



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΜΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΡΙΣΚΟΥ»**

Παρασκευάς Σχισμένος

Επιβλέπων Καθηγητής
Χρυσόστομος Στύλιος

Άρτα, Ιανουάριος, 2021

**«DESIGN OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR FLOOD RISK
ASSESSMENT AND VISUALIZATION»**

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής

Χρυσόστομος Στύλιος

Καθηγητής

2. Μέλος επιτροπής

Χρήστος Γκόγκος

Αναπληρωτής Καθηγητής

3. Μέλος επιτροπής

Πέτρος Καρβέλης

Διδάσκων Ακ. Υπότροφος

© Σχισμένος Παρασκευάς, 2021.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Σχισμένος Παρασκευάς



Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί διπλωματική εργασία στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος «Πληροφορικής και Δικτύων» του τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ορισμένους από τους ανθρώπους που γνώρισα, συνεργάστηκα μαζί τους και έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίησή της.

Πρώτο από όλους θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας, Καθηγητή Χρυσόστομο Στύλιο για την πολύτιμη καθοδήγηση του και την εμπιστοσύνη και εκτίμηση που μου έδειξε. Δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω το Δρ. Πέτρο Καρβέλη για την συνεχή του στήριξη σε όλη τη διάρκεια της μελέτης, που με τις υποδείξεις του και την καθοδήγησή του, η μελέτη υπεβλήθη προς δημοσίευση στο “29th Mediterranean Conference on Control and Automation, June 22-25 2021, BARI, PUGLIA, ITALY”.

Επίσης, ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να απευθύνω και στους συναδέλφους μου στο Εργαστήριο Γνώσης και Ευφυούς Πληροφορικής που με στήριξαν στις δύσκολες περιστάσεις και έγιναν μια από τις αιτίες να αντλώ συνέχεια υπομονή και δύναμη, ώστε να μπορέσω να φέρω σε πέρας αυτή τη δύσκολη προσπάθεια.

Τέλος, θέλω από τα βάθη της καρδιάς μου να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τη σύζυγο μου και την κόρη μου, για την ανεκτίμητη στήριξή τους, τόσο στην παρούσα εργασία, όσο και στην ολοκλήρωση των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο κίνδυνος των φυσικών καταστροφών γίνεται και όλο και πιο έντονος με την πάροδο του χρόνου, σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό, αλλά και σε εθνικό επίπεδο. Αυτή η τάση οφείλεται κυρίως σε επεμβάσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας αλλά και σε ποικίλες μορφοκλιματικές αλλαγές. Οι καταστροφές εμφανίζονται σε διάφορες μορφές, η διάρκεια των οποίων κυμαίνεται από κάποιες ώρες μέχρι και κάποιες εβδομάδες. Τέτοιες καταστάσεις προκύπτουν ως αποτέλεσμα ακραίων γεγονότων που προκαλούν μεγάλες ζημιές στον αστικό ιστό.

Οι έντονες βροχοπτώσεις που έπληξαν τον Νομό Άρτας τον Φεβρουάριο του 2015 είχαν ως αποτέλεσμα μεγάλο μέρος του Νομού να υποστεί τεράστιες καταστροφές. Το μεγαλύτερο μέρος των προβλημάτων εντοπίστηκε στην πεδιάδα του Νομού Άρτας και πιο συγκεκριμένα στον Δήμο Νικολάου Σκουφά, όπου προέκυψε επιτακτική η ανάγκη για εκκένωση οικισμών. Αυτός ήταν και ο κύριος λόγος που επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης η λεκάνη απορροής του ποταμού Αράχθου.

Σκοπός της μεταπτυχιακής εργασίας είναι ο Σχεδιασμός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων για αξιολόγηση και απεικόνιση πλημμυρικού ρίσκου, στην ευρύτερη περιοχή της Άρτας, κατάντη του φράγματος Πουρνάρι 2. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκε ένα χωρικό καταναμημένο μοντέλο βροχής στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αράχθου. Πιο ειδικά εξετάστηκαν Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους από το διαστημικό πρόγραμμα Copernicus στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Άρτας, δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής ενδιαφέροντος και η στάθμη του ποταμού Αράχθου, με στόχο τη δημιουργία των απαραίτητων χαρτών για τον καθορισμό των Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου. Η δημιουργία των χαρτών έγινε μετά από την επεξεργασία των παραμέτρων με τη χρησιμοποίηση και υλοποίηση της μεθοδολογίας AHP με πραγματικά δεδομένα και δεδομένα προσομοίωσης. Τα αποτελέσματα της μελέτης μας δείχνουν ότι οι σημαντικότεροι παράγοντες για τη δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων είναι οι βροχοπτώσεις, ενώ και τα πιο τρωτά σημεία είναι οι παρόχθιες περιοχές του ποταμού Αράχθου.

Λέξεις-κλειδιά: Φυσικές Καταστροφές, Πλημμύρες, Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων.

ABSTRACT

The risk of natural disasters becomes even more acute over time at global, European and national level. This trend mainly results not only due to human activities but also due to morphological changes. The damages occur in various forms, while their duration can vary from few hours to few weeks, which is the result of the extreme phenomena that cause severe implications to the urban fabric.

The heavy rains that hit the Prefecture of Arta in February 2015 resulted in experiencing huge damages a large part of the Prefecture. Most of the problems were located in the plain of the above-mentioned area and more specifically in the Municipality of Nikolaos Skoufas reaching to the extreme measure of evacuating settlements. This was the main reason why the catchment area of the river Arachthos was chosen for the specific study.

The master's thesis purpose is the design of a decision support system for flood risk assessment and visualization, in the wider area of Arta, downstream of the Pournari 2 dam. For this purpose, a spatially distributed rainfall model was created in the catchment area of the river Arachthos. More specifically, Digital Soil Models from the Copernicus space program in the wider area of the Prefecture of Arta were examined, alongside to data from meteorological stations of the area of interest and the level of the river Arachthos, with the aim of creating the necessary maps to determine the Potentially High Risk Zones. The creation of maps was done after processing the parameters using and implementing the AHP methodology. After applying the methodology with real data and simulation data, we extracted the results of our study that show that the most important factors for the creation of floods are rainfall, while the most vulnerable points are the riparian areas of the river Arachthos.

Keywords: Natural Disasters, Floods, Decision Support Systems.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	ix
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	x
ABSTRACT.....	xi
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xiv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	xv
1. Εισαγωγή.....	Error! Bookmark not defined.
1.1. Γενικά.....	1
1.2. Παράγοντες δημιουργίας πλημμυρών.....	5
1.3. Σκοπός Έρευνας.....	8
1.4. Δομή Έρευνας.....	8
2. Μεθοδολογίες Εκτίμησης Πλημμυρικού Ρίσκου.....	10
2.1. Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων.....	10
2.1.1. Ειδικά Χαρακτηριστικά και Χρησιμότητα των ΣΥΑ.....	11
2.1.2. Εφαρμογές των ΣΥΑ στην εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου.....	13
2.2. Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων & Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP)..	14
2.2.1. Λήψη Αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια.....	14
2.2.2. Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία.....	17
2.2.3. Εφαρμογές της AHP για την Εκτίμηση Πλημμυρικού Ρίσκου.....	28
3. Περιοχή Μελέτης.....	30
3.1.1. Σύνολο Οικισμών ΛΑΠ Αράχθου.....	31
3.1.2. Χρήσεις Γης.....	32

3.1.3.	Κλιματικές Συνθήκες	34
3.1.4.	Γεωμορφολογία – Τοπογραφία.....	40
3.2.	Πλημμυρικά Επεισόδια	41
3.2.1.	Περιοχές εμφάνισης.....	41
3.2.2.	Συχνότητα εμφάνισης	42
3.2.3.	Έντονα Πλημμυρικά φαινόμενα	44
4.	Μέθοδος Εκτίμησης Πλημμυρικού Ρίσκου	48
4.1.	Παράμετροι	57
4.1.1.	Βροχόπτωση μιας ημέρας & τριών ημερών.....	57
4.1.2.	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους	61
4.1.3.	Κλίση Γης	66
4.1.4.	Χρήση Γης	68
4.1.5.	Στάθμη Ποταμού.....	70
4.1.6.	Απόσταση κάθε σημείου από τον Ποταμό	73
5.	Αποτελέσματα.....	75
5.1.	Εισαγωγή.....	75
5.2.	Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε πραγματικά δεδομένα.....	75
5.3.	Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε δεδομένα προσομοίωσης.....	78
6.	Συμπεράσματα	82
6.1.	Μελλοντική Εργασία & Προοπτικές	83
7.	Βιβλιογραφία	85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1 Προτεινόμενη Κλίμακα Συγκρίσεων	20
Πίνακας 2-2 Οι τιμές του δείκτη Random Index	27
Πίνακας 4-1 Παράμετροι του κινδύνου πλημμυρικού ρίσκου: Αναλυτική ιεραρχία.....	51
Πίνακας 4-2 Κανονικοποιημένες παράμετροι κινδύνου πλημμύρας: Αναλυτική διαδικασία ιεραρχίας	52
Πίνακας 4-3 Κλάσεις των παραμέτρων και ανάλογα με τα βάρη	57
Πίνακας 4-4 Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους τα όρια για κάθε βαθμό επικινδυνότητας	65
Πίνακας 4-5 Κλίση εδάφους και η βαθμονόμηση τους σε Επικινδυνότητα.....	67
Πίνακας 4-6 Χρήση Γης και αντιστοίχισης με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας....	69
Πίνακας 4-7 Σταθμηγράφος τα όρια επικινδυνότητας	73
Πίνακας 4-8 Απόσταση κάθε σημείου από το ποτάμι απεικόνιση με τα όρια επικινδυνότητας τους	74
Πίνακας 5-1 Πραγματικά Δεδομένα της Πλημμύρας του 2015	75
Πίνακας 5-2 Δεύτερο σενάριο για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στη ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου με πραγματικά δεδομένα του 2021	77
Πίνακας 5-3 Δεδομένα Προσομοίωσης για την Εκτίμηση Πλημμυρικού Ρίσκου	78
Πίνακας 5-4 Δεδομένα τα οποία παράχθηκαν για το 2ο Σενάριο με δεδομένα προσομοίωσης...	80
Πίνακας 5-5 Δεδομένα τα οποία παράχθηκαν για το 3ο Σενάριο με δεδομένα προσομοίωσης...	81

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1 Πλημμυρικό φαινόμενο στην πόλη Chongqing της Κίνας (Αύγουστος, 2020).....	2
Εικόνα 1-2 Πλημμυρικό φαινόμενο στην Εύβοια (Αύγουστος, 2020).....	2
Εικόνα 1-3 Η οικονομική ζημιά που σημειώθηκε κατά το χρονικό διάστημα 1903-2019, από πλημμυρικά φαινόμενα	5
Εικόνα 2-1 Μεθοδολογικό Πλαίσιο της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων	15
Εικόνα 2-2 Απεικόνιση της Analytic hierarchy process.....	17
Εικόνα 2-3 Πίνακας κατά ζεύγη στοιχείων a_{ij}	24
Εικόνα 2-4 Πίνακας κατά ζεύγη συγκρίσεων	25
Εικόνα 3-1 Περιοχή Μελέτης	30
Εικόνα 3-2 Λεκάνη Απορροής ποταμού Αράχθου	31
Εικόνα 3-3 ΛΑΠ Αράχθου με το σύνολο των οικισμών που την απαρτίζουν	32
Εικόνα 3-4 Κατηγορίες χρήσεων γης στη ΛΑΠ Αράχθου	33
Εικόνα 3-5 Χρήσεις γης στη ΛΑΠ Αράχθου.....	33
Εικόνα 3-6 Άρτα, Φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος για τα έτη 1981-1989	34
Εικόνα 3-7 Άρτα, Φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 1981-1989	35
Εικόνα 3-8 Άρτα, Φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος για τα έτη 1990-1998	35
Εικόνα 3-9 Άρτα, Φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 1990-1998	36
Εικόνα 3-10 Άρτα, Φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος για τα έτη 1999-2007	36
Εικόνα 3-11 Άρτα, Φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 1999-2007.....	37

Εικόνα 3-12 Σταθμός Άρτας, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος για τα έτη 2006-2015.....	37
Εικόνα 3-13 Άρτα, Φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 2006-2015.....	38
Εικόνα 3-14 Άρτα, Σταθμός Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (πρώην ΤΕΙ Ηπείρου), μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος για τα έτη 2015-2018	38
Εικόνα 3-15 Άρτα, Σταθμός Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (πρώην ΤΕΙ Ηπείρου), μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 2015-2018	39
Εικόνα 3-16 Άρτα, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος για τα έτη 1981-2018.....	39
Εικόνα 3-17 Άρτα, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 1981-2019.....	40
Εικόνα 3-18 Υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά ΛΑΠ Αράχθου	41
Εικόνα 3-19 Περιοχές εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων την περίοδο 1981-2005 συγκεντρωτικά	42
Εικόνα 3-20 Άθροισμα εμφάνισης πλημμύρας ανά μήνα και μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 1981 έως 2007.....	43
Εικόνα 3-21 Ποσοστό εμφάνισης πλημμύρας ανά μήνα για τα έτη 1981-2007.....	44
Εικόνα 3-22 Πλημμύρα 2005, ποταμός Άραχθος.....	45
Εικόνα 3-23 Πλημμύρα 2005, Φράγμα Πουρναρίου II	45
Εικόνα 3-24 Πλημμύρα 2005, Παλαιά Γέφυρα Άρτας.....	46
Εικόνα 3-25 Πλημμύρα 2015, Φράγμα Πουρναρίου.....	46
Εικόνα 3-26 Πλημμύρα 2015, Παλαιά Γέφυρα Άρτας.....	47
Εικόνα 4-1 Ιεράρχηση αποφάσεων για την Εκτίμηση Πλημμυρικού Ρίσκου	49
Εικόνα 4-2 Βροχόπτωση μίας ημέρας με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας	60
Εικόνα 4-3 Βροχόπτωση τριών ημερών με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας	61
Εικόνα 4-4 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους μαζί με τα υψόμετρα.....	64
Εικόνα 4-5 Χάρτης Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας	65

Εικόνα 4-6 Χάρτης Κλίσης Γης με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας.....	67
Εικόνα 4-7 Χάρτης Χρήσεις Γης με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας.....	70
Εικόνα 4-8 Σταθμηγράφος της νέας Γέφυρας Άρτας	71
Εικόνα 4-9 Χάρτης Απόστασης κάθε σημείου από το ποτάμι με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας	74
Εικόνα 5-1 Πρώτο σενάριο για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στη ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου με πραγματικά δεδομένα του 2015	76
Εικόνα 5-2 Δεύτερο σενάριο για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στη ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου με πραγματικά δεδομένα του 2021.	77
Εικόνα 5-3 Πρώτο σενάριο για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στη ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου.	79
Εικόνα 5-4 Δεύτερο σενάριο για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στη ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου.	80
Εικόνα 5-5 Τρίτο σενάριο για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στη ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου.	81

1. Εισαγωγή

1.1. Γενικά

Οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι, όπως οι πλημμύρες έχουν άμεσο αντίκτυπο στην κοινωνία και στην οικονομία της πληγείσας περιοχής, δημιουργώντας πολλά προβλήματα στην κοινωνία με καταστροφές δημόσιας και ιδιωτικής περιουσίας, θέτοντας πολλές φορές σε κίνδυνο ακόμα και ανθρώπινες ζωές. Παράλληλα συντελούν στη μείωση της βιοποικιλότητας πλήττοντας την ήδη επιβαρυσμένη χλωρίδα και πανίδα της χώρας.

Στη χώρα μας, μόνο τα τελευταία τρία χρόνια ακραίες πλημμύρες έπληξαν έντονα διάφορες περιοχές, όπως τη Μάνδρα Αττικής (τον Νοέμβριο του 2017), τη Χαλκιδική (τον Απρίλιο του 2020), την Εύβοια (τον Αύγουστο του 2020), την Καρδίτσα και τα Φάρσαλα (τον Σεπτέμβριο του 2020) και την Κρήτη (τον Νοέμβριο του 2020). Έχουν συμβεί σε εκτάσεις που βρίσκονται κατάντη περιοχών με μεγάλες κλίσεις, σε εκτάσεις διατρεχόμενες από διακλαδώσεις ποταμών, οι κοίτες των οποίων δεν χωρούν τις μεγάλες ποσότητες νερού που συγκεντρώνονται απότομα έπειτα από έντονες βροχοπτώσεις. Λόγω δε του απότομου ανάγλυφου της χώρας και την αποψίλωση της φυσικής βλάστησης, ο κίνδυνος εμφάνισης τέτοιων φαινομένων είναι ιδιαίτερα αυξημένος και σοβαρός. Έτσι σε ότι αφορά τις έντονες πλημμύρες γνωρίζουμε ότι δεν αποτελεί πλέον ένα πρωτόγνωρο φαινόμενο, αλλά ένα εντεινόμενο φαινόμενο που πρέπει να αντιμετωπίζεται ανάλογα.

