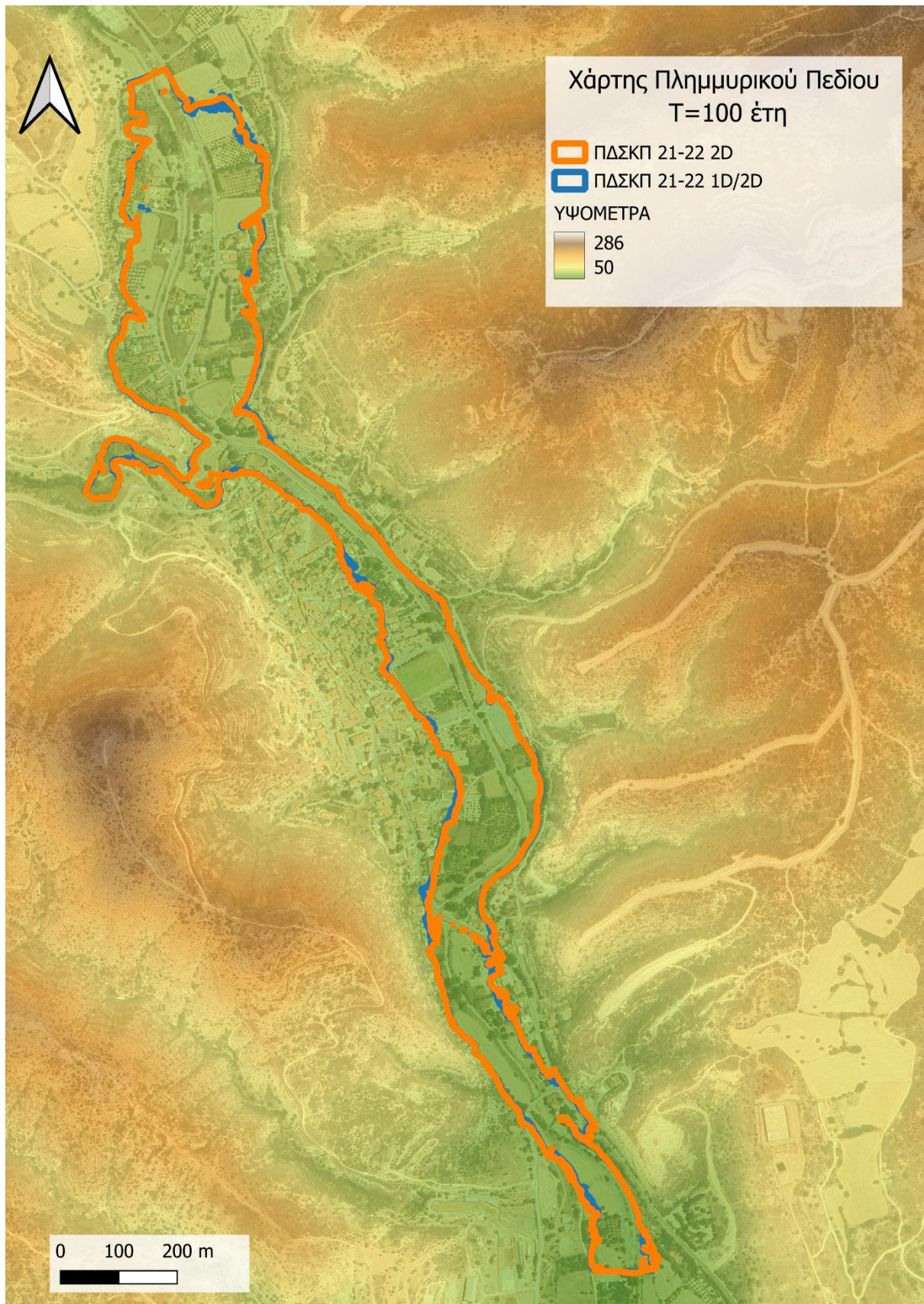
Πίνακας 5.3: Σύγκριση εκτάσεων πλημμυρικών πεδίων

| Υδραυλικό ομοίωμα | Περίοδος επαναφοράς (έτη) | Έκταση (km ²) 1D/2D | Έκταση (km ²) 2D | Ποσοστιαία διαφορά |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------|
| ΠΔΣΚΠ21-22 | T20 | 0.17 | 0.20 | 13% |
| | T100 | 0.29 | 0.29 | 2% |
| | T500 | 0.31 | 0.31 | -1% |
| ΠΔΣΚΠ29 | T20 | 0.72 | 0.82 | 12% |
| | T100 | 0.97 | 1.03 | 6% |
| | T500 | 1.11 | 1.18 | 6% |