Οι πλημμύρες αποτελούν μέρος σε μία υδρολογική λεκάνη μέρος των φυσικών υδρολογικών διεργασιών. Στην Ελλάδα, οι περισσότερες πλημμύρες προκαλούνται από σύντομες βροχοπτώσεις μεγάλης σφοδρότητας (Martini, 2007). Πολλοί παράγοντες συνηγορούν σε μία πλημμύρα, όπως η ένταση και η διάρκεια της βροχής, η τοπογραφία, η φυτοκάλυψη, η αποψίλωση, καθώς και η οικιστική ανάπτυξη (Stathopoulos, et al., 2017). Επίσης, συμβαίνουν όταν η φυσική κοίτη ή κάποιος τεχνητός αγωγός που αποστραγγίζει μία περιοχή δεν είναι εύκολο να παροχετεύσει τον όγκο νερού, ο οποίος απορρέει διαμέσου αυτού, με αποτέλεσμα να υπερχειλίζει τις όχθες του και ο όγκος του νερού να καταλαμβάνει χερσαία τμήματα (π.χ. κτήματα, οικόπεδα, δρόμους κτλ.) τα οποία συνήθως δεν είναι κατειλημμένα από νερό. Αυτή η υπερχείλιση του ύδατος δημιουργεί τεράστιες ζημιές και εν δυνάμει απειλούνται ανθρώπινες περιουσίες ακόμα και ανθρώπινες ζωές, εφόσον δεν έχουν ληφθεί μέτρα προστασίας. Οι πλημμύρες αποτελούν φαινόμενο το οποίο

εξαρτάται κατά κύριο και πιο σημαντικό λόγο από φυσικούς παράγοντες (Ward, 1967). Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως υφίσταται επίδραση από ανθρώπινο παράγοντα, οι οποίοι επηρεάζουν άμεσα, μειώνοντας την ικανότητα παροχής υδάτων (π.χ. κατασκευές παραποτάμιας, απόθεση απορριμμάτων), είτε έμμεσα (π.χ. πυρκαγιές, αστικοποίηση) (Smith, 1998).



Εικόνα 1-1 Πλημμυρικό φαινόμενο στην πόλη Chongqing της Κίνας (Αύγουστος, 2020)



Εικόνα 1-2 Πλημμυρικό φαινόμενο στην Εύβοια (Αύγουστος, 2020)

Οι πλημμύρες αποτελούν τη δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή, έπειτα από τις δασικές πυρκαγιές. Η πλημμύρα από φυσικά αίτια είτε παρουσιάζει αργή εξέλιξη, είτε ανήκει στην

κατηγορία της ξαφνικής πλημμύρας, φαινόμενο το οποίο είναι συνηθισμένο στην Ελλάδα. Στον Ελληνικό χώρο οι πλημμύρες οφείλονται σε βροχές καταρρακτώδεις, ακολουθούμενες από περιόδους υφέσεων.

Η ξαφνική πλημμύρα είναι το αποτέλεσμα των διαταραχών της ατμόσφαιρας, που συνοδεύονται από μεγάλης έντασης βροχοπτώσεις, με μεγάλα ποσοστά βροχής σε σύντομο χρονικό διάστημα. Οι ξαφνικές πλημμύρες προκαλούνται από καταιγίδες που κινούνται πάνω από την ίδια περιοχή ή κινούνται με αργούς ρυθμούς. Στις τροπικές ζώνες προκαλούνται επίσης από τυφώνες ή τροπικούς κυκλώνες. Είναι πολλοί οι παράγοντες που συνηγορούν σε μία ξαφνική πλημμύρα όπως η ένταση της βροχής, η διάρκεια της βροχής, η φυτοκάλυψη, η τοπογραφία, η καταστροφή των δασών και η αστικοποίηση.

Οι ξαφνικές πλημμύρες εμφανίζονται σε μικρό χρονικό διάστημα λίγων ωρών ή και ακόμα λιγότερο και έχουν σαν αποτέλεσμα την ταχεία άνοδο της στάθμης των υδάτων, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα στο πέρασμά τους να προκαλούνται τεράστιες καταστροφές σε κτίρια, κατασκευές, γέφυρες, να παρασύρονται αυτοκίνητα, να ξεριζώνονται δέντρα κτλ. Οι πλημμύρες που έχουν σαν αίτιο τις βροχοπτώσεις, μπορούν να προκαλέσουν καταστροφικές κατολισθήσεις.

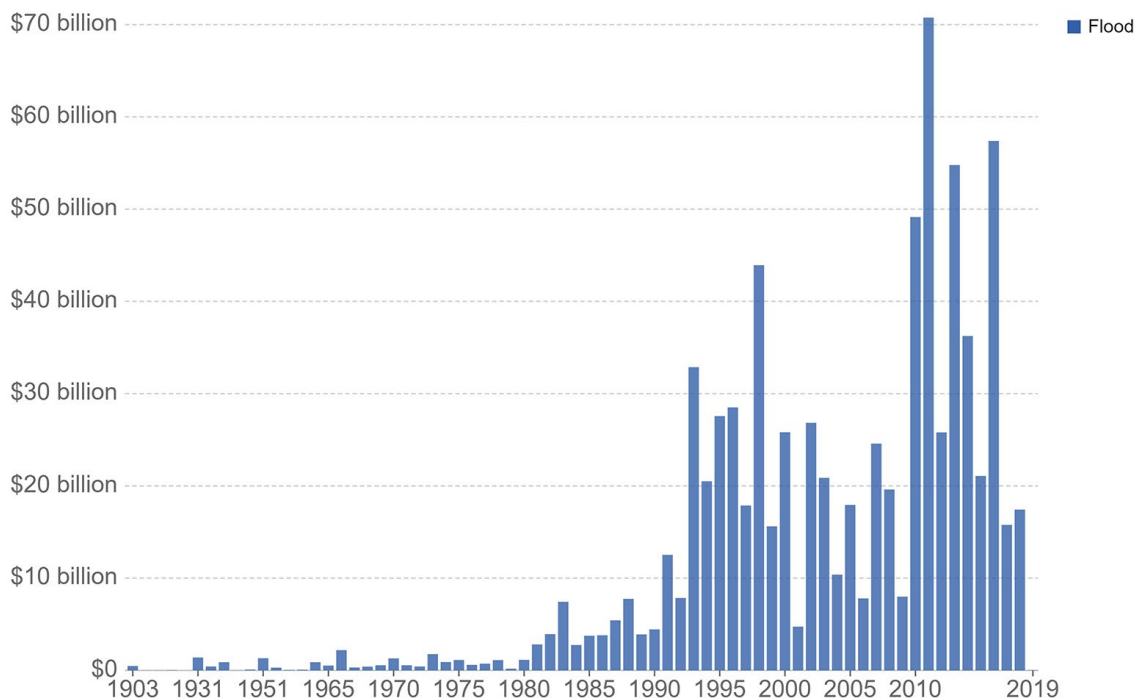
Σε ολόκληρη την Ευρώπη, αλλά πιο συγκεκριμένα στις χώρες τις Μεσογείου εκδηλώνονται κάθε χρόνο έντονα πλημμυρικά γεγονότα, με αποτέλεσμα να υπάρχουν σημαντικές επιπτώσεις τόσο σε ανθρώπινες ζωές όσο και σε υποδομές. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει αυξηθεί στην Ευρώπη σημαντικά το κόστος των επιπτώσεων των πλημμυρών (Barredo, 2009). Οι υλικές ζημιές και οι ζημιές στις υποδομές, καθώς και στην ανθρώπινη υγεία, συνεπάγονται υψηλό κόστος για την κοινωνία και την οικονομία. Το διάστημα 1980 - 2011, οι πλημμύρες έπληξαν περισσότερο από 5,5 εκατομμύρια άτομα και προκάλεσαν άμεσες οικονομικές ζημιές άνω των 90 δισ. ευρώ. Τομείς που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το επίπεδο της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων, όπως η γεωργία, η δασοκομία, η ενέργεια και ο τουρισμός πλήττονται σε σημαντικό βαθμό.

Στο μέλλον, η επίδραση της αλλαγής του κλίματος είναι πιθανό να είναι περισσότερο έκδηλη. Με την αύξηση στις συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου, αλλά και την άνοδο της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, όλος ο υδρολογικός κύκλος θα επηρεαστεί και τα ακραία γεγονότα βροχόπτωσης αναμένονται να είναι όλο συχνότερα και εντονότερα (Martini, 2007). Λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες, όλο και λιγότερα

κατακρημνίσματα θα αποθηκεύονται υπό τη μορφή χιονιού και για όλο και μικρότερο χρονικό διάστημα. Το γεγονός αυτό ενδέχεται να έχει ως αποτέλεσμα τον κίνδυνο πρόκλησης πλημμύρας σε πολλές περιοχές της Ευρώπης (Kundzewicz, Radziejewski, & Pińskwar, 2006).

Έντονα μετεωρολογικά γεγονότα που προξενούν ξαφνικές πλημμύρες εμφανίζονται όλο και πιο συχνά σε περιοχές με έντονη μορφολογία και υψηλό υψόμετρο. Οι ξαφνικές πλημμύρες είναι συχνές σε τοπικό επίπεδο, αλλά και σε Ευρωπαϊκή κλίμακα, ενώ εμφανίζονται όλο και πιο συχνά. Οι ξαφνικές πλημμύρες είναι ένας από τους πιο καταστροφικούς φυσικούς κινδύνους, από την άποψη της απώλειας ανθρώπινης ζωής. Το 2005, ξαφνικές πλημμύρες σε Βουλγαρία και Ρουμανία προκάλεσαν περισσότερες από 100 ανθρώπινες απώλειες (Tsanis, Koutroulis, Daliakopoulos, & Jacob, 2011).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1-3, οι οικονομικές ζημιές που προκλήθηκαν εξαιτίας πλημμυρών κατά το χρονικό διάστημα 1903 - 1980, βρίσκονται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα. Από το 1980 και μετά, η οικονομική ζημιά ακολούθησε αυξητική πορεία έως τη δεκαετία του 1990, όπου και ακολουθήθηκε μια πτωτική τάση μέχρι και τη δεκαετία του 2000. Για περίπου ακόμα μια δεκαετία, ακολουθήθηκε εκ νέου πτωτική τάση, μέχρι και το χρονικό διάστημα 2015 – 2016, όπου και σημειώθηκε η μεγαλύτερη οικονομική ζημιά από πλημμυρικά φαινόμενα, η οποία ανερχόταν σε 70 δισεκατομμύρια δολάρια (Ritchie, 2014).



Εικόνα 1-3 Η οικονομική ζημιά που σημειώθηκε κατά το χρονικό διάστημα 1903-2019, από πλημμυρικά φαινόμενα

1.2. Παράγοντες δημιουργίας πλημμυρών

Οι παράγοντες για την εκδήλωση πλημμυρών μπορούν να χωριστούν σε στατικούς και δυναμικούς παράγοντες. Οι στατικοί παράγοντες είναι εκείνοι που παραμένουν σταθεροί, όπως τα φυσικά χαρακτηριστικά μια λεκάνης απορροής (π.χ. γεωμορφολογία, υδροπερατότητα), αλλά και άλλοι που αλλάζουν μέσα στη διάρκεια του χρόνου σταδιακά (π.χ. βλάστηση, χρήση γης). Στους δυναμικούς παράγοντες ανήκουν οι παράμετροι αυτοί που διαφοροποιούνται κατά τη διάρκεια ενός υδρολογικού συμβάντος (π.χ. ένταση βροχής, διάρκεια βροχόπτωσης, κατεύθυνση βροχόπτωσης, κ.α.) (Wilson, 1990).

Έκταση Υδρολογικής Λεκάνης: Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας είναι η έκταση της λεκάνης που καθορίζει το κύριο όγκο των υδάτων που απορρέουν μετά από μια βροχόπτωση. Οι μικρής έκτασης λεκάνες είναι και αυτές στις οποίες εκδηλώνονται οι ξαφνικές πλημμύρες λόγω του μικρού χρόνου συγκέντρωσης.

Σχήμα Υδρολογικής Λεκάνης: Είναι ένας από τους σημαντικούς παράγοντες, καθώς καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η απορροή των υδάτων. Ο συγκεκριμένος παράγοντας σχετίζεται με τον τρόπο και τον χρόνο που όλα τα τμήματα της λεκάνης μπορούν να οδηγήσουν τα ύδατα προς την έξοδο της.

Χωρική Κατανομή βροχόπτωσης: Η χωρική κατανομή της βροχόπτωσης, αλλά πιο συγκεκριμένα η ένταση της βροχόπτωσης, καθορίζει σε σημαντικό βαθμό τον τρόπο που κάθε τμήμα της λεκάνης συνεισφέρει στην απορροή των υδάτων προς την έξοδό της. Αν μια καταιγίδα λάβει χώρα κοντά την έξοδο της λεκάνης, τότε η γρήγορη συγκέντρωση υδάτων θα οδηγήσει σε απότομη άνοδος της στάθμης αυτών.

Κίνηση Καταιγίδας: Επηρεάζει τον χρόνο στον οποίο διάφορα μέρη της λεκάνης αποστραγγίζονται έχοντας επίδραση στον χρόνο συγκέντρωσης των υδάτων και, επομένως και στη μορφή του υδρογραφήματος.

Ο εν λόγω παράγοντας επιδρά στην ταχύτητα κίνησης των υδάτων που απορρέουν στην επιφάνεια. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση, τόσο αυξάνεται και η ταχύτητα. Με την αύξηση όμως της ταχύτητας συνεπάγεται και η μείωση του χρόνου συρροής των υδάτων (Wilson, 1990).

Φυτοκάλυψη: Η φυτοκάλυψη επηρεάζει την αναλογία βροχόπτωσης – απορροής με δύο τρόπους. Αφενός, η παρουσία βλάστησης αυξάνει την κατακράτηση ποσοτήτων υδάτων, και αφετέρου, επιδρά στη μείωση της απορροής, μέσω της διαδικασίας της εξάτμισης/διαπνοής των φυτών, π.χ. από το φύλλωμα (σαφώς μικρότερος ο βαθμός επίδρασης αυτής της διαδικασίας στο συνολικό φαινόμενο).

Ένταση βροχόπτωσης: Ένας από τους σημαντικότερους δυναμικούς παράγοντες την εκδήλωση πλημμυρικού ρίσκου είναι και η ένταση της βροχόπτωσης. Οι καταιγίδες με μεγάλη ένταση και ταυτόχρονα μικρή διάρκεια δημιουργούν πολύ μεγαλύτερους όγκους απορροής σε σχέση με τις καταιγίδες μεγάλης διάρκειας ή τις καταιγίδες με μεγάλο ύψος βροχής συνολικά. Γενικά, η αύξηση της έντασης αυξάνει ταυτόχρονα και το ρυθμό κατακρημνισμάτων στη λεκάνη, δημιουργώντας κατ' αυτόν τον τρόπο άνοδο της παροχής και κατ' επέκταση του απαιτούμενου όγκου απορροής.

Υδροπερατότητα: Αποτελεί αρκετά σημαντικό παράγοντα στις υδρολογικές διεργασίες μιας λεκάνης. Όλοι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αποτελούν τη λεκάνη επιδρούν στην ποσότητα των υδάτων που απορρέουν κατά την διάρκεια μιας καταιγίδας, και επηρεάζουν σημαντικά και άλλους παράγοντες, όπως το εδαφικό κάλυμμα, την τραχύτητα του εδάφους, τη μορφολογία της κοίτης, την ανάπτυξη της φυτοκάλυψης, που με τη σειρά τους επηρεάζουν την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων. Η υδρογεωλογία της περιοχής καθορίζει την υπόγεια απορροή που ανάλογα με την κατεύθυνσή της μπορεί να οδηγήσει σε μείωση ή αύξηση της απορροής.

Ανθρώπινες παρεμβάσεις: Ο ανθρώπινος παράγοντας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις υδρολογικές διεργασίες μιας λεκάνης, καθώς επιδρά στην εκδήλωση πλημμύρας είτε με άμεσο, είτε με έμμεσο τρόπο. Στον άμεσο τρόπο περιλαμβάνεται η μείωση της παροχής των υδατορευμάτων, λόγω της κατασκευής ενός έργου ή ενός οικοδομήματος, ή στην απόθεση απορριμμάτων εντός των ρεμάτων, ενώ έμμεσο τρόπο αποτελεί μια δασική πυρκαγιά ή η αστική ανάπτυξη μέσα σε υδρολογική λεκάνη. Ο ανθρώπινος παράγοντας είναι η κύρια αιτία που έχει οδηγήσει σε αύξηση των πλημμυρών σε αστικό περιβάλλον τα τελευταία χρόνια (Guzzetti & Tonelli, 2004) με τις συνεπακόλουθες επιπτώσεις που έχει μία τέτοια καταστροφή, όπως οι οικονομικές (Barredo, 2009).

Είναι απαραίτητη στην εποχή μας η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, των κλιματικών αλλαγών, των περιβαλλοντικών κινδύνων και των πιθανών επιπτώσεων τους στον άνθρωπο. Σημαντική βοήθεια σε αυτό τον τομέα αποτελούν οι μέθοδοι Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, η παρακολούθηση της Γης μέσω δορυφορικών εικόνων και τηλεμετρικών σταθμών, καθώς και η δυνατότητα για επεξεργασία μεγάλων δεδομένων. Η σημασία της χρήσης σύγχρονων εργαλείων παρατήρησης της Γης για την εκτίμηση πλημμυρών στον ελλαδικό χώρο έχει παρουσιαστεί σε διάφορες έρευνες (Mouratidis, et al., 2012). Η χρήση των δορυφορικών δεδομένων χρησιμοποιείται όλο και πιο πολύ από τους ειδικούς για την εκτίμηση των καταστροφών. Τα δεδομένα Copernicus Sentinel παρέχουν εικόνες σε σχεδόν πραγματικό χρόνο και αποτελούν ιδιαίτερα σημαντική πληροφοριών για τους φορείς που είναι αρμόδιοι να αντιμετωπίσουν την κρίση κατά τη διάρκεια, αλλά και μετά από την εκδήλωση της πλημμύρας.

1.3. Σκοπός Έρευνας

Σκοπός της έρευνάς μας ήταν να εξετάσουμε την αποτύπωση πλημμυρικού ρίσκου στην ευρύτερη περιοχή της Άρτας, κατάντη του φράγματος Πουρνάρι 2, με σύγχρονες μεθόδους υποστήριξης αποφάσεων. Επιπλέον, στόχο αποτέλεσε η καταγραφή των περιοχών που είναι ευάλωτες σε πλημμυρικά φαινόμενα όπως ο Δήμος Νικολάου Σκουφά και πιο συγκεκριμένα τα χωριά Κομμένο, Κομπότι, Ακροποταμιά, Νεοχώρι που επλήγησαν από την εμφάνιση πλημμύρας το 2015. Η όλη διαδικασία υλοποίησης προέβλεπε χρήση δυναμικών δεδομένων αλλά και δεδομένων πραγματικού χρόνου για την δημιουργία μοντέλου, το οποίο έχει τη δυνατότητα να απεικονίζει το πλημμυρικό ρίσκο, ενώ παράλληλα να βρίσκεται σε συνεχή λειτουργία, χάρις στην άμεση ενημέρωση των δυναμικών δεδομένων που ανανεώνονται συνεχώς. Το μοντέλο τροφοδοτείται με δεδομένα χωρικά και χρονικά, με μονοδιάστατα σήματα, όπως οι βροχοπτώσεις και η στάθμη του ποταμού, αλλά και πολυδιάστατα σήματα από δορυφορικά δεδομένα, όπως το υψόμετρο, η κλίση του εδάφους, οι χρήσεις γης, αλλά και η απόσταση κάθε σημείου από το ποτάμι. Τέλος, η αναπτυγμένη μέθοδος αξιολογήθηκε με δεδομένα πραγματικά αλλά και δεδομένα προσομοίωσης.

Συνοπτικά, δημιουργήθηκε ένα χωρικό καταναμημένο μοντέλο εκτίμησης πλημμυρικού ρίσκου στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αράχθου, μέσω του οποίου εξετάστηκαν χωρικά και χρονικά δεδομένα από το διαστημικό πρόγραμμα παρατήρησης γης Copernicus στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Άρτας. Συγκεκριμένα, τα χωρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, η κλίση γης, η χρήση γης, το σχετικό ύψος και η απόσταση από τον ποταμό. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης από μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται στην περιοχή μελέτης και η στάθμη νερού του ποταμού από σταθμηγράφους που βρίσκονται σε ζωτικής σημασίας σημεία.

1.4. Δομή Έρευνας

Η Διπλωματική Εργασία αποτελείται από 7 κεφάλαια. Το πρώτο μέρος αποτελεί την εισαγωγή της έρευνας και μελέτης, και αναπτύσσει περιληπτικά το πρόβλημα των πλημμυρών. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται μεθοδολογίες ανάλυσης του κινδύνου εμφάνισης πλημμύρας και τεχνικές εφαρμογής τους, καθώς και το θεωρητικό υπόβαθρο της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μελέτη της υφιστάμενης κατάστασης καθώς και τα πλημμυρικά

επεισόδια που έχουν λάβει χώρα στην περιοχή ενδιαφέροντος, ενώ παράλληλα αναπτύσσεται το θεωρητικό πλαίσιο, καθώς και οι παράγοντες που επηρεάζουν την εκδήλωση των πλημμυρών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στη μέθοδο της ιεραρχικής ανάλυσης. Επιχειρείται περιγραφή της μεθόδου της αναλυτικής ιεράρχησης και του τρόπου λειτουργία της, ενώ εξετάζονται με διεξοδικό τρόπο τα τέσσερα βήματα της μεθόδου μέσα από την επίλυση ενός πολυκριτήριου προβλήματος απόφασης. Περιγράφονται αναλυτικά τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν, ο τρόπος συλλογής τους και η επεξεργασία τους, καθώς και τα προγράμματα και τα λογισμικά που θα χρησιμοποιηθούν, ενώ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται αξιολόγηση της χρήσης της μεθοδολογίας, τόσο σε πραγματικά δεδομένα, όσο και σε δεδομένα προσομοίωσης. Τέλος, παρουσιάζονται τα κυριότερα συμπεράσματα της μελέτης, απαντώνται τα ερωτήματα έρευνας και προτείνονται οι τομείς, όπου θεωρούμε ότι η έρευνα έχει δυνατότητες να συνεχιστεί περαιτέρω.

2. Μεθοδολογίες Εκτίμησης Πλημμυρικού Ρίσκου

Όσον αφορά την πρόβλεψη και εκτίμηση πλημμυρών σε περιοχές αστικές είναι διαθέσιμος ένας μεγάλος αριθμός από διαφορετικές μεθοδολογίες. Η καταλληλότητα των μεθοδολογιών κρίνεται από την ιδιαιτερότητα κάθε περίπτωσης, αλλά και τις απαιτήσεις που έχει πρωτίστως ως προς τη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

2.1. Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων

Ένα Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ) είναι ένα μηχανογραφημένο πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την υποστήριξη καθορισμών, κρίσεων και ενεργειών σε έναν οργανισμό ή μια επιχείρηση. Έχει την ικανότητα να αναλύει πολύ μεγάλες ποσότητες δεδομένων, συγκεντρώνοντας ολοκληρωμένες πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίλυση προβλημάτων και στη συνακόλουθη λήψη αποφάσεων. Οι τυπικές πληροφορίες που χρησιμοποιούνται από ένα ΣΥΑ περιλαμβάνουν στόχους ή προβλεπόμενα έσοδα σε πωλήσεις, εφόσον χρησιμοποιείται από επιχειρήσεις.

Τα ΣΥΑ αποτελούνται από τρία συστατικά μέρη που αλληλοεπιδρούν και ορίζονται ως συστήματα βασισμένα σε υπολογιστές (Bonczek, Holsapple, & Whinston, Foundations of Decision Support Systems, 1981). Τα μέρη αυτά είναι ένα σύστημα επικοινωνίας μεταξύ του χρήστη και των άλλων μερών του ΣΥΑ, δηλαδή είναι ένα σύστημα που διαθέτει πληροφορίες σχετικά με την απόφαση που πρέπει να λάβουμε ανάλογα με το πρόβλημα, οι οποίες πληροφορίες μπορεί να έχουν τη μορφή διαδικασιών ή δεδομένων. Αναφέρεται ως καταστάσεις στα ΣΥΑ ο Keen, όπου ένα τελικό σύστημα μπορεί να αναπτυχθεί μέσα από μια διαδικασία μάθησης και εξέλιξης (Keen & Morton, 1978).

Ο κατασκευαστής του ΣΥΑ, οι χρήστες του ΣΥΑ και το ίδιο το ΣΥΑ αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και συμβάλλουν μαζί στην εξέλιξη του συστήματος. Τα ΣΥΑ εμφανίστηκαν τη δεκαετία του 1970 ως συστήματα που χρησιμοποιούσαν μαθηματικά μοντέλα και δεδομένα που στόχο είχαν να βοηθήσουν ανθρώπους στη λήψη αποφάσεων. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και του χρόνου, αναπτύχθηκαν και άλλα συστήματα με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως οι Βάσεις Δεδομένων και νέοι κλάδοι της Πληροφορικής, όπως η Εξόρυξη Δεδομένων, οι οποίοι δεν είναι ΣΥΑ, όμως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων.

2.1.1. Ειδικά Χαρακτηριστικά και Χρησιμότητα των ΣΥΑ

Ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων συλλέγει και αναλύει δεδομένα, συνθέτοντάς τα για να παράγει ολοκληρωμένες αναφορές πληροφοριών και να εξάγει συμπεράσματα και να προτείνει συγκεκριμένες ενέργειες. Με αυτόν τον τρόπο, ως ενημερωτική εφαρμογή, ένα ΣΥΑ διαφέρει από μια συνηθισμένη εφαρμογή, η λειτουργία του οποίου είναι απλώς η συλλογή δεδομένων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να συνδυάζει και τα δύο. Τα ιδανικά συστήματα αναλύουν πληροφορίες και λαμβάνουν πραγματικές αποφάσεις για τον χρήστη, ενώ επιτρέπουν στους χρήστες να λαμβάνουν πιο ενημερωμένες αποφάσεις με ταχύτερο ρυθμό.

Τα ΣΥΑ είναι ειδικά σχεδιασμένα πληροφοριακά συστήματα έτσι ώστε να παρέχουν υποστήριξη σε ανθρώπους που λαμβάνουν αποφάσεις. Για να παρέχουν ορθά υποστήριξη θα πρέπει να διαθέτουν ειδικά χαρακτηριστικά και λειτουργίες, οι οποίες να τα καθιστούν χρήσιμα με συγκεκριμένους τρόπους.

Πρόσβαση σε δεδομένα: Ο χρήστης του συστήματος θα πρέπει να μπορεί να αντλεί πληροφόρηση από δεδομένα που υπάρχουν σε πραγματικό χρόνο, αλλά και αποθηκευμένα σε βάσεις δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να προέρχονται από πολλές διαφορετικές πηγές. Τα δεδομένα είναι αναγκαία για την κατανόηση της παρούσας πραγματικής κατάστασης και περιέχουν πολλές χρήσιμες πληροφορίες. Τα αρχεία για παράδειγμα που εκχωρούνται από τράπεζες περιέχουν δεδομένα για το ύψος των δανείων που λαμβάνουν οι πελάτες τους, αλλά και πολλές άλλες σημαντικές πληροφορίες.

Ημιδομημένα και αδόμητα προβλήματα: Η χρήση εργαλείων που διαθέτει η πληροφορική για τη λύση δομημένων προβλημάτων είναι σχετικά απλή. Τα ΣΥΑ δεν περιορίζονται μόνο σε αυτό, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λύση ημιδομημένων ή και αδόμητων προβλημάτων.

Χρήση από ομάδες και από άτομα: Τα ΣΥΑ παρέχοντας διάφορα εργαλεία υποστηρίζουν ατομικές αποφάσεις. Οι περισσότερες αποφάσεις όμως λαμβάνονται από ομάδες και επιτρέπουν τη συνεργασία πολλών ατόμων για τη λήψη αποφάσεων.

Ευελιξία και προσαρμοστικότητα: Τα ΣΥΑ πρέπει να επιτρέπουν στον χρήστη να τα προσαρμόζει στο δικό του τρόπο εργασίας. Επίσης, πρέπει να είναι ικανά να ανταποκρίνονται στις ολοένα μεταβαλλόμενες συνθήκες του πραγματικού κόσμου. Ο κάθε χρήστης θα πρέπει να μπορεί

να μεταβάλλει, να διαγράφει και να προσθέτει μοντέλα και λειτουργικότητες, έτσι ώστε να προσαρμόζει το σύστημα στις νέες απαιτήσεις με γρήγορο και εύκολο τρόπο.

Διαδραστικότητα: Η διαδραστικότητα είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των ΣΥΑ, όπου ο χρήστης πλοηγείται στο σύστημα, υποβάλλει ερωτήσεις, βλέπει τα δεδομένα, προβάλλει τα δεδομένα, εκτελεί διάφορες αναλύσεις, χρησιμοποιεί διάφορα μοντέλα ή και τα συνδυάζει.

Μοντελοποίηση: Ένα βασικό χαρακτηριστικό είναι η αναπαράσταση περιπτώσεων λήψης αποφάσεων με τη χρήση μοντέλων. Η ύπαρξη των μοντέλων είναι αυτή που διαφοροποιεί ένα ΣΥΑ από άλλα πληροφοριακά συστήματα. Τα ΣΥΑ διαθέτουν μια μεγάλη συλλογή από μοντέλα. Επιπλέον, επιτρέπουν στον χρήστη να κατασκευάσει πρόσθετα μοντέλα ή να συνδυάσει επιμέρους μοντέλα για την κατασκευή ενός πιο σύνθετου μοντέλου. Ο χρήστης κάνει χρήση μοντέλων και πειραματίζεται με διάφορα σενάρια.

Αυτοματοποίηση αποφάσεων: Η μοντελοποίηση των προβλημάτων μπορεί να καταστήσει εφικτή την αυτοματοποίηση ορισμένων αποφάσεων. Κάποιες περιπτώσεις τυποποιούνται και μεταφράζονται/ μετασχηματίζονται σε συγκεκριμένες αποφάσεις.

Το ΣΥΑ μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις υπηρεσίες διαχείρισης και άλλα τμήματα σχεδιασμού σε έναν οργανισμό για να συγκεντρώσει πληροφορίες και δεδομένα και να τα συνθέσει σε ενεργή νοημοσύνη. Στην πραγματικότητα, τα συγκεκριμένα συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως από τη μεσαία έως την ανώτερη διαχείριση. Ο πρωταρχικός σκοπός της χρήσης ενός ΣΥΑ είναι η παρουσίαση πληροφοριών με έναν εύκολο και κατανοητό τρόπο. Ένα σύστημα ΣΥΑ είναι επωφελές επειδή μπορεί να προγραμματιστεί για τη δημιουργία πολλών τύπων αναφορών, όλες με βάση τις προδιαγραφές του χρήστη, για παράδειγμα, ένα ΣΥΑ μπορεί να παράγει πληροφορίες.

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, η ανάλυση δεδομένων δεν περιορίζεται πλέον σε μεγάλους, ογκώδεις υπολογιστές mainframe. Δεδομένου ότι ένα ΣΥΑ είναι ουσιαστικά μια εφαρμογή, μπορεί να φορτωθεί στα περισσότερα συστήματα υπολογιστών, είτε σε επιτραπέζιους, είτε σε φορητούς υπολογιστές. Ορισμένες εφαρμογές ΣΥΑ είναι επίσης διαθέσιμες μέσω κινητών συσκευών. Η ευελιξία του ΣΥΑ είναι εξαιρετικά επωφελής για χρήστες που ταξιδεύουν συχνά. Αυτό τους δίνει την ευκαιρία να είναι καλά ενημερωμένοι ανά πάσα στιγμή, παρέχοντας τη δυνατότητα να λαμβάνουν τις καλύτερες αποφάσεις εν κινήσει ή ακόμα και επί τόπου.