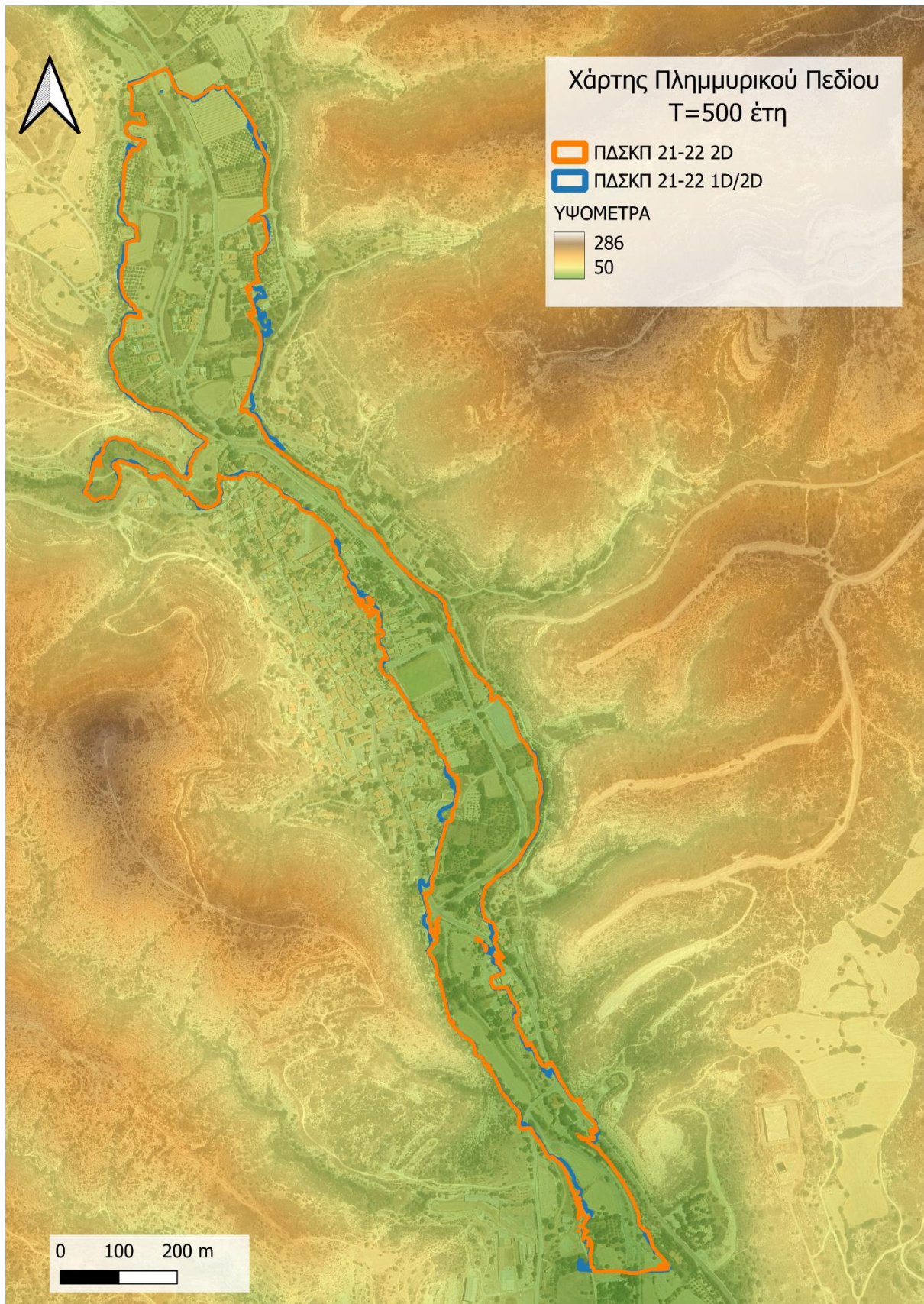
- Για την ΠΔΣΚΠ 21-22



Εικόνα 51. Χάρτης σύγκρισης πλημμυρικού πεδίου της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T=20 έτη