2.1.2. Εφαρμογές των ΣΥΑ στην εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου

Οι καταστροφές από τις πλημμύρες έχουν τεράστιο αντίκτυπο στην ανθρώπινη ευημερία, θέτοντας σε κίνδυνο σημαντικούς στόχους κοινωνικής ανάπτυξης, όπως η αντιμετώπιση της φτώχειας, η εξασφάλιση επαρκούς τροφής, νερού και αποχέτευσης και η προστασία του περιβάλλοντος. Σε πολλές περιοχές του κόσμου, οι πλημμύρες είναι ένας συχνός, διαδεδομένος, καταστροφικός και εντεινόμενος φυσικός κίνδυνος.

Το ΣΥΑ με όνομα RAMFLOOD (Bladé Castellet, και συν., 2006) κατασκευάστηκε για την εκτίμηση κινδύνου και τη διαχείριση σεναρίων έκτακτης ανάγκης λόγω σοβαρών πλημμυρών. Το RAMFLOOD συνδυάζει περιβαλλοντικά και γεωφυσικά δεδομένα από τη γεωσκόπηση με προηγμένη προσομοίωση υπολογιστή, μεθόδους γραφικής απεικόνισης και τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης για τη δημιουργία χρήσιμων γνώσεων που συμβάλλουν στην εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας και την πρόληψη των πλημμυρών. Ο στόχος του συστήματος RAMFLOOD που πραγματοποιήθηκε ήταν να αναπτύξει ένα νέο ΣΥΑ για να βοηθήσει τους δημόσιους διαχειριστές και τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης στην εκτίμηση κινδύνου πλημμύρας και στη διαχείριση διαφορετικών σεναρίων έκτακτης ανάγκης στην περιοχή της πλημμύρας. Το σύστημα ενσωματώνει την απόκτηση δεδομένων από δορυφορικές εικόνες και ταξινόμηση εικόνων, ολοκληρωμένη υδροδυναμική μοντελοποίηση σε μία και δύο διαστάσεις, τεχνητή νοημοσύνη και προηγμένη γραφική απεικόνιση.

Το ΣΥΑ REDES (Ahmad & Simonovic, 2006) περιγράφει την ανάπτυξη σχεδίου για την δημιουργία απόφασης διαχείρισης πλημμυρών κατά το στάδιο αντιμετώπισης και ολοκληρωμένη υποστήριξη στη λεκάνη απορροής του Κόκκινου Ποταμού που πηγάζει από τη Μινεσότα και ρέει βόρεια προς τον Καναδά. Στόχος του συστήματος REDES ήταν να ενισχύσει τον σχεδιασμό ετοιμότητας, την ανταπόκριση και την πρόβλεψη πλημμυρών σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης, χρησιμοποιώντας υδρολογικά μοντέλα, μοντέλα ψηφιακού εδάφους και μεταδεδομένα της λεκάνης απορροής του ποταμού.

Στο πλαίσιο του Project Assisted Hydrology Project II, τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο (RT-DSS) έχουν αναπτυχθεί και υλοποιηθεί στη λεκάνη Bakra Bias (Punjab, HP) και στη λεκάνη Krishna-Bhima (Maharashtra) της Ινδίας. Είναι ένα σύστημα απόκτησης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (RTDAS) που αποτελείται από δίκτυο τηλεμετρίας

βροχοπτώσεων και χιονιού στις λεκάνες απορροής και μέτρηση τη στάθμης του νερού κατά μήκος ποταμών, ταμιευτήρων, κλπ.

Η Μελέτη που έγινε στην περιοχή της λεκάνης απορροής Quang Nam του Βιετνάμ, παρέχει μια ολοκληρωμένη σειρά εργαλείων για υδραυλικά μοντέλα βροχόπτωσης και απορροής. Το σύστημα αυτό εφαρμόστηκε στο πλαίσιο πολύπλοκων σεναρίων με υδραυλικά χαρακτηριστικά, όπως οι βροχοπτώσεις και τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης (Hong, και συν., 2020).

2.2. Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων & Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (AHP)

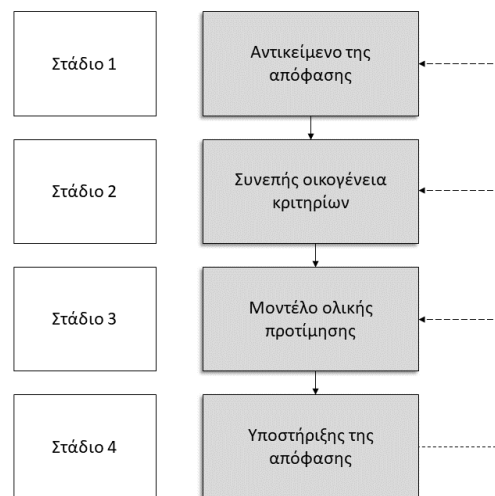
2.2.1. Λήψη Αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων (Multiple-Criteria Decision Analysis, MCDA) είναι ένα χώρος της Επιχειρησιακής Έρευνας όπου εξελίσσεται τα τελευταία χρόνια και γνωρίζει πολύ μεγάλη άνθιση. Ένας βασικός λόγος στην ανάπτυξη και διάδοση της πολυκριτηριακής ανάλυσης ήταν η επίλυση σημαντικών και ιδιαίτερα πολύπλοκων προβλημάτων λήψης αποφάσεων που ήταν ανέφικτο να δινόταν λύση με μία μονόπλευρη ή μονοδιάστατη ανάλυση.

Οι μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων έχουν σχεδιαστεί για να προσδιορίσουν μια προτιμώμενη εναλλακτική λύση, να ταξινομήσουν τις εναλλακτικές λύσεις σε έναν μικρό αριθμό κατηγοριών ή / και να ταξινομήσουν τις εναλλακτικές με μια υποκειμενική σειρά προτιμήσεων. Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποφάσεων είναι ένας γενικός όρος για όλες τις μεθόδους που υπάρχουν για να βοηθούν τους ανθρώπους να λαμβάνουν αποφάσεις σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους, σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν περισσότερα από ένα αντικρουόμενα κριτήρια. Η χρήση της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων μπορεί να θεωρηθεί τρόπος αντιμετώπισης σύνθετων προβλημάτων χωρίζοντας τα προβλήματα σε μικρότερα κομμάτια με βάση ορισμένες εκτιμήσεις, ενώ τα κομμάτια αυτά συναρμολογούνται ξανά για να παρουσιάσουν μια συνολική εικόνα. Οι περισσότερες από τις μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης ασχολούνται με διακριτές εναλλακτικές λύσεις, οι οποίες περιγράφονται από ένα σύνολο κριτηρίων. Οι τιμές των κριτηρίων μπορούν να προσδιοριστούν ως βασικές πληροφορίες. Οι πληροφορίες θα μπορούσαν να προσδιοριστούν ακριβώς ή θα μπορούσαν να είναι ασαφείς, ή προσδιορισμένες σε διαστήματα.

Οι σύγχρονες μέθοδοι MCDA επιτρέπουν στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να αντιμετωπίζουν όλους τους προαναφερόμενους τύπους πληροφοριών.

Κύριο αντικείμενο της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων είναι η ανάπτυξη όλων των βασικών παραμέτρων ενός προβλήματος, ώστε να δοθεί η ανάλογη υποστήριξη σε αυτόν που αποφασίζει για την ορθότητα των αποφάσεων του. Είναι ιδιαίτερα περίπλοκη η επίτευξη του στόχου αυτού και σίγουρα μία διαδικασία ιδιαίτερα περίπλοκη. Απαιτείται καλή γνώση του προβλήματος ώστε κάποιος να είναι σε θέση να πάρει μία απόφαση, της ανάγκης και του σκοπού της απόφασης, καθώς και των παραγόντων που επηρεάζουν αυτή την απόφαση. Η επίτευξη του στόχου αυτού είναι προφανώς μια ιδιαίτερα πολύπλοκη διαδικασία, η οποία οδηγεί σε ικανοποιητικές λύσεις οι οποίες ανταποκρίνονται στις ανάγκες των αρμόδιων λήψης αποφάσεων. Ο Roy (Roy, 1996) παρουσίασε ένα γενικό πλαίσιο αντιμετώπισης προβλημάτων λήψης αποφάσεων. Στην Εικόνα 2-1, όπου απεικονίζεται η ραχοκοκαλιά κάθε προσέγγισης πολυκριτηριακής ανάλυσης, η διαδικασία ανάλυσης των προβλημάτων λήψης αποφάσεων περιλαμβάνει τέσσερα στάδια.



Εικόνα 2-1 Μεθοδολογικό πλαίσιο της πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων

Στάδιο 1, Αντικείμενο της απόφασης:

Κατά το Στάδιο 1, ο υπεύθυνος της λήψης αποφάσεων θα πρέπει να ανιχνεύει συνεχώς ή ανά τακτά χρονικά διαστήματα το περιβάλλον για τον εντοπισμό προβλημάτων. Η φάση αυτή αρχίζει

με τη μελέτη του στόχου και του σκοπού της απόφασης. Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά τον προσδιορισμό του προβλήματος, ώστε να ορισθεί το πρόβλημα επακριβώς και να μην υπάρξει ανάγκη να συμπεριληφθούν άλλα κριτήρια στην πορεία ανάπτυξης της μεθόδου.

Στάδιο 2, Συνεπής οικογένεια κριτηρίων:

Κατά τη διάρκεια του Σταδίου 2, δημιουργούνται και αναλύονται εναλλακτικά σχέδια δράσης για την επίλυση του προβλήματος. Στη φάση αυτή αναπτύσσονται μαθηματικά, στατιστικά, καθώς και τεχνητής νοημοσύνης μοντέλα, κ.α. Εφαρμόζονται μέθοδοι και τεχνικές ανάλυσης δεδομένων με τις οποίες διερευνώνται οι επιδράσεις διάφορων παραγόντων πάνω στη λύση του προβλήματος.

Στάδιο 3, Μοντέλο ολικής προτίμησης:

Ακολουθεί το Στάδιο 3 κατά το οποίο εξετάζονται και αξιολογούνται όλες οι εναλλακτικές λύσεις του προβλήματος. Ο διαχωρισμός του Σταδίου 2 και του Σταδίου 3 πολλές φορές δεν είναι τόσο ορατός. Αυτό συμβαίνει διότι ορισμένες φορές χρειάζεται να αναθεωρηθεί κάποιο μοντέλο ή κριτήριο απόφασης που έχει καθορισθεί κατά το Στάδιο 2, ενώ έχει ήδη ξεκινήσει το Στάδιο 3 και η φάση της επιλογής. Σε ορισμένες περιπτώσεις η τέλεια λύση δεν είναι εφικτή (Horitta, 2015).

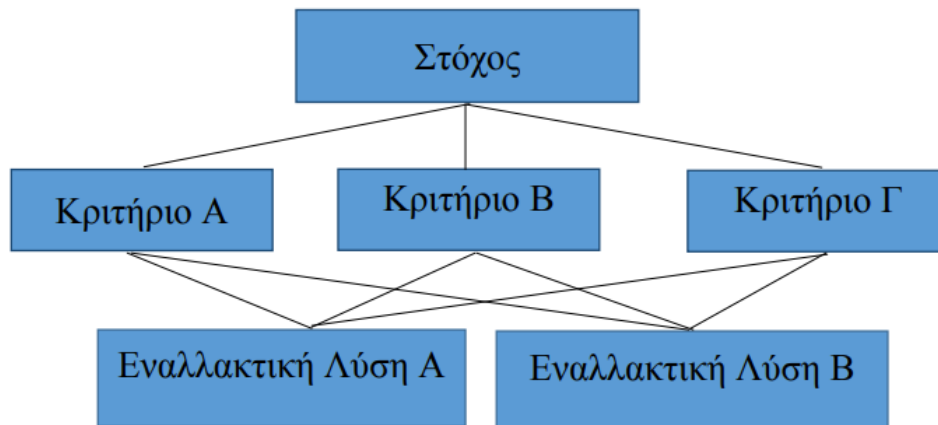
Στάδιο 4, Υποστήριξη της απόφασης:

Στο τέταρτο Στάδιο της διαδικασίας λαμβάνουν χώρα όλες εκείνες οι δραστηριότητες οι οποίες θα βοηθήσουν αυτόν που λαμβάνει την απόφαση να κατανοήσει τα αποτελέσματα του υποδείγματος σύνθεσης των κριτηρίων που επελέγη στον προηγούμενο στάδιο, καθώς και τη διαδικασία με την οποία εξήχθησαν τα αποτελέσματα αυτά. Σε αυτό το στάδιο ο ρόλος του αναλυτή είναι πολύ καθοριστικός. Μεταξύ άλλων, πρέπει να εντοπίσει και να οργανώσει τα στοιχεία των απαντήσεων σε συγκεκριμένα ερωτήματα. Έτσι, ο ειδικός θα είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει με επιτυχία τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Μία τέτοια μέθοδος είναι η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία που δημιούργησε ο Saaty (Saaty R. W., 1987). Η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία απλοποιεί τα πολύπλοκα προβλήματα βοηθώντας αυτόν που παίρνει και την τελική απόφαση να ξεχωρίζει τα σημαντικότερα σημεία του προβλήματος από τα λιγότερο σημαντικά, αλλά όχι αμελητέα, έτσι ώστε να φτάσει η εφαρμογή της μεθόδου στην τελική της μορφή, επιλέγοντας έπειτα την αντίστοιχη ενέργεια.

2.2.2. Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία

Η Ιεραρχική Ανάλυση Αποφάσεων (Analytic Hierarchy Process) στοχεύει στην κατασκευή ρεαλιστικών μοντέλων λήψης αποφάσεων. Ένα μοντέλο για να μπορεί να είναι ρεαλιστικό είναι και απαραίτητο να προσμετρά όλους τους παράγοντες που συμμετέχουν στη λήψη της απόφασης. Η AHP συγκαταλέγεται στις μεθόδους λήψης αποφάσεων πολυσταδιακών ως προς τα κριτήρια προβλημάτων, γνωστές και ως Multi Attribute Decision Methods. Μέσα από τη λήψη αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων εντοπίζονται οι παράγοντες που απαιτούν προσοχή, θέτονται στόχοι, σχεδιάζονται εναλλακτικές αποφάσεις και προβλέπονται τα αποτελέσματα όλων αυτών.



Εικόνα 2-2 Απεικόνιση της Analytic hierarchy process

Η AHP δεν μετρά τον κάθε παράγοντα που αλληλοεπιδρά με κάποια εναλλακτική απόφαση ή κάποιο κριτήριο μεμονωμένα, αλλά σε σχετική σύγκριση με κάποιον αντίστοιχο παράγοντα. Δηλαδή βαθμολογεί την σημαντικότητα του ενός παράγοντα σε σύγκριση με την σημαντικότητα κάποιου άλλου. Ουσιαστικά βασίζεται αποκλειστικά στις δυαδικές συγκρίσεις που μέσα από την κλίμακα του Saaty παρέχουν μετρήσιμο αποτέλεσμα.

Λόγω της υποκειμενικότητας που υπεισέρχεται είναι σημαντικό να πραγματοποιηθεί προσεκτική μελέτη στη συνέπεια της κρίσης και της εγκυρότητας της. Στην AHP ο έλεγχος συνέπειας παίζει πολύ σημαντικό ρόλο πριν την αποδοχή οποιουδήποτε αποτελέσματος.

2.2.2.1. Βασική Δομή της AHP

Η δομή της μεθόδου ξεκινά διαχωρίζοντας το πρόβλημα σε μικρότερα κομμάτια και στη συνέχεια χρησιμοποιεί δυαδικές συγκρίσεις έτσι ώστε να καθορίσει τις προτεραιότητες σε κάθε ιεραρχία. Η λύση προβλημάτων λήψης αποφάσεων τις τελευταίες δεκαετίες αντιμετωπίζεται μέσα από την προσέγγιση των συστημάτων, κυρίως για προβλήματα που αφορούν τις κοινωνικές επιστήμες. Η Ιεραρχία είναι ένας ιδιαίτερος τύπος συστήματος, που βασίζεται στην υπόθεση ότι οι οντότητες που έχουν προσδιοριστεί μπορούν να ομαδοποιηθούν σε ασυνεχή σύνολα.

Το βασικό πρόβλημα σε μια ιεραρχία είναι η επιδίωξη εξαγωγής πληροφορίας και γνώσης στα υψηλότερα επίπεδα μέσω των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στα επίπεδα και όχι απευθείας στα στοιχεία που περιλαμβάνει κάθε πεδίο. Θεωρητικά η πιο απλή μορφή ιεραρχίας είναι η γραμμική. Στην πράξη δεν υπάρχει καθορισμένη διαδικασία για την παραγωγή των στόχων, των κριτηρίων και των εναλλακτικών ενεργειών που πρέπει να περιλαμβάνονται σε μία ιεραρχία ή ακόμη και σε ένα πιο γενικό σύστημα.

Αυτό εξαρτάται από τη φύση του προβλήματος και πως θα επιλέξει ο καθένας για την αποσύνθεση της πολυπλοκότητας του συστήματος. Η λειτουργική αναπαράσταση ενός συστήματος διαφέρει από άτομο σε άτομο. Η συνήθης δομή μιας ιεραρχίας ξεκινά βάζοντας στην κορυφή τους τελικούς στόχους. Στο δεύτερο επίπεδο βρίσκονται οι επιμέρους στόχοι και οι περιορισμοί των διαφόρων παραγόντων είναι το τρίτο επίπεδο. Στη συνέχεια υπάρχει το επίπεδο με τους παράγοντες για τους οποίους υπάρχει ενδιαφέρον, το οποίο ακολουθείται από τις αντικειμενικές έννοιες/στόχους των παραγόντων του προβλήματος. Στη συνέχεια, απαντάται το επίπεδο με τις πολιτικές που όρισαν οι αντίστοιχες αντικειμενικές, και στο τέλος το επίπεδο που συνοψίζει τα πιθανά αποτελέσματα του προβλήματος.

2.2.2.2. Σχετικές Συγκρίσεις Κριτηρίων

Η μέθοδος AHP βασίζεται στις σχετικές συγκρίσεις ανάμεσα στα κριτήρια, ώστε να εξάγει ένα αποτέλεσμα μετρήσιμο για τη σύνθεση προτεραιοτήτων. Η πραγματοποίηση άμεσων συγκρίσεων των αντικειμένων που είναι προς μέτρηση με μια σταθερή βάση αποτελεί θεμελιώδη μαθηματική διαδικασία για την εξαγωγή μετρήσεων. Η μέτρηση των αντικειμένων στην αρχή με μία από τις κλίμακες που είναι γνωστές και ύστερα η σύγκριση των μετρήσεων λειτουργεί μόνο για την περίπτωση όπου υπάρχει η αντίστοιχη θεμελιώδης κλίμακα. Η διαδικασία λήψης αποφάσεων έχει

την εξής έννοια: μετρά οντότητες αντικειμενικά, αλλά ερμηνεύει την σημασία αυτών υποκειμενικά. Αυτό οφείλεται στην ποικιλομορφία των διάφορων επιρροών που υπάρχουν σε κάθε πρόβλημα λήψης αποφάσεων. Για τη δόμηση ενός προβλήματος χρειάζεται η ορθή και εις βάθος κατανόηση του προβλήματος και εν συνεχεία να γίνουν οι κρίσεις που θα ορίσουν τις προτεραιότητες.

Στη λήψη αποφάσεων οι αναλυτές και οι ερευνητές καλούνται να μετρήσουν παράγοντες και κριτήρια που είναι μεταβλητά, ανάλογα με τις αξίες και την κατάσταση του κάθε ατόμου. Η σημασία τέτοιων παραγόντων πρέπει να προσδιορίζεται ατομικά, καθώς οι συγκρίσεις είναι σχετικές και δεν μπορούν να αντικατασταθούν από μετρήσεις καμίας θεμελιώδους κλίμακας. Μέσω των συγκρίσεων δημιουργείται μια κλίμακα προτεραιοτήτων οι οποίες παρέχουν σχετικές τιμές, οπότε η διαδικασία αρχίζει με την κρίση του αποφασίζοντος και ακολουθούν οι εξαγόμενες από αυτήν προτεραιότητες.

2.2.2.3. Κλίμακα Saaty

Ένα σημαντικό κομμάτι για την Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία είναι οι δυαδικές συγκρίσεις που πραγματοποιούνται ανάμεσα στα κριτήρια και τα βάρη που εξάγονται από αυτές. Οι συγκρίσεις βασίζονται, ωστόσο, στον χρήστη της μεθόδου και αρκετές φορές σε κριτήρια τα οποία είναι ακαθόριστα. Ο Saaty πρότεινε αντί να χρησιμοποιούνται δύο αριθμοί W_i και W_j (δηλαδή ο λόγος W_i/W_j) από μία κλίμακα κατά την πραγματοποίηση των συγκρίσεων, να καθορίζεται η σύγκριση εντός μία θεμελιώδους κλίμακα απόλυτων αριθμών, η οποία θα αντιπροσωπεύει τον αντίστοιχο λόγο. Ο αριθμός αυτός αποτελεί μια καλή προσέγγιση του λόγου W_i/W_j και η κλίμακα που παράγεται θα παρέχει πληροφορίες για τους αριθμούς W_i και W_j , θα αποκαλύπτει ουσιαστικά τα βάρη για τα συγκρινόμενα μέρη.

Η κλίμακα αυτή προέρχεται από βασικές αρχές και αξιώματα. Τα αξιώματα για την εξαγωγή της κλίμακας για τη θεμελιώδη μέτρηση των συγκρίσεων θα παρουσιαστούν στην πορεία, δηλαδή η αξιωματική θεμελίωση της μεθόδου όπως δημοσιεύθηκε από τον Saaty το 1986 (Saaty R. W., 1987), καθώς και η κλίμακα των απόλυτων αριθμών η οποία χρησιμοποιείται στις δυαδικές συγκρίσεις που μπορεί να προκύψει από μαθηματική άποψη από τον νόμο των Weber - Fechner (Fechner, 1966)

Ένταση της Σχετικής Σημασίας	Ορισμός	Ερμηνεία
1	Ίση Βαρύτητα	Δυο δραστηριότητες συνεισφέρουν εξίσου στον στόχο
3	Μέτρια βαρύτητα του ενός στοιχείου ως προς ένα άλλο	Η εμπειρία και η κρίση ευνοούν σημαντικά μια δραστηριότητα έναντι της άλλης
5	Σημαντική βαρύτητα του ενός στοιχείου ως προς ένα άλλο	Μια δραστηριότητα ευνοείται ισχυρά και η κυριαρχία της εκδηλώνεται στην πράξη.
7	Εκδηλωμένη βαρύτητα	Μια δραστηριότητα ευνοείται ισχυρά και η κυριαρχία της εκδηλώνεται στην πράξη
9	Μέγιστη βαρύτητα	Οι λόγοι που ευνοούν τη μια δραστηριότητα έναντι της άλλης είναι του υψηλότερου δυνατού βαθμού επιβεβαίωσης
2,4,6,8	Ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα σε δύο παρακείμενες κρίσεις	Όταν απαιτείται συμβιβασμός
Αντίστροφοι των παραπάνω μη-μηδενικών αριθμών	Αν σε μια δραστηριότητα αντιστοιχίζεται ένας από τους παραπάνω αριθμούς, όταν αυτή συγκρίνεται με μια δεύτερη δραστηριότητα, τότε η δεύτερη έχει την αντίστροφη τιμή όταν συγκρίνεται με την πρώτη	
Λογικοί Αριθμοί	Αναλογίες που προκύπτουν από την κλίμακα.	Αν επιβαλλόταν η συνέπεια λαμβάνοντας n αριθμητικές τιμές για τον σχηματισμό του πίνακα

Πίνακας 2-1 Προτεινόμενη Κλίμακα Συγκρίσεων

Το 1846 ο Weber μετά από ένα πείραμα που έκανε παρατήρησε ότι οι άνθρωποι κρατώντας στα χέρια τους αντικείμενα διάφορων βαρών, μπορούσαν να καταλάβουν τη διαφορά ενός αντικειμένου 20 γραμμαρίων και ενός αντικειμένου 21 γραμμαρίων, αλλά εάν το δεύτερο αντικείμενο ζύγιζε 20,5 γραμμάρια η διαφορά βάρους δεν γίνονταν αντιληπτή. Σε αντικείμενα

όμως μεγαλύτερου βάρους δεν μπορούσαν οι άνθρωποι να διαχωρίσουν τα αντικείμενα βάρους 40 γραμμαρίων και 41 γραμμαρίων, αλλά μπορούσε να καταλάβει εάν το δεύτερο αντικείμενο ζύγιζε 42 γραμμάρια.

Μελετώντας λοιπόν, ένα ερέθισμα s , το οποίο έχει μετρήσιμο μέγεθος, τότε το s πρέπει να αυξηθεί κατά ελάχιστο Δs , έτσι ώστε να φτάσει σε ένα σημείο όπου οι ανθρώπινες αισθήσεις να είναι σε θέση να διαχωρίσουν το s και το $s + \Delta s$. Η τιμή Δs ονομάζεται παρατηρηθείσα διαφορά. Ο λόγος $r = \Delta s/s$ είναι ανεξάρτητος από το s . Ο νόμος του Weber αναφέρει ότι η αλλαγή στην αίσθηση παρατηρείται όταν το ερέθισμα αυξάνεται κατά ένα σταθερό ποσοστό του ίδιου του ερεθίσματος. Ο νόμος αυτός ισχύει για περιπτώσεις όπου η ποσότητα Δs είναι μικρή συγκριτικά με το s , ωστόσο στην πράξη δεν ισχύει όταν το s είναι πολύ μικρό ή πολύ μεγάλο. Η ομαδοποίηση ή η αποσύνθεση των ερεθισμάτων είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για την επέκταση της χρήσης του νόμου του Weber.

Ο Saaty κατέληξε σε ένα σύνολο S πεπερασμένων πραγματικών θετικών αριθμών, όπου ο καθένας από αυτούς δίνει ένα μέτρο της σχετικής σημασίας δύο παραγόντων στη γνώμη του ειδικού που αποφασίζει. Το S σύνολο, είναι πεπερασμένο όχι μόνο για λόγους προτυποποίησης της μελέτης μέσω σύγκρισης, αλλά επίσης για την αποφυγή δημιουργίας της εντύπωσης ότι η ανθρώπινη κρίση του αποφασίζοντα μπορεί να κάνει αυθαίρετα οποιαδήποτε σύγκριση ανεξάρτητα από την ανομοιογένεια των συγκρινόμενων μερών. Ο Saaty δίνει τον πίνακα που ακολουθεί:

$$S = \{1/9, 1/7, 1/5, 1/3, 1, 3, 5, 7, 9\}$$

ο οποίος μπορεί να βελτιωθεί με τις ενδιαμέσες τιμές

$$\left\{ \frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \frac{1}{7}, \dots, 1, \dots, 7, 8, 9 \right\}$$

Παραθέτουμε τους λόγους που ορίζουν το εννιά (9) ως ανώτατο όριο:

- Οι ποιοτικές συγκρίσεις έχουν νόημα στην πράξη και παρέχουν ακρίβεια όταν τα προς σύγκριση στοιχεία είναι της ίδιας τάξης μεγέθους ή γειτονικής όσον αφορά την ιδιότητα τους στην οποία βασίζεται η σύγκριση. Απαιτείται λοιπόν ομοιογένεια ανάμεσα στα συγκρινόμενα μέρη. Σημειώνεται ότι η ικανότητα του ανθρώπινου νου να εντοπίζει

ποιοτικές διαφορές κατά την σύγκριση, αντιπροσωπεύεται στην ουσία από πέντε χαρακτηρισμούς: ίση, ασθενής, δυνατή, ισχυρή και απόλυτη. Μπορούν να γίνουν συμβιβασμοί ανάμεσα σε αυτά τα πέντε επίπεδα όταν χρειάζεται περισσότερη ακρίβεια. Η έννοια του συμβιβασμού παρατηρείται ιδιαίτερα κατά την διαδικασία της κριτικής σκέψης. Έτσι το σύνολο που προκύπτει αποτελείται από εννέα διαδοχικές τιμές.

- Ο Saaty για την υποστήριξη όσων αναφέρθηκαν παραπάνω, πρότεινε να παρατηρήσουμε την κατάσταση από μια λιγότερο μαθηματική αλλά περισσότερο πρακτική σκοπιά. Έστω ότι θέλουμε να σημειώσουμε την προτίμηση ανάμεσα σε δύο στοιχεία. Ο ανθρώπινος νους μπορεί εύκολα να προτείνει τις τρεις επιλογές: χαμηλή, μέση και υψηλή για το πρώτο στοιχείο, και στην συνέχεια σε κάθε μια από αυτές να αντιστοιχίσει τις ίδιες επιλογές για το δεύτερο στοιχείο, ώστε η προτίμηση να είναι ακριβέστερη. Με τον τρόπο αυτό ουσιαστικά δημιουργούνται εννέα επίπεδα διάκρισης ανάμεσα στα στοιχεία. Η χαμηλότερη προτίμηση δίνεται με το ζεύγος (χαμηλή, χαμηλή) το οποίο αντιστοιχεί στο επίπεδο 1 της κλίμακας του Saaty και η υψηλότερη στο επίπεδο 9 με το ζεύγος (υψηλή, υψηλή). Έτσι καλύπτεται το εύρος των προτιμήσεων κατά την σύγκριση δύο στοιχείων.
- Υπάρχει επιπλέον το ψυχολογικό όριο το 7 ± 2 στοιχείων το οποίο σε μια παράλληλη σύγκριση δείχνει ότι, εάν πάρουμε 7 ± 2 στοιχεία προς σύγκριση τα οποία παρουσιάζουν την απαραίτητη ομοιογένεια και είναι όλα λίγο διαφορετικά μεταξύ τους, θα χρειαστούν 9 σημεία ακριβώς για να διακρίνουν τις μεταξύ τους διαφορές.
- Ο Saaty έχει αποδείξει μέσω των δεικτών συνέπειας οι οποίοι θα αναλυθούν στην πορεία ότι, για λόγους διατήρησης της συνέπειας κατά την εφαρμογή της μεθόδου ο χρήστης δεν χρειάζεται να λαμβάνει υπόψη περισσότερα από 7 ± 2 επίπεδα σύγκρισης. Η κλίμακα του Saaty συνδέεται άμεσα με την σημασία που αποδίδεται στις αποφάσεις. Ωστόσο, εάν υπάρχει μια ακριβής μέτρηση της προτίμησης ενός κριτηρίου έναντι σε κάποιο άλλο, π.χ. 2,375, ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει την ακριβή μέτρηση χωρίς προσέγγιση εάν το κρίνει απαραίτητο. Έχει διαπιστωθεί ότι οι μικρές αλλαγές στις κρίσεις του αποφασίζοντα, οδηγούν σε μικρές αλλαγές στις προτεραιότητες που προκύπτουν.
- Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει κάποια ανομοιογένεια των συγκρινόμενων στοιχείων και η θεμελιώδης κλίμακα κρίνεται ανεπαρκής, χρησιμοποιείται η συσταδοποίηση (clusterization). Τα συγκρινόμενα στοιχεία τοποθετούνται σε συστάδες έτσι ώστε οι ανά ζεύγη συγκρίσεις να οδηγούν σε αντιδράσεις, των οποίων οι αριθμητικές τιμές να είναι

ίδιας τάξης μεγέθους. Στην πράξη οι ποσοτικές διαφορές κατά την αντίδραση στην μεταβολή των ερεθισμάτων δεν είναι πολλές όπως προαναφέρθηκε. Στο εσωτερικό κάθε συστάδας διατηρείται η βαθμολόγηση σύμφωνα με την κλίμακα και έτσι αυτή επεκτείνεται όσο είναι απαραίτητο για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Μία ιεραρχία περιλαμβάνει τα πιο σημαντικά στοιχεία ενός προβλήματος απόφασης και τις σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ τους. Αυτό που πρέπει να προσδιοριστεί είναι η ισχύς με την οποία τα στοιχεία του ενός επιπέδου επιδρούν στα στοιχεία του αμέσως ανώτερου στην ιεραρχία. Πρέπει να υπολογιστεί η σχετική ισχύς της επιρροής των στοιχείων του χαμηλότερου επιπέδου στους γενικούς στόχους. Ξεκινώντας από το χαμηλότερο επίπεδο της ιεραρχίας υπολογίζεται η προτεραιότητα ενός στοιχείου σε σχέση με τη σημασία την οποία έχει συγκρινόμενο με ένα στοιχείο του επόμενου επιπέδου, σταδιακά, μέσα από συγκρίσεις που υπολογίζονται οι προτεραιότητες μέχρι την κορυφή της ιεραρχίας. Για τον υπολογισμό των προτεραιοτήτων χρησιμοποιούνται οι πίνακες και οι ιδιότητές τους.