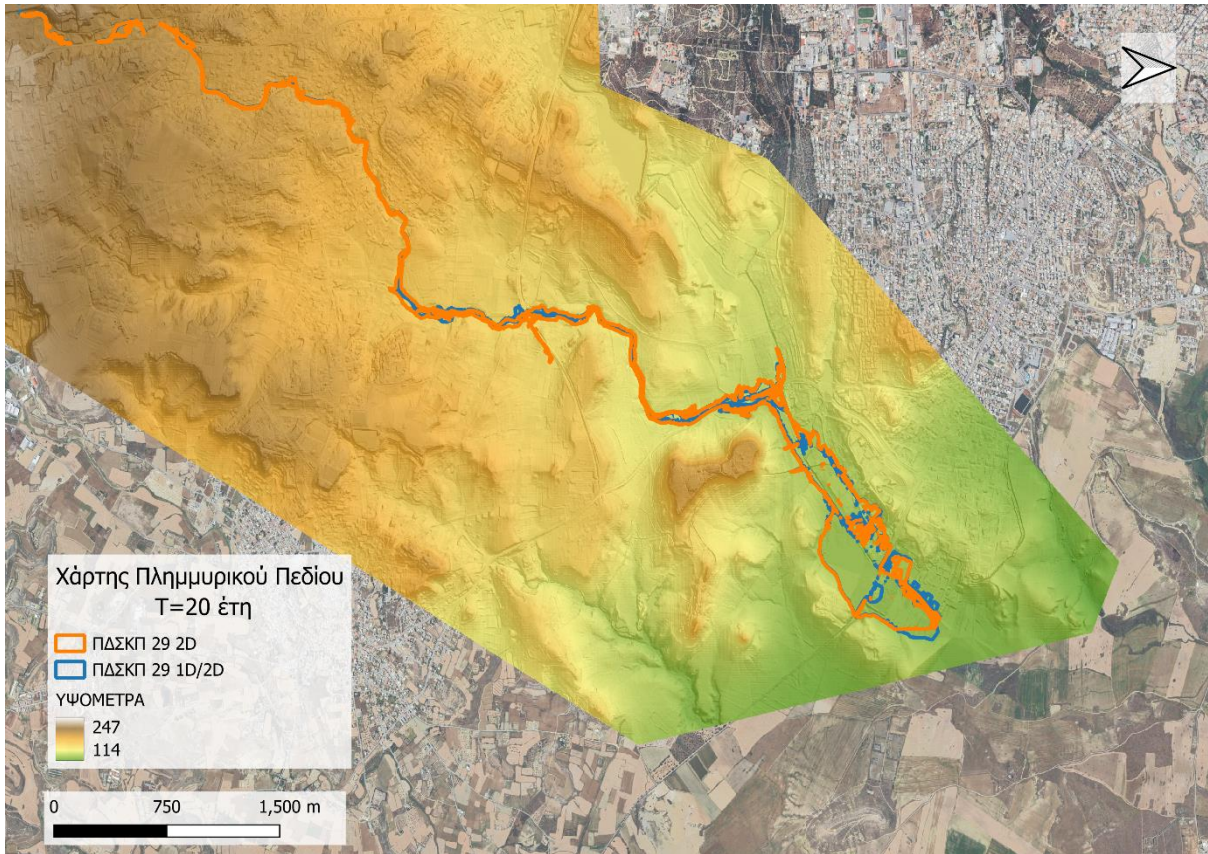


Εικόνα 52. Χάρτης σύγκρισης πλημμυρικού πεδίου της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T=100 έτη