Εφόσον υπάρχουν τα στοιχεία του ενός επιπέδου, τουλάχιστον του ενός τετάρτου μιας ιεραρχίας και ενός στοιχείου e του επόμενου υψηλότερου επιπέδου, συγκρίνονται τα στοιχεία στο επίπεδο τέσσερα, κατά ζεύγη, σε σχέση με την ισχύ της επιρροής τους στο στοιχείο e . Αφού εισαχθούν οι αριθμοί που έχουν συμφωνηθεί -οι οποίοι αντικατοπτρίζουν τις συγκρίσεις- σε έναν πίνακα, βρίσκεται το ιδιοδιάνυσμα του πίνακα αυτού με την μεγαλύτερη ιδιοτιμή. Το ιδιοδιάνυσμα παρέχει την κατάταξη της προτεραιότητας και η ιδιοτιμή συνιστά το μέτρο της συνέπειας της κρίσης.

Το βασικό εργαλείο, για την σύνθεση των προτεραιοτήτων είναι ένας πίνακας αριθμών, που αντιπροσωπεύει την κρίση του αποφασίζοντα η οποία αντικατοπτρίζεται από τις δυαδικές συγκρίσεις.

Έστω τα στοιχεία C_1, \dots, C_n ενός επιπέδου της ιεραρχίας. Σκοπός είναι η εκτίμηση των σχετικών βαρών w_1, \dots, w_n που φανερώνουν την επιρροή των C_1, \dots, C_n σε κάποιο στοιχείο του αμέσως επόμενου επιπέδου. Ως a_{ij} αναπαρίσταται ο αριθμός που υποδεικνύει την ισχύ του C_i όταν συγκρίνεται με το C_j . Ο πίνακας των a_{ij} είναι ο πίνακας A ,

$$A = (a_{ij})$$

Ισχύει ότι $a_{ji} = 1/a_{ij}$ και έτσι ο πίνακας A έχει αντίστροφο.

Επίσης ο πίνακας είναι συνεπής εάν και μόνο εάν ισχύει:

$$A_{ik} = a_{ij} * a_{jk} \text{ για κάθε } i, j, k$$

	C1	C2	...	Cn
C1	a_{12}	a_{12}	...	a_{1j}
C2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}
...
Cn	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nj}

Εικόνα 2-3 Πίνακας κατά ζεύγη στοιχείων a_{ij}

Μία περίπτωση όπου ο πίνακας A θα ήταν συνεπής, είναι αυτή στην οποία οι συγκρίσεις βασίζονται σε ακριβείς μετρήσεις. Στην περίπτωση αυτή τα βάρη w_1, \dots, w_n είναι ήδη γνωστά. Τότε:

$$A_{ij} = W_i/W_j \quad i, j = 1, \dots, n$$

Κατά συνέπεια

$$A_{ij} = (a_{jk}) = W_i/W_j * W_j/W_k = W_i/W_k = a_{ik}$$

Και λόγω αντιστροφής

$$a_{ij} = W_j/W_i = 1/W_i/W_j = 1/a_{ij}$$

	A_1	A_2	...	A_n		
A_1	$\frac{w_1}{w_1}$	$\frac{w_1}{w_2}$...	$\frac{w_1}{w_n}$	$\begin{matrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \vdots \\ w_n \end{matrix}$	$= n \begin{matrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \vdots \\ w_n \end{matrix}$
A_2	$\frac{w_2}{w_1}$	$\frac{w_2}{w_2}$...	$\frac{w_2}{w_n}$		
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots		
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots		
A_n	$\frac{w_n}{w_1}$	$\frac{w_n}{w_2}$...	$\frac{w_n}{w_n}$		

Εικόνα 2-4 Πίνακας κατά ζεύγη συγκρίσεων

Τα παραπάνω βασίζονται στο ότι τα δεδομένα και οι μετρήσεις είναι ακριβείς και έτσι ο πίνακας A θα είναι συνεπής. Στην πράξη όμως, οι αριθμοί a_{ij} βασίζονται στην υποκειμενική κρίση του κάθε χρήστη της μεθόδου που πραγματοποιεί τις συγκρίσεις. Έτσι τα a_{ij} θα αποκλίνουν από τον λόγο W_i/W_j και η εξίσωση $A_w = n w$ δεν θα ισχύει.

Υπάρχουν δύο πολύ σημαντικές ιδιότητες των πινάκων οι οποίες πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν.

Ιδιότητα 1:

Εάν $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ ικανοποιούν την εξίσωση $Ax = \lambda x$, τότε $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ είναι οι ιδιοτιμές του πίνακα A και εάν $a_{ij} = 1$ για όλα τα i , τότε:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = n$$

Εάν ισχύει η σχέση $A_w = n w$, τότε όλες οι ιδιοτιμές είναι μηδενικές εκτός από μια που ισούται με n . Έτσι στην περίπτωση όπου ο πίνακας A είναι συνεπής, η μεγαλύτερη ιδιοτιμή ισούται με n .

Ιδιότητα 2:

Εάν οι τιμές a_{ij} του πίνακα A , ο οποίος είναι θετικός αντιστρέψιμος πίνακας, υποστούν κάποια μικρή αλλαγή, τότε και οι ιδιοτιμές θα υποστούν αντίστοιχα μια μικρή αλλαγή. Συνδυάζοντας τα δύο αυτά δεδομένα, προκύπτει ότι εάν η διαγώνιος του πίνακα A είναι μοναδιαία ($a_{ij} = 1$) και ο πίνακας είναι συνεπής, τότε ακόμη και με τις μικρές μεταβολές στις τιμές των a_{ij} , η μεγαλύτερη ιδιοτιμή λ_{\max} θα παραμένει κοντά στο n και οι υπόλοιπες ιδιοτιμές κοντά στο μηδέν.

Εάν A είναι ο πίνακας που περιέχει τις τιμές των δυαδικών συγκρίσεων, για να βρεθεί το διάνυσμα των προτεραιοτήτων, πρέπει να βρεθεί το διάνυσμα w , τέτοιο ώστε: $Aw = \lambda_{\max} W$

Για την κανονικοποίηση και ισχύει:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Συνέπεια και ιδιοτιμές

Η συνέπεια των κρίσεων και των αποφάσεων κατά την εφαρμογή της AHP σχετίζεται άμεσα με την συνέπεια του πίνακα. Με τον όρο συνέπεια ενός πίνακα (consistency of a matrix) εννοούμε ότι όταν γνωρίζουμε ένα βασικό ποσοστό των στοιχείων μιας σειράς του πίνακα, τα άλλα στοιχεία μπορούν να εξαχθούν από αυτό, όπου τα στοιχεία n αντιπροσωπεύονται μέσω $n - 1$ δυαδικές συγκρίσεις.

Η τιμή της πρωτεύουσας ιδιοτιμής είναι το κύριο εργαλείο για τον έλεγχο της συνέπειας, όπου από αυτήν προκύπτει το πρωτεύον ιδιοδιάνυσμα το οποίο όταν κανονικοποιείται γίνεται το διάνυσμα των προτεραιοτήτων.

Δεδομένου ενός πίνακα $A = (a_{ij})$, ορίζεται ο Ar όταν κάθε στοιχείο του είναι $1/a_{ij}$

Η συνέπεια ενός θετικά ορισμένου A' πίνακα είναι ισοδύναμη με την απαίτηση ότι η μέγιστη ιδιοτιμή λ_{\max} πρέπει να είναι ίση με n . Έτσι, η σχέση $\lambda_{\max} - n$ αποτελεί το μέτρο για την συνέπεια. Εάν αυτή κανονικοποιηθεί σύμφωνα με το μέγεθος του πίνακα, προκύπτει ο όρος C.I. (Consistency Index), ο οποίος φανερώνει την απόκλιση της συνέπειας.

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1}$$

Για τον προσδιορισμό του δείκτη συνέπειας ενός τυχαία παραγόμενου πίνακα Ar με στοιχεία από το σύνολο του Saaty ορίστηκε ο τυχαίος δείκτης R.I. (random index). Το σύνολο του Saaty αποτελεί ένα πεπερασμένο σύνολο θετικών αριθμών, όπως δόθηκε και προηγούμενα, που στην επεκταμένη μορφή του είναι το εξής: $\{1/9, 1/8, \dots, 1, \dots, 8, 9\}$. Ο R.I. είναι ένας τυχαίος δείκτης ο οποίος έχει υπολογιστεί με την χρήση ενός μεγάλου δείγματος από τυχαία παραχθέντες θετικά ορισμένους Ar πίνακες (reciprocal matrices) αυξανόμενης τάξης. Σε πολλές μελέτες ο δείκτης R.I. αναφέρεται ως “consistency Index for Random judgments” στην παρούσα εργασία θα προτιμηθεί ο συμβολισμός R.I. για καλύτερο διαχωρισμό των δεικτών. Οι τιμές του τυχαίου δείκτη δίνονται από έναν πίνακα τον οποίο έχει καταρτίσει ο Saaty χρησιμοποιώντας μεγάλο δείγμα πινάκων με αριθμό τάξης έως 15η, υπολογίζοντας κατά μέσο όρο τον δείκτη συνέπειας για κάθε τάξη. Ο παρακάτω πίνακας δίνει το μέγεθος του πίνακα και τον αντίστοιχο μέσο R.I.:

Μέγεθος Πίνακα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I.	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,35	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Πίνακας 2-2 Οι τιμές του δείκτη Random Index

Ο λόγος του δείκτη C.I. προς τον αντίστοιχης τάξης R.I. καλείται λόγος συνέπειας ή αγγλιστί consistency ratio (C.R.) (Saaty T. , The analytic hierarchy process : planning, priority setting, resource allocation, 1980). Ο συγκεκριμένος δείκτης κρίνει τελικά την συνέπεια των αποτελεσμάτων και ολοκληρώνει έτσι και τον έλεγχο συνέπειας και δίνεται από την σχέση $C.R = C.I / R.I.$

Όπως φαίνεται και από την έκφραση του δείκτη

$$CR = (\lambda_{max} - n)/(n - 1)$$

είναι αντιστρόφως ανάλογος με την συνέπεια των κρίσεων. Ο Saaty έχει θέσει ως όριο την τιμή 0,10 για την αποδοχή των αποτελεσμάτων. Εάν ο *C.R.* είναι μεγαλύτερος από την τιμή αυτή θεωρείται ασυνεπής και ο αποφασίζων πρέπει να αναθεωρήσει τις εισόδους του πίνακα (Saaty T., *The analytic hierarchy process : planning, priority setting, resource allocation*, 1980). Στην πράξη βέβαια, υπάρχουν και περιπτώσεις όπου και τιμές λίγο πάνω από το 0,10 πρέπει να γίνονται αποδεκτές. Η ιδανική τιμή για την συνέπεια της διαδικασίας είναι προφανώς το μηδέν.

Οι τρεις αυτοί δείκτες ολοκληρώνουν και τον έλεγχο συνέπειας της μεθόδου. Η γνώση της ασυνέπειας επιτρέπει ακολούθως και την αναγνώριση των κρίσεων οι οποίες απαιτούν αναθεώρηση (Saaty T. L., 1994). Το γεγονός ότι από την ίδια την μέθοδο προβλέπονται τρόποι για τη μέτρηση της συνέπειας των κρίσεων, την διαχωρίζει ριζικά από τις περισσότερες αναλυτικές μεθόδους αποφάσεων οι οποίες δεν έχουν κανέναν επίσημο τρόπο ελέγχου της συνέπειας, και την καθιστά ως μια από τις πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους.

2.2.3. Εφαρμογές της AHP για την Εκτίμηση Πλημμυρικού Ρίσκου

Η μελέτη που έγινε από τον Kamonchat επικεντρώθηκε στην αξιολόγηση της επαρχίας Sukhothai της Ταϊλάνδης όπου πλημμυρίζουν κάθε χρόνο διαφορετικές εκτάσεις της. Έγινε εφαρμογή χωρικής ανάλυσης σε περιβάλλον GIS για την εκτίμηση των ζωνών κινδύνου πλημμύρας στις οποίες έξι σχετικοί φυσικοί παράγοντες επιλέχθηκαν για την εφαρμογή της:

- η ποσότητα βροχόπτωσης,
- η κλίση,
- το υψόμετρο,
- η πυκνότητα ποταμού,
- η χρήση γης και
- η διαπερατότητα του εδάφους.

Η σχετική σημασία των φυσικών παραγόντων έχει συγκριθεί σε ζεύγη μήτρας για την απόκτηση των τιμών βάρους κατά τη διαδικασία Ιεραρχίας της Αναλυτικής Διαδικασία (AHP) (Seejata, Yodying, Wongthadam, Mahavik, & Tantanee, 2018).

Η μελέτη των N.Kazakis εισάγει έναν δείκτη πολλαπλών κριτηρίων για την εκτίμηση των περιοχών κινδύνου πλημμύρας σε περιφερειακή κλίμακα. Έχει καθοριστεί ένας δείκτης κινδύνου

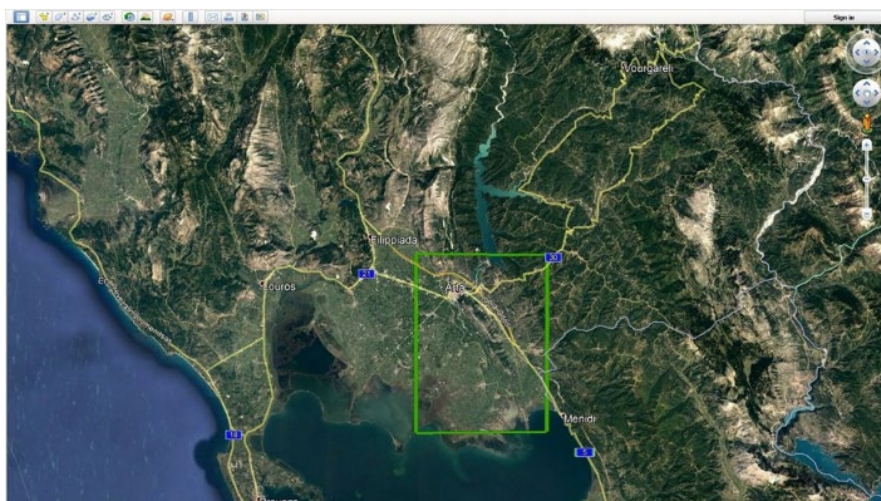
πλημμύρας και έχει εφαρμοστεί χωρική ανάλυση σε περιβάλλον GIS για την εκτίμηση της αξίας του. Η ανεπτυγμένη μεθοδολογία επεξεργάζεται πληροφορίες επτά παραμέτρων, δηλαδή τη συσσώρευση ροής, την απόσταση από το δίκτυο αποχέτευσης, το υψόμετρο, τη χρήση γης, την ένταση της βροχόπτωσης και τη γεωλογία. Η σχετική σημασία κάθε παραμέτρου για την εμφάνιση και τη σοβαρότητα της πλημμύρας έχει συνδεθεί με τις τιμές βάρους. Αυτές οι τιμές υπολογίζονται μετά από μια «Αναλυτική Διαδικασία Ιεραρχίας». Σύμφωνα με τις τιμές βάρους τους, οι πληροφορίες για τις διάφορες παραμέτρους υπερτίθενται, οδηγώντας σε χάρτη κινδύνου πλημμύρας. Η μεθοδολογία έχει εφαρμοστεί σε μια περιοχή της βορειοανατολικής Ελλάδας, όπου έχουν εμφανιστεί επαναλαμβανόμενες πλημμύρες (Kazakis, Kougiyas, & Patsialis, 2015).

Στόχος της μελέτης του Ismail Elkhachy ήταν η δημιουργία Πλημμυρικών χαρτών που αφορούν την πόλη Najran, της Σαουδικής Αραβίας χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες και εργαλεία GIS. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιήθηκε το SPOT και SRTM DEM δεδομένα για τα οποία επιτυγχάνεται αξιολόγηση ακριβείας με τη χρήση σημείων ελέγχου περιλαμβάνοντας GPS σημεία. Χρησιμοποιήθηκε η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία για τον προσδιορισμό της σχετικής επίδρασης του βάρους των παραγόντων των πλημμυρών για να ληφθεί ο σύνθετος δείκτης κινδύνου πλημμύρας. Οι αιτιολογικοί παράγοντες σε αυτή τη μελέτη είναι η απορροή, ο τύπος του εδάφους, η κλίση του εδάφους, η τραχύτητα της επιφάνειας, η πυκνότητα αποστράγγισης, η απόσταση έως το κύριο κανάλι και η χρήση γης (Elkhachy, 2015).