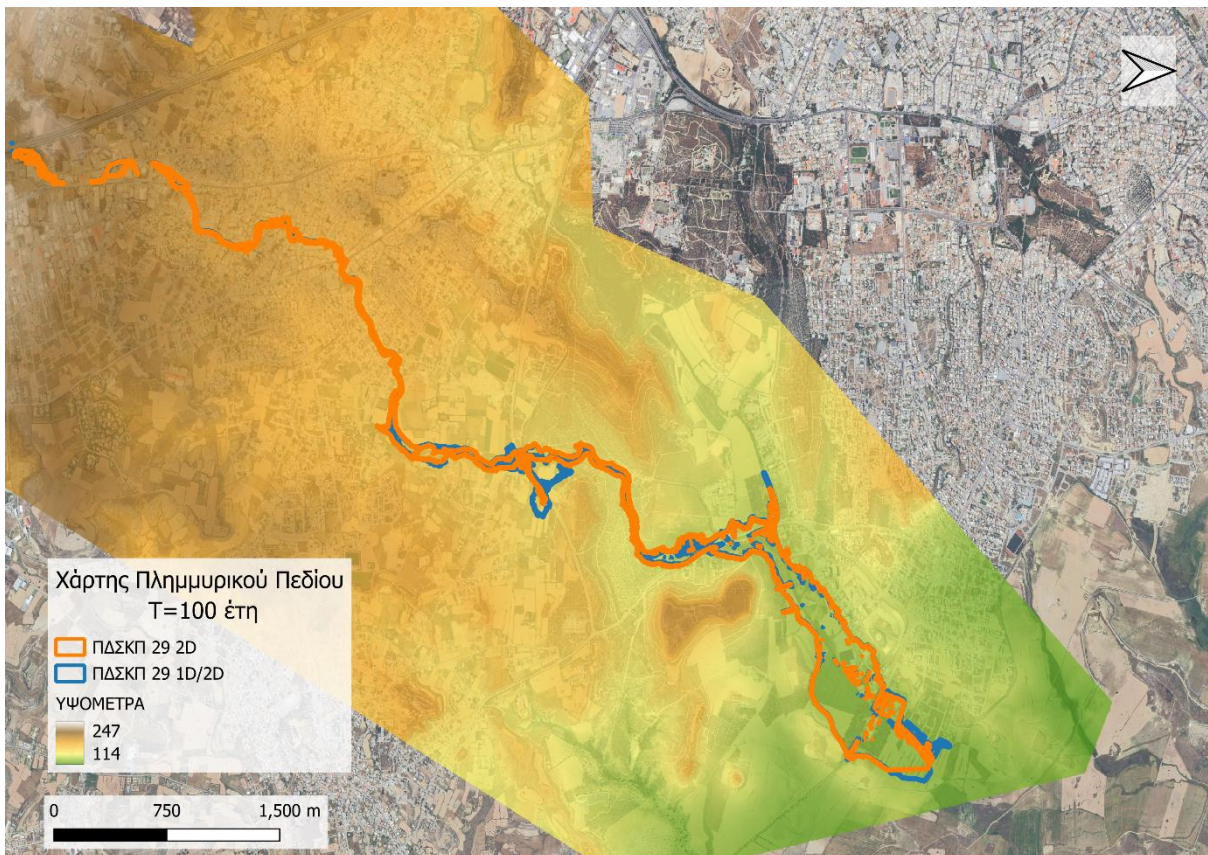


Εικόνα 53. Χάρτης σύγκρισης πλημμυρικού πεδίου της ΠΔΣΚΠ 21-22 για T=500 έτη

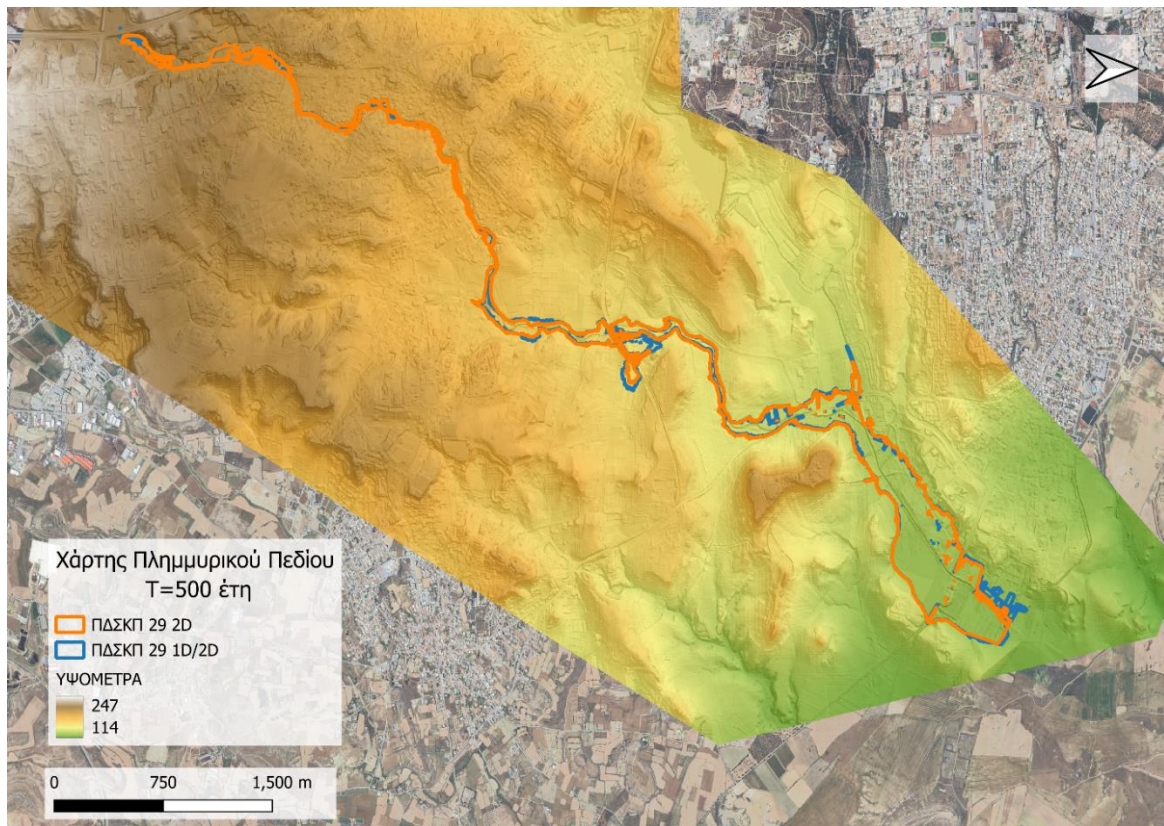
- Για την ΠΔΣΚΠ 29



Εικόνα 54. Χάρτης σύγκρισης πλημμυρικού πεδίου της ΠΔΣΚΠ 29 για T=20 έτη



Εικόνα 55. Χάρτης σύγκρισης πλημμυρικού πεδίου της ΠΔΣΚΠ 29 για T= 100 έτη



Εικόνα 56. Χάρτης σύγκρισης πλημμυρικού πεδίου της ΠΔΣΚΠ 29 για T=500 έτη

6. Σχολιασμός - Συμπεράσματα

Η σύγκριση που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μεταξύ πλήρους δισδιάστατης και συνδυασμένης (1D/2D) προσομοίωσης σε δυο μοντέλα, έδειξε την ευστάθεια και την καλή απόδοση της δισδιάστατης προσομοίωσης. Η μέθοδος της πλήρους δισδιάστατης ανάλυσης υπερτερεί ως προς τον απαιτούμενο χρόνο κατάρτισης του υδραυλικού ομοιώματος και το πλήθος απαιτούμενων διορθώσεων σφαλμάτων που εμφανίζονται.

Οι περιοχές μελέτης ΠΔΣΚΠ 21-22 (ποταμός Βασιλικός στην Καλαβασό και ποταμός της Ασγάτας) και ΠΔΣΚΠ 29 (Ποταμοί Βυζακωτός και Καλόγερος) αποτελούν περιοχές εκτός και εντός αστικής ζώνης αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του πλήρους δισδιάστατου μοντέλου και στις δυο περιπτώσεις παρουσιάζουν ομοιομορφία τόσο σε περιοχές μικρών όσο και σε περιοχές μεγαλύτερων κλίσεων (0,8% και 1,4 - 1,9% αντίστοιχα).

Όπως έδειξαν και τα προαναφερθέντα αποτελέσματα του πλημμυρικού πεδίου, φαίνεται πως τόσο το πλημμυρικό πεδίο όσο και τα πλημμυρικά υδρογραφήματα και εν γένει η συμπεριφορά της πλημμύρας μεταξύ των δυο μεθόδων (δισδιάστατης και συνδυασμένης) έχει μικρές αποκλίσεις. Ακόμη, η σύγκριση των υδρογραφημάτων εξόδου προσομοίωσης έδειξε ως επί το πλείστον σύγκλιση των δυο μεθόδων. Καλύτερη σύγκλιση των υδρογραφημάτων παρατηρήθηκε στην υδραυλική προσομοίωση της ΠΔΣΚΠ 21-22 η οποία αποτελεί περιοχή υψηλότερων κλίσεων συγκριτικά με την ΠΔΣΚΠ 29. Ενδεικτικά οι διαφορές

στην έκταση των πλημμυρικών πεδίων είναι της τάξης του 1 έως 13 %, αποκλίσεις που θεωρούνται μικρές ως προς την έκταση των ΠΔΣΚΠ που αναλύθηκαν.

Έπειτα από τη σύγκριση των σφαλμάτων, των δυσκολιών και του πλήθους των απαιτούμενων διορθώσεων κατά την κατάρτιση των δύο διαφορετικών υδραυλικών ομοιωμάτων, καταδεικνύεται ότι η δισδιάστατη ανάλυση είναι πιο εύχρηστη μέθοδος.