3. Περιοχή Μελέτης

Στόχος μας ήταν να σχεδιαστεί ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για την εκτίμηση και απεικόνιση πλημμυρικού ρίσκου στον ποταμό Άραχθο. Λόγω της φύσης του προβλήματος, πλημμυρικά φαινόμενα μπορούν να εμφανιστούν σε μεγάλη περιοχή κατά μήκος του ποταμού Αράχθου (όπως έχει δείξει η πρόσφατη εμπειρία με τις πλημμύρες του 2015), κατάντη του φράγματος Πουρναρίου. Τα πλημμυρικά φαινόμενα μπορούν να έχουν επιδράσεις σε μία περιοχή που εκτιμάται στα 90 km².

Η περιοχή μελέτης είναι η Λεκάνη Απορροής του Ποταμού Αράχθου (Εικόνα 3.1). Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη περιοχή λόγω της σημαντικότητας της περιοχής, καθώς και στο παρελθόν έχει αντιμετωπίσει φυσικές καταστροφές από πλημμυρικά φαινόμενα. Στην επιλεγμένη περιοχή υπάρχει εγκατεστημένο δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών για την παρακολούθηση του καιρού και σταθμηγράφων για το ύψος του νερού στον ποταμό Άραχθο, με αποτέλεσμα να είναι η μελέτη πιο λεπτομερής για τη διαχείριση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ο ποταμός Άραχθος διέρχεται από τμήμα του Νομού Ιωαννίνων και το Νομό Άρτας. Έχει μήκος περίπου 143 km, εκβάλλει στον Αμβρακικό Κόλπο και η Λεκάνη Απορροής του ποταμού (ΛΑΠ) έχει έκταση 2.209 km² και ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα της Ηπείρου (Εικόνα 3.2) συνορεύοντας με τις Λεκάνες Απορροής των ποταμών Αώου, Καλαμά, Λούρου και Αχέροντα. Το μέγιστο υψόμετρο που έχει είναι στα 2.428 m, με το μέσο του υψόμετρο να είναι στα 854 m και μέση κλίση 25% (ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, 2018).



Εικόνα 3-1 Περιοχή Μελέτης



Εικόνα 3-2 Λεκάνη Απορροής ποταμού Αράχθου

Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται όλη η Λεκάνη Απορροής του ποταμού Αράχθου, ενώ με μπλε χρωματισμούς εμφανίζεται ο ποταμός Άραχθος μαζί με τους παραποτάμους του, καθώς επίσης και οι λίμνες της περιοχής (Λίμνη Πουρναρίου και Παμβώτιδας).

3.1.1. Σύνολο Οικισμών ΛΑΠ Αράχθου

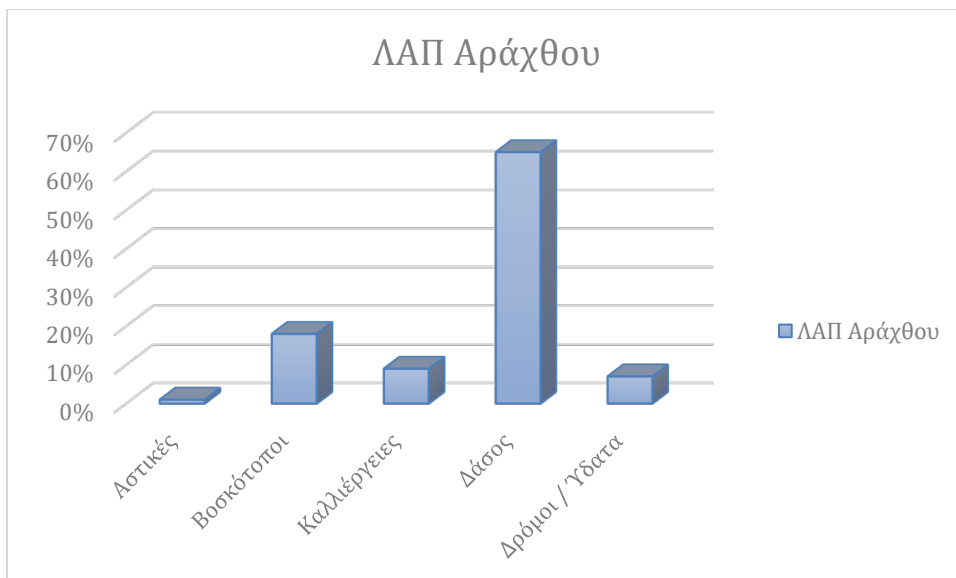
Στη Εικόνα 3.3 παρατηρούμε την ΛΑΠ Αράχθου μαζί με το σύνολο των οικισμών που την απαρτίζουν. Στο νότιο τμήμα της ΛΑΠ οι οικισμοί έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα συγκέντρωσης εκατέρωθεν του Ποταμού Αράχθου και των παραπόταμων του.



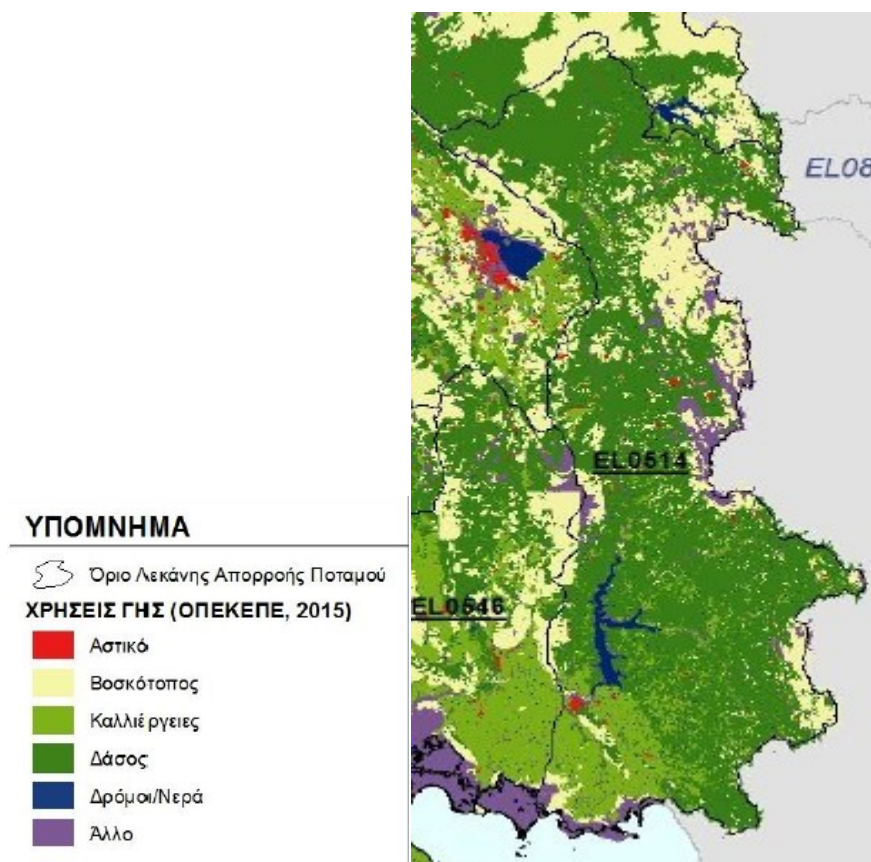
Εικόνα 3-3 ΛΑΠ Αράχθου με το σύνολο των οικισμών που την απαρτίζουν

3.1.2. Χρήσεις Γης

Οι Χρήσεις Γης στη ΛΑΠ Αράχθου καλύπτονται σε μεγάλο ποσοστό από δάση και βοσκοτόπους, καθώς η αστική ανάπτυξη στην περιοχή δεν είναι τόσο ανεπτυγμένη. Στην Εικόνα 3.4 παρουσιάζονται αναλυτικά τα ποσοστά κάλυψης Χρήσεων Γης, ενώ στην Εικόνα 3.5 απεικονίζονται στον χάρτη.



Εικόνα 3-4 Κατηγορίες χρήσεων γης στη ΛΑΠ Αράχθου



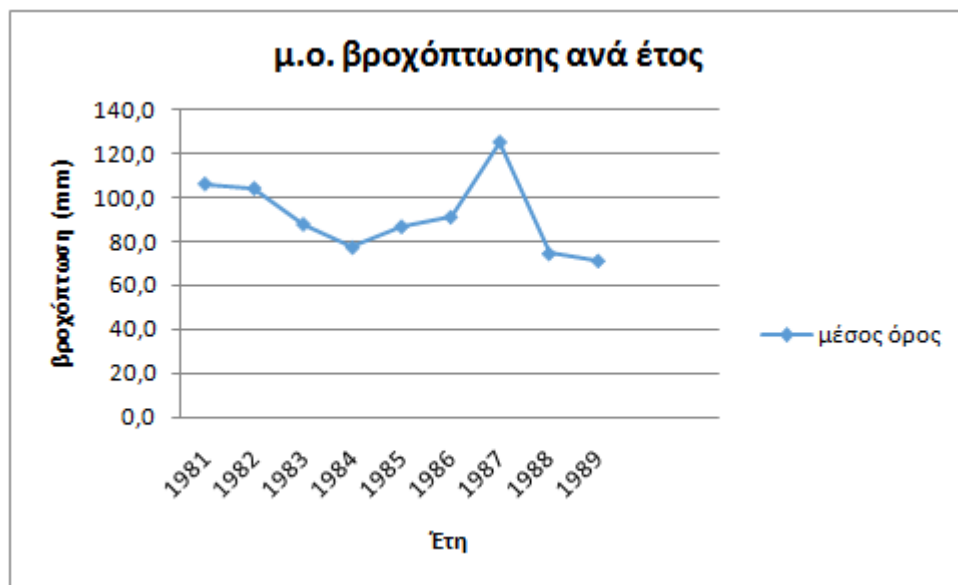
Εικόνα 3-5 Χρήσεις γης στη ΛΑΠ Αράχθου

3.1.3. Κλιματικές Συνθήκες

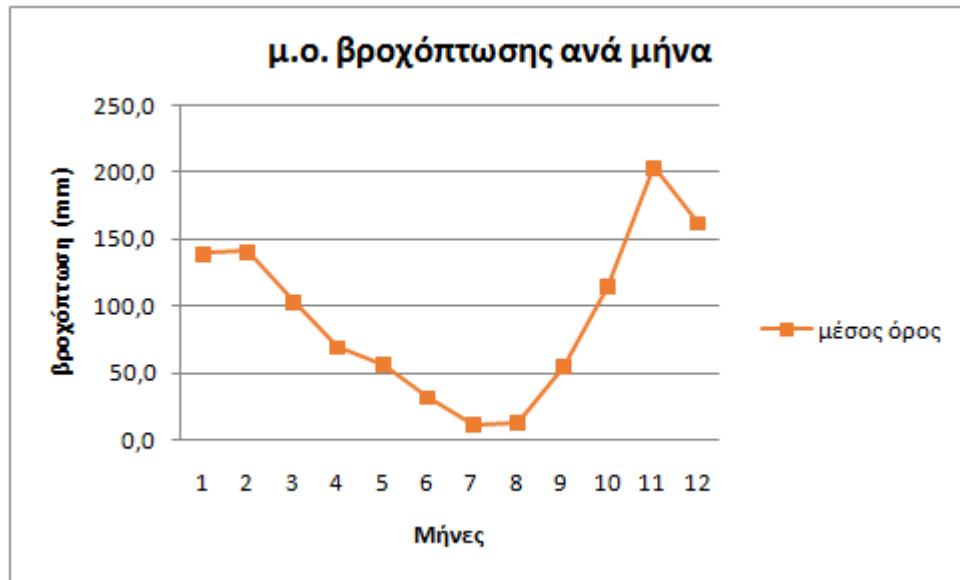
Το κλίμα της περιοχής μελέτης είναι εύκρατο, ήπιο που πολλές φορές μεταβάλλεται προς ηπειρωτικό καθώς μεταβαίνουμε προς τα ορεινά και ανατολικά. Αποτελείται από παράκτιες περιοχές με χαμηλά υψόμετρα και ορεινές με μεγάλο υψόμετρο. Επηρεάζεται από τα δυτικά από τις υγρές αέριες μάζες προερχόμενες από το Ιόνιο Πέλαγος και των οποίων η εκφόρτιση γίνεται ανατολικά στον ορεινό όγκο της Πίνδου. Το ύψος της βροχόπτωσης ποικίλει και διαφοροποιείται κατά τη διάρκεια του έτους ανάλογα με την περιοχή. Συγκεκριμένα, στους ορεινούς όγκους το ύψος φτάνει μέχρι και τα 2600 mm, ενώ στις περιοχές που καλύπτουν το Δέλτα το ύψος φτάνει μέχρι τα 1600 mm και στις περιοχές προς τις ακτές του Ιονίου, δυτικά, μέχρι τα 1200 mm.

Τα απόλυτα μέγιστα και ελάχιστα των θερμοκρασιών είναι στους 41 °C κατά το θέρος και -7,2 °C κατά το χειμώνα, αντίστοιχα (Βруниώτης & Παπαδοπούλου, 2004). Ακολουθούν γραφήματα όπου, απεικονίζονται οι μηνιαίες βροχοπτώσεις σε mm για τα έτη 1981 έως 2007 στο φράγμα Πουρναρίου της Άρτας.

Στις Εικόνες 3.6 και 3.7 απεικονίζονται ο μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος και ανά μήνα σε mm για τα έτη 1981-1989 στο φράγμα Πουρναρίου Άρτας.



Εικόνα 3-6 Άρτα, φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος για τα έτη 1981-1989

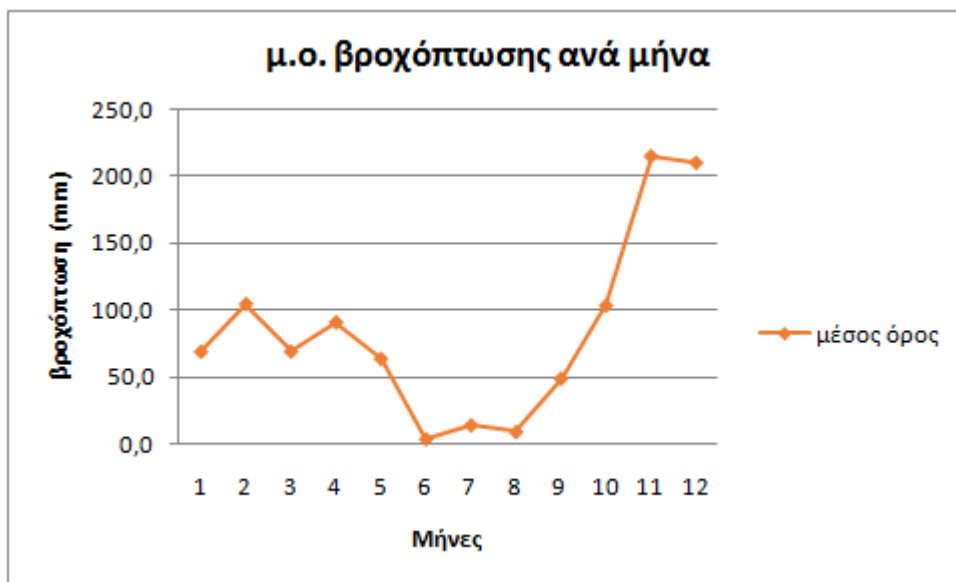


Εικόνα 3-7 Άρτα, φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 1981-1989

Στις Εικόνες 3.8 και 3.9, απεικονίζονται ο μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος και ανά μήνα σε mm για τα έτη 1990 – 1998 στο φράγμα Πουρναρίου Άρτας.