Συμπερασματικά, η πλήρης δισδιάστατη προσομοίωση των υδραυλικών ομοιωμάτων είναι το ίδιο αξιόπιστη με αυτή της συνδυασμένης μεθόδου.

6.1 Προτάσεις για μελλοντική διερεύνηση

Βάσει των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν, προτείνεται να εξεταστεί η χρήση πλήρους δισδιάστατων μοντέλων κατά το επερχόμενο 3^ο ΣΔΚΠ της Κύπρου. Δεδομένης της ευκολίας κατάρτισής τους, οι δισδιάστατες προσομοιώσεις αποτελούν εύχρηστο εργαλείο για τους εμπλεκόμενους φορείς που επιθυμούν να τα χρησιμοποιήσουν στα πλαίσια της διαβούλευσης ή και μετά το πέρας αυτής.

Σύμφωνα με τη σύγχρονη βιβλιογραφία (Georganta et al., 2022) με τη χρήση κατωφλιών κρίσιμης βροχόπτωσης, δηλαδή κατωτάτων ορίων έντασης βροχόπτωσης, επιτυγχάνεται η αξιολόγηση ενδεχόμενης εμφάνισης πλημμυρών. Η εξαγωγή αυτών των ορίων βασίζονται σε προβλέψεις βροχόπτωσης και αποβλέπουν στη μείωση των πλημμυρικών συνεπειών αλλά και τους πόρους που απαιτούνται για την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών σε πλημμυρικά φαινόμενα. Το σύστημα αυτό βρίσκει εφαρμογή σε μεγάλο εύρος βροχοπτώσεων που προκαλούν πλημμυρικά επεισόδια και μπορεί να αποτελέσει βάση για την ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης.

Ακόμη, ως σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης χρησιμοποιούνται βάσεις δεδομένων που έχει γίνει εφαρμογή ποικίλων εντάσεων βροχόπτωσης και εξαγωγή των αντίστοιχων χαρτών πλημμυρικού πεδίου. Συνεπώς, σε προβλέψεις έντονης κακοκαιρίας μπορούν οι αρχές να ανατρέξουν στον αντίστοιχο κατά περίπτωση χάρτη, ώστε να παρθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας.

Η ευκολία κατάρτισης και τροποποίησης του υδραυλικού μοντέλου επιτρέπει στις ενδιαφερόμενες υπηρεσίες ή και ερευνητές την εξέταση, μέσω του υφιστάμενου δισδιάστατου μοντέλου, ποικίλων εναλλακτικών λύσεων με τις οποίες μπορεί να επιτευχθεί ανάσχεση της πλημμύρας. Επιπλέον, μέσω των υφιστάμενων δισδιάστατων προσομοιώσεων μπορεί να εξεταστεί η συμπεριφορά της πλημμύρας με εισαγωγή ποικίλων τεχνικών έργων όπως φράγματα ανάσχεσης και ορεινής δασονομίας, τυχόν διευθετήσεις ή και παραποτάμιες περιοχές όπου μπορεί να γίνει ανάσχεση με διόδευση μέρους του πλημμυρικού κύματος.

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

- Alfieri, L., Bisselink, B., Dottori, F., Naumann, G., de Roo, A., Salamon, P., Wyser, K., & Feyen, L. (2017). Global projections of river flood risk in a warmer world. *Earth's Future*, 5(2), 171–182. <https://doi.org/10.1002/2016EF000485>
- Anghel, C. G., & Ilinca, C. (2023). Evaluation of Various Generalized Pareto Probability Distributions for Flood Frequency Analysis. *Water (Switzerland)*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/w15081557>
- Barreiro, J., Santos, F., Ferreira, F., Neves, R., & Matos, J. S. (2023). Development of a 1D/2D Urban Flood Model Using the Open-Source Models SWMM and MOHID Land. *Sustainability (Switzerland)*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/su15010707>
- Brunner, G. W., Piper, S. S., Jensen, M. R., & Chacon, B. (2015). Combined 1D and 2D Hydraulic Modeling within HEC-RAS. *World Environmental and Water Resources Congress 2015: Floods, Droughts, and Ecosystems - Proceedings of the 2015 World Environmental and Water Resources Congress*, 1432–1443. <https://doi.org/10.1061/9780784479162.141>
- Buckley, J., & Howarth, D. (2010). Internal Market: Gesture Politics - Explaining the EU's Response to the Financial Crisis. *Journal of Common Market Studies*, 48. <https://heinonline.org/HOL/Page?handle=hein.journals/jcmks48&id=1537&div=&collection=>
- Chenoweth, J., Hadjinicolaou, P., Bruggeman, A., Lelieveld, J., Levin, Z., Lange, M. A., Xoplaki, E., Hadjikakou, M., Chenoweth, C. :, Hadjinicolaou, P., Bruggeman, A., Lelieveld, J., Levin, Z., Lange, M. A., Xoplaki, E., & Hadjikakou, M. (2011a). Impact of climate change on the water resources of the eastern Mediterranean and Middle East region: Modeled 21st century changes and implications. *Water Resources Research*, 47(6), 6506. <https://doi.org/10.1029/2010WR010269>
- climate.copernicus.eu, Π. (2021). *climate.copernicus.eu*.
- Costabile, P., Costanzo, C., Ferraro, D., Macchione, F., & Petaccia, G. (2020). Performances of the New HEC-RAS Version 5 for 2-D Hydrodynamic-Based Rainfall-Runoff Simulations at Basin Scale: Comparison with a State-of-the Art Model. *Water 2020, Vol. 12, Page 2326*, 12(9), 2326. <https://doi.org/10.3390/W12092326>
- Costabile, P., & Macchione, F. (2015). Enhancing river model set-up for 2-D dynamic flood modelling. *Environmental Modelling & Software*, 67, 89–107. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOF.2015.01.009>
- Delipetrou, P., Makhzoumi, J., Dimopoulos, P., & Georghiou, K. (2008a). *Cyprus*. 170–203. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5064-0_9
- Diakakis, M., Boufidis, N., Salanova Grau, J. M., Andreadakis, E., & Stamos, I. (2020a). A systematic assessment of the effects of extreme flash floods on transportation infrastructure and circulation: The example of the 2017 Mandra flood. *International*

Journal of Disaster Risk Reduction, 47, 101542.
<https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2020.101542>

Diakakis, M., Boufidis, N., Salanova Grau, J. M., Andreadakis, E., & Stamos, I. (2020b). A systematic assessment of the effects of extreme flash floods on transportation infrastructure and circulation: The example of the 2017 Mandra flood. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 47, 101542.
<https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2020.101542>

Diakakis, M., Deligiannakis, G., Andreadakis, E., Katsetsiadou, K. N., Spyrou, N. I., & Gogou, M. E. (2020). How different surrounding environments influence the characteristics of flash flood-mortality: The case of the 2017 extreme flood in Mandra, Greece. *Journal of Flood Risk Management*, 13(3), e12613. <https://doi.org/10.1111/JFR3.12613>

Dottori, F., Salamon, P., Bianchi, A., Alfieri, L., Hirpa, F. A., & Feyen, L. (2016). Development and evaluation of a framework for global flood hazard mapping. *Advances in Water Resources*, 94, 87–102. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.05.002>

ECDC. (2021). <https://www.ecdc.europa.eu/>.

EEA. (2010a). *Climate change impacts on water quality and biodiversity Background Report for EEA European Environment ETC Water Technical Report 1/2010*.
<http://water.eionet.europa.eu>

EEA. (2022). <https://climate-adapt.eea.europa.eu/>.

Elmer et al. (2010). *Επιπτώσεις πλημμύρας - ERMIS - F*. https://ermis-f.eu/glossary_a/epiptoseis-plimmyras/

ERMIS-F. (2017). <https://ermis-apps.ermis-f.eu/>.

ERMIS-F. (2023). <https://ermis-apps.ermis-f.eu/kb/l/FloodIncident/>.

EUR-Lex. (2007). *Directive - 2007/60 - EN - EUR-Lex*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32007L0060>

eur-lex.europa.eu. (2004). <https://eur-lex.europa.eu/>.

European Commission. (2023). <environment.ec.europa.eu>.

Eurostat. (2023). *Δείκτης εκμετάλλευσης νερού - Data Europa EU*.
<https://data.europa.eu/data/datasets/ycgyslsczmuopk8jmkkgw?locale=el>

Farsangi, E. N. (n.d.). *Natural hazards : impacts, adjustments and resilience*. Retrieved May 11, 2024, from
https://books.google.com/books/about/Natural_Hazards.html?hl=el&id=_TpbEAAAQBAJ

Georganta, C., Feloni, E., Nastos, P., & Baltas, E. (2022). Critical Rainfall Thresholds as a Tool for Urban Flood Identification in Attica Region, Greece. *Atmosphere*, 13(5).
<https://doi.org/10.3390/atmos13050698>

- Ghostine, R., Hoteit, I., Vazquez, J., Terfous, A., Ghenaim, A., & Mose, R. (2015). Comparison between a coupled 1D-2D model and a fully 2D model for supercritical flow simulation in crossroads. *Journal of Hydraulic Research*, *53*(2), 274–281. <https://doi.org/10.1080/00221686.2014.974081>
- Ghostine, R., Vazquez, J., Terfous, A., Mose, R., & Ghenaim, A. (2012). Comparative study of 1D and 2D flow simulations at open-channel junctions. *Journal of Hydraulic Research*, *50*(2), 164–170. <https://doi.org/10.1080/00221686.2012.661563>
- Giannakopoulos, C., Hadjinicolaou, P., Kostopoulou, E., Varotsos, K. V., & Zerefos, C. (2010). *Precipitation and temperature regime over Cyprus as a result of global climate change* (Vol. 23). www.adv-geosci.net/23/17/2010/
- Hapuarachchi, H. A. P., Wang, Q. J., & Pagano, T. C. (2011). A review of advances in flash flood forecasting. *Hydrological Processes*, *25*(18), 2771–2784. <https://doi.org/10.1002/HYP.8040>
- Hengl, T., & Reuter, H. I. (2009). *Geomorphometry-Concepts, Software, Applications*. <http://www.geo>
- Henonin, J., Russo, B., Mark, O., & Gourbesville, P. (2013). Real-time urban flood forecasting and modelling - A state of the art. *Journal of Hydroinformatics*, *15*(3), 717–736. <https://doi.org/10.2166/hydro.2013.132>
- Ilinca, C., & Anghel, C. G. (2022). Flood-Frequency Analysis for Dams in Romania. *Water (Switzerland)*, *14*(18). <https://doi.org/10.3390/w14182884>
- IPCC. (2023). Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis* (pp. 1513–1766). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.013>
- Jaharudin et al. (2013). (PDF) *Determinants of Flood Fatalities: Evidence from a Panel Data of 79 Countries*. https://www.researchgate.net/publication/260096101_Determinants_of_Flood_Fatalities_Evidence_from_a_Panel_Data_of_79_Countries
- Kim, H. Il, Keum, H. J., & Han, K. Y. (2019). Real-Time Urban Inundation Prediction Combining Hydraulic and Probabilistic Methods. *Water* 2019, Vol. 11, Page 293, *11*(2), 293. <https://doi.org/10.3390/W11020293>
- Kostopoulou, E., & Jones, P. D. (2007). Comprehensive analysis of the climate variability in the eastern Mediterranean. Part I: map-pattern classification. *International Journal of Climatology*, *27*(9), 1189–1214. <https://doi.org/10.1002/JOC.1467>
- Lagouvardos, K., Karagiannidis, A., Dafis, S., Kalimeris, A., & Kotroni, V. (2022). Ianos-A Hurricane in the Mediterranean. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *103*(6), E1621–E1636. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-20-0274.1>
- Mason, K., Lindberg, K., Haenfling, C., Schori, A., Marsters, H., Read, D., & Borman, B. (2021). Social Vulnerability Indicators for Flooding in Aotearoa New Zealand. *International*

Journal of Environmental Research and Public Health 2021, Vol. 18, Page 3952, 18(8), 3952. <https://doi.org/10.3390/IJERPH18083952>

- Md, M., Yazdan, S., Ahad, T., Kumar, R., Abdullah, M., & Mehedi, A. (2022). Estimating Flooding at River Spree Floodplain Using HEC-RAS Simulation. *J* 2022, Vol. 5, Pages 410-426, 5(4), 410–426. <https://doi.org/10.3390/J5040028>
- Mihu-Pintilie, A., Cîmpianu, C. I., Stoleriu, C. C., Pérez, M. N., & Paveluc, L. E. (2019). Using High-Density LiDAR Data and 2D Streamflow Hydraulic Modeling to Improve Urban Flood Hazard Maps: A HEC-RAS Multi-Scenario Approach. *Water* 2019, Vol. 11, Page 1832, 11(9), 1832. <https://doi.org/10.3390/W11091832>
- Moleski, R., & Bsc, (. (2023). *ResAlliance Project*.
- Mudashiru, R. B., Sabtu, N., Abustan, I., & Balogun, W. (2021). Flood hazard mapping methods: A review. *Journal of Hydrology*, 603, 126846. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2021.126846>
- Munro, A., Kovats, R. S., Rubin, G. J., Waite, T. D., Bone, A., Armstrong, B., Beck, C. R., Amlôt, R., Leonardi, G., & Oliver, I. (2017). Effect of evacuation and displacement on the association between flooding and mental health outcomes: a cross-sectional analysis of UK survey data. *The Lancet. Planetary Health*, 1(4), e134–e141. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30047-5](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30047-5)
- Nied, M., Schröter, K., Lüdtkke, S., Nguyen, V. D., & Merz, B. (2017). What are the hydro-meteorological controls on flood characteristics? *Journal of Hydrology*, 545, 310–326. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2016.12.003>
- NSSC, C. (2009). *Chapter 7 Hydrologic Soil Groups*.
- Papaioannou, G., Efstratiadis, A., Vasiliades, L., Loukas, A., Michael Papalexou, S., Koukouvinos, A., Tsoukalas, I., & Kossieris, P. (2018a). *An Operational Method for Flood Directive Implementation in Ungauged Urban Areas*. <https://doi.org/10.3390/hydrology5020024>
- Papaioannou, G., Efstratiadis, A., Vasiliades, L., Loukas, A., Michael Papalexou, S., Koukouvinos, A., Tsoukalas, I., & Kossieris, P. (2018b). *An Operational Method for Flood Directive Implementation in Ungauged Urban Areas*. <https://doi.org/10.3390/hydrology5020024>
- Papaioannou, G., Loukas, A., Vasiliades, L., & Aronica, G. T. (2016). Flood inundation mapping sensitivity to riverine spatial resolution and modelling approach. *Natural Hazards*, 83(1), 117–132. <https://doi.org/10.1007/S11069-016-2382-1/METRICS>
- Patel, D. P., Ramirez, J. A., Srivastava, P. K., Bray, M., & 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. <https://doi.org/10.1007/S11069-017-2956-6/METRICS>

- Paterson, C., Karatzias, T., Dickson, A., Harper, S., Dougall, N., & Hutton, P. (2018). Psychological therapy for inpatients receiving acute mental health care: A systematic review and meta-analysis of controlled trials. *The British Journal of Clinical Psychology*, 57(4), 453–472. <https://doi.org/10.1111/BJC.12182>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/HESS-11-1633-2007>
- Peña, F., & Nardi, F. (2018). Floodplain Terrain Analysis for Coarse Resolution 2D Flood Modeling. *Hydrology 2018, Vol. 5, Page 52*, 5(4), 52. <https://doi.org/10.3390/HYDROLOGY5040052>
- Psomiadis, E., Tomanis, L., Kavvadias, A., Soulis, K. X., Charizopoulos, N., & Michas, S. (2021). Potential Dam Breach Analysis and Flood Wave Risk Assessment Using HEC-RAS and Remote Sensing Data: A Multicriteria Approach. *Water 2021, Vol. 13, Page 364*, 13(3), 364. <https://doi.org/10.3390/W13030364>
- Quiroga, V. M., Kurea, S., Udoa, K., & Manoa, A. (2016). Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. *Ribagua*, 3(1), 25–33. <https://doi.org/10.1016/J.RIBA.2015.12.001>
- Rangari, V. A., Umamahesh, N. V., & Bhatt, C. M. (2019). Assessment of inundation risk in urban floods using HEC RAS 2D. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(4), 1839–1851. <https://doi.org/10.1007/S40808-019-00641-8/METRICS>
- Raymond, C., Horton, R. M., Zscheischler, J., Martius, O., AghaKouchak, A., Balch, J., Bowen, S. G., Camargo, S. J., Hess, J., Kornhuber, K., Oppenheimer, M., Ruane, A. C., Wahl, T., & White, K. (2020). Understanding and managing connected extreme events. *Nature Climate Change*, 10(7), 611–621. <https://doi.org/10.1038/S41558-020-0790-4>
- Rincón, D., Khan, U. T., & Armenakis, C. (2018). *Flood Risk Mapping Using GIS and Multi-Criteria Analysis: A Greater Toronto Area Case Study*. <https://doi.org/10.3390/geosciences8080275>
- Sesana, E., Gagnon, A. S., Bonazza, A., & Hughes, J. J. (2020). An integrated approach for assessing the vulnerability of World Heritage Sites to climate change impacts. *Journal of Cultural Heritage*, 41, 211–224. <https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2019.06.013>
- Shustikova, I., Domeneghetti, A., Neal, J. C., Bates, P., & Castellarin, A. (2019). Comparing 2D capabilities of HEC-RAS and LISFLOOD-FP on complex topography. *Hydrological Sciences Journal*, 64(14), 1769–1782. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1671982>
- Tabari, H. (2020a). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports 2020 10:1*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>

- Tabari, H. (2020b). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports* 2020 10:1, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>
- TAY. (2021). *RAINFALL_from_1901_GR_Meter_(Idrologiko_etos)*.
- TAY. (2022). www.moa.gov.cy.
- Tramblay, Y., Arnaud, P., Artigue, G., Lang, M., Paquet, E., Neppel, L., & Sauquet, E. (2023a). Changes in Mediterranean flood processes and seasonality. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 27, 2973–2987. <https://doi.org/10.5194/hess-27-2973-2023>
- Tsiakkuros, A., & Pashiardis, P. (2002). Strategic planning and education: The case of Cyprus. *International Journal of Educational Management*, 16(1), 6–17. <https://doi.org/10.1108/09513540210415505>
- Uncounted costs - Data gaps hide the true human impacts of disasters in 2023 | UNDRR*. (n.d.). Retrieved May 11, 2024, from <https://www.undrr.org/explainer/uncounted-costs-of-disasters-2023>
- UNDRR. (2019). *An overview of the last 20 years*. www.undrr.org
- U.S Army Corps of Engineers. (2016). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual*. www.hec.usace.army.mil
- USACE. (2023). *HEC-RAS User's Manual*. www.hec.usace.army.mil/confluence/display/RASUM/
- Vousdoukas, M. I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Verlaan, M., Jevrejeva, S., Jackson, L. P., & Feyen, L. (2018). Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. *Nature Communications*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04692-w>
- WDD (TAY). (2023). 2nd_FRMP_CY001. *WDD (TAY)*.
- Wilson, J. P. (John P., & Gallant, J. C. (2000). *Terrain analysis : principles and applications*. Wiley.
- Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment Hazard Specific Risk Assessment 4. Flood Hazard and Risk Assessment*. (n.d.).
- Zachariadis, T. (2010a). Forecast of electricity consumption in Cyprus up to the year 2030: The potential impact of climate change. *Energy Policy*, 38(2), 744–750. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2009.10.019>
- Zittis, G., Bruggeman, A., & Camera, C. (2020a). 21st Century Projections of Extreme Precipitation Indicators for Cyprus. *Atmosphere* 2020, Vol. 11, Page 343, 11(4), 343. <https://doi.org/10.3390/ATMOS11040343>
- Zittis, G., Bruggeman, A., Camera, C., Hadjinicolaou, P., & Lelieveld, J. (2017). The added value of convection permitting simulations of extreme precipitation events over the

eastern Mediterranean. *Atmospheric Research*, 191, 20–33.

<https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2017.03.002>

Αριστείδου. (2015). *Πυλώνες Διαχείρισης Υδατικών Πόρων στην Κύπρο*.

Δήμος Αγλαντζιάς. (2023). <https://aglantzia.org.cy/archiki-selida/o-dimos-mas/dimotiko-simvoulia/>.

Δήμος Γερίου. (2023). <https://www.yeri.org.cy/>.

Δήμος Λατσιών. (2023). www.latsia.eu.

Κοινοτικό Συμβούλιο Ασγάτας. (2023). www.asgata.com/ksenagisi/to-chorio/.

Κοινοτικό Συμβούλιο Καλαβασού. (2023). <https://www.kalavasos.org/gr/council-tgr.html>.

Κυπριακή Δημοκρατία. (2023). moa.gov.cy.

Οδηγία 2007/60/ΕΚ. (n.d.). *CELEX 32007L0060 EL TXT*.

Παναγόπουλος, Π., Μηχανικός, Π., Αικ, Ε. Α. Ε., Τριανταφύλλου, Μ., Doctorat, Ε. Α. Ε. Δ, Ζαρρής, Π., Μηχανικός, Μ. S., & Υδρολογίας, L. Α. Ε. (2016). *Πιθανές Πλημμύρες και Επιπτώσεις τους στην Κύπρο Δημόσια Διαβούλευση για το Προσχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας*.

Σκιάς. (2016). *ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΜΗΜΑ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ& ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ Επιτροπή: ΟΛΓΑ ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΥ (Επιβλέπουσα)*.