Εικόνα 3-8 Άρτα, φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος για τα έτη 1990-1998

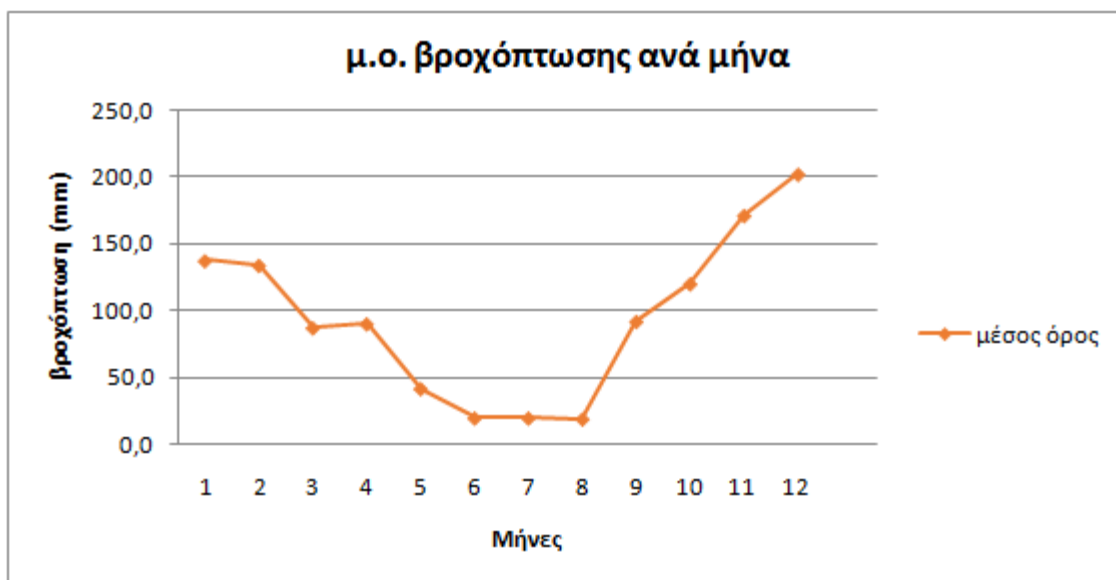


Εικόνα 3-9 Άρτα, φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 1990-1998

Ακολουθούν οι Εικόνες 3.10 και 3.11 όπου απεικονίζονται ο μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος και ανά μήνα σε mm για τα έτη 1999 – 2007 στο φράγμα Πουρναρίου Άρτας.



Εικόνα 3-10 Άρτα, φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος για τα έτη 1999-2007

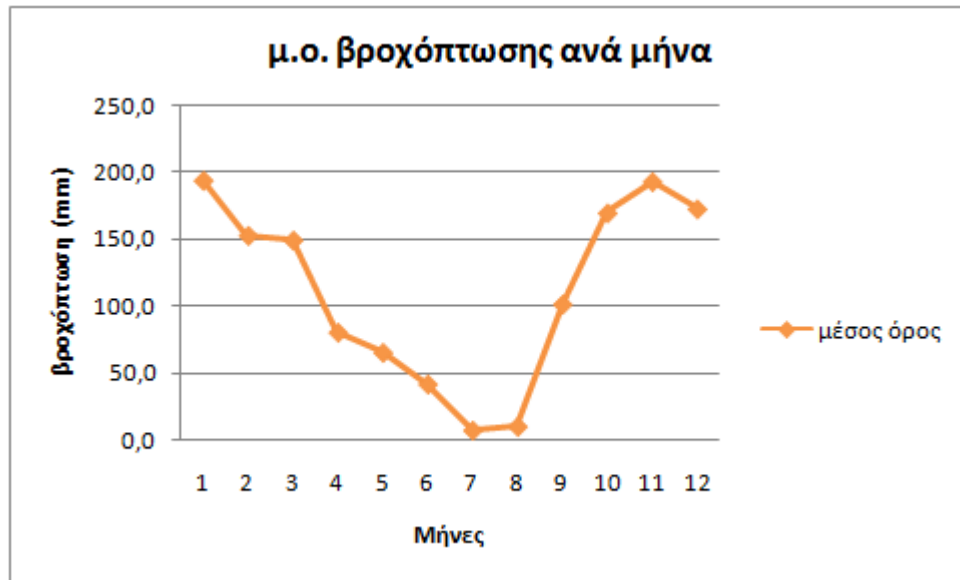


Εικόνα 3-11 Άρτα, φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 1999-2007

Ακολουθούν οι Εικόνες 3.12 και 3.13 όπου απεικονίζονται ο μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος και ανά μήνα σε mm για τα έτη 2006-2015 από τον σταθμό Άρτας (meteo.gr).

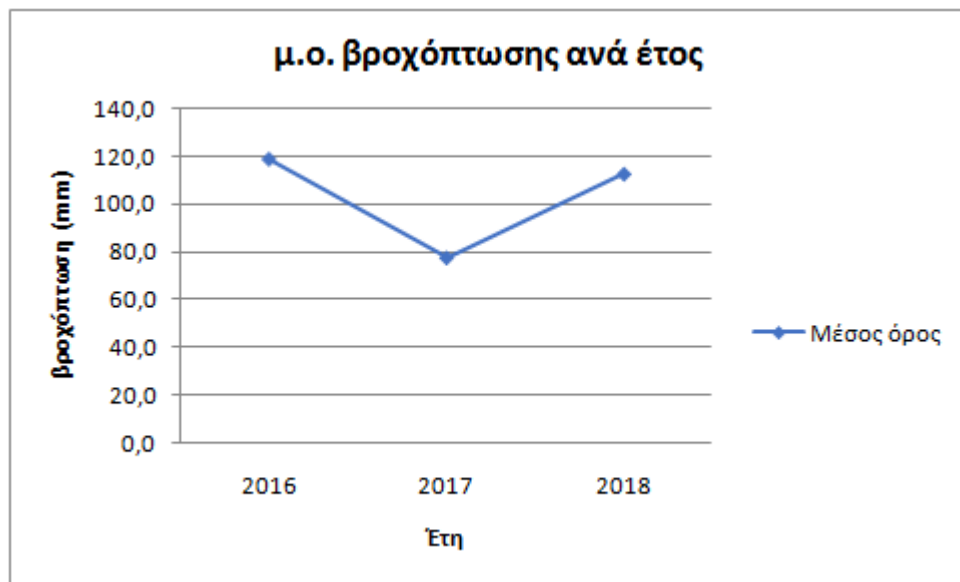


Εικόνα 3-12 Σταθμός Άρτας, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος για τα έτη 2006-2015

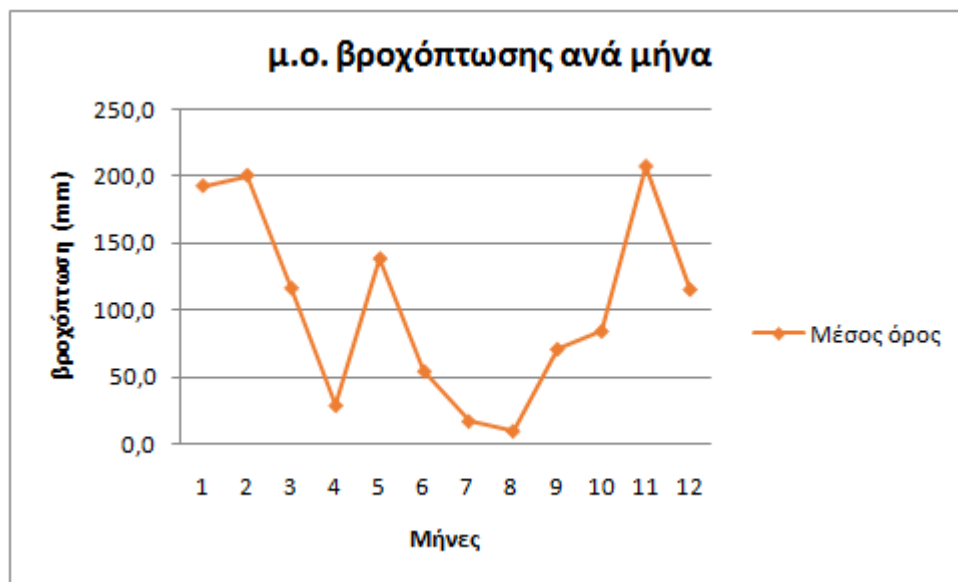


Εικόνα 3-13 Άρτα, φράγμα Πουρναρίου, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 2006-2015

Ακολουθούν οι Εικόνες 3.14 και 3.15 όπου, απεικονίζονται ο μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος και ανά μήνα σε mm για τα έτη 2016 - 2018 από τα δεδομένα της βάσης υδρολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων στην περιοχή του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (πρώην ΤΕΙ Ηπείρου).

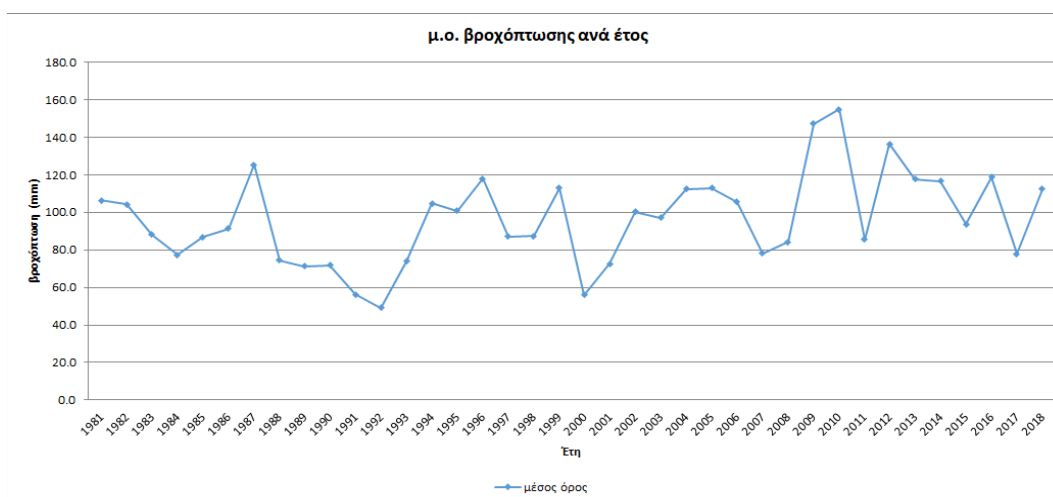


Εικόνα 3-14 Άρτα, Σταθμός Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (πρώην ΤΕΙ Ηπείρου), μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος για τα έτη 2015-2018

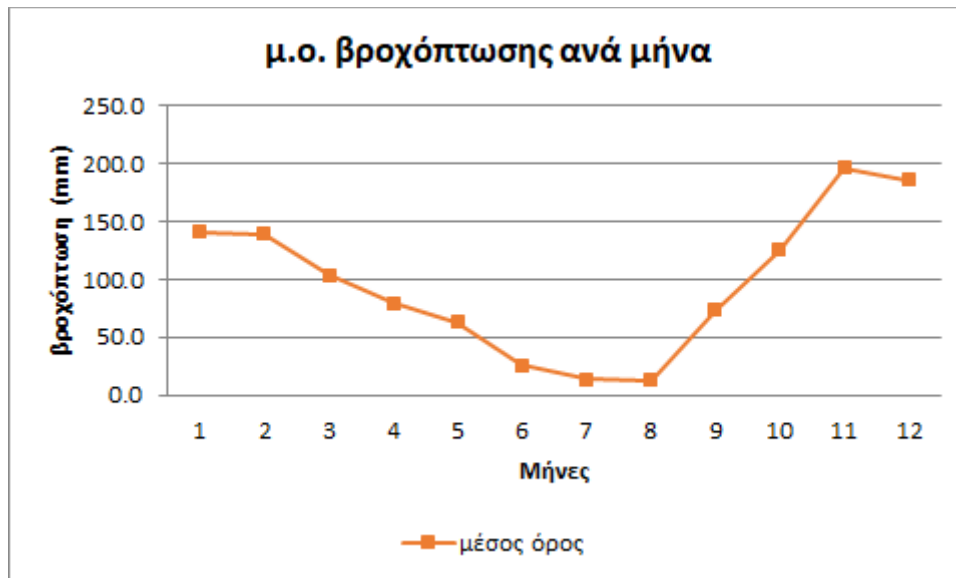


Εικόνα 3-15 Άρτα, Σταθμός Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (πρώην ΤΕΙ Ηπείρου), μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 2015-2018

Ακολουθούν οι Εικόνες 3.16 και 3.17 όπου απεικονίζονται ο μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος και ανά μήνα σε mm για τα έτη 1981 έως 2018 στο φράγμα Πουρναρίου της Άρτας. Τα δεδομένα προέρχονται από το meteo.gr στο σταθμό της Άρτας, καθώς και από το δίκτυο Ενυδρίς (<http://www.hydroscope.gr/enhydri/>) της Βάσης Υδρολογικών και Μετεωρολογικών δεδομένων στην περιοχή του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (πρώην ΤΕΙ Ηπείρου).



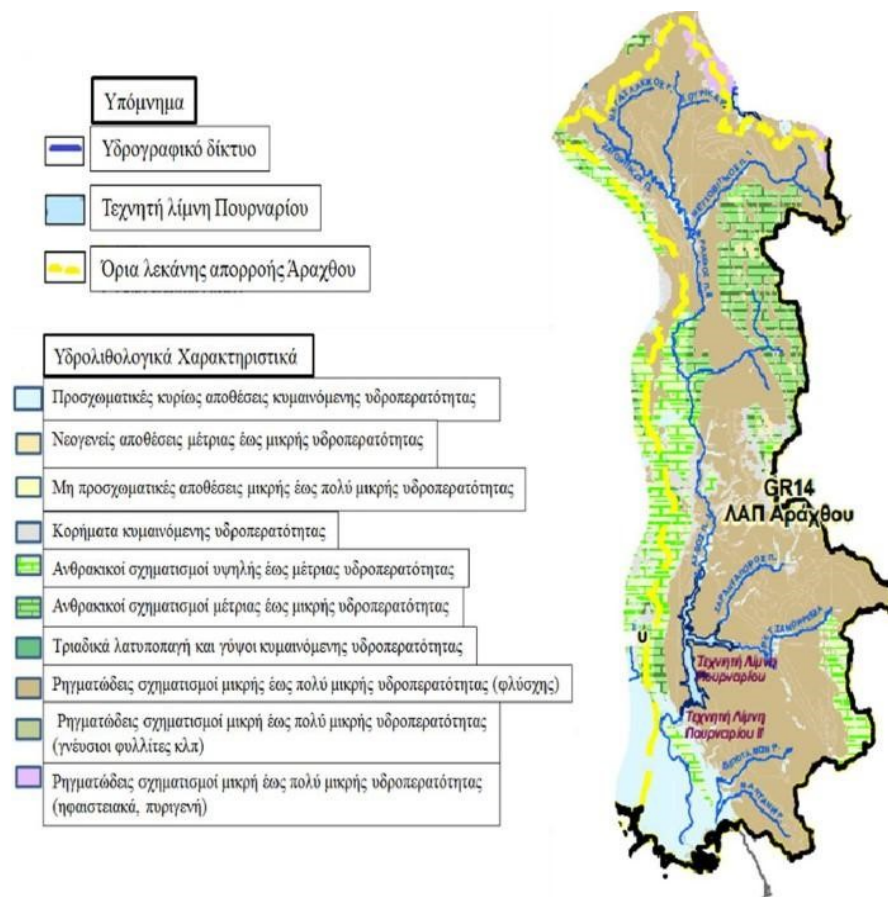
Εικόνα 3-16 Άρτα, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά έτος για τα έτη 1981-2018



Εικόνα 3-17 Άρτα, μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 1981-2019

3.1.4. Γεωμορφολογία – Τοπογραφία

Στη περιοχή μελέτης διακρίνονται τρεις γεωλογικοί σχηματισμοί. Η Ιόνιος Ζώνη που είναι και το μεγαλύτερο μέρος της ΛΑΠ Αράχθου, η Ζώνη Γαβρόρου-Τρίπολης και η Ζώνη Πίνδου. Τα Υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά της ΛΑΠ Αράχθου δίνονται στην Εικόνα 3.18. Ο Άραχθος τροφοδοτείται από τις πηγές του που βρίσκονται στη Βόρεια Πίνδο. Οι περιοχές όπου διέρχεται ο Άραχθος ποταμός διακρίνονται ως προς τη μορφολογία τους σε εκείνες με υψόμετρα άνω των 1000 m και σε εκείνες με απότομες κλίσεις πρανών και στενή κοίτη ποταμού σε εύρος υψόμετρου 100 έως 1000 m και πλάτος κοίτης έως 250 m που καλύπτουν την περιοχή κατάντη του φράγματος Πουρνάρι Ι και την πεδιάδα της Άρτας.



Εικόνα 3-18 Υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά ΛΑΠ Αράχθου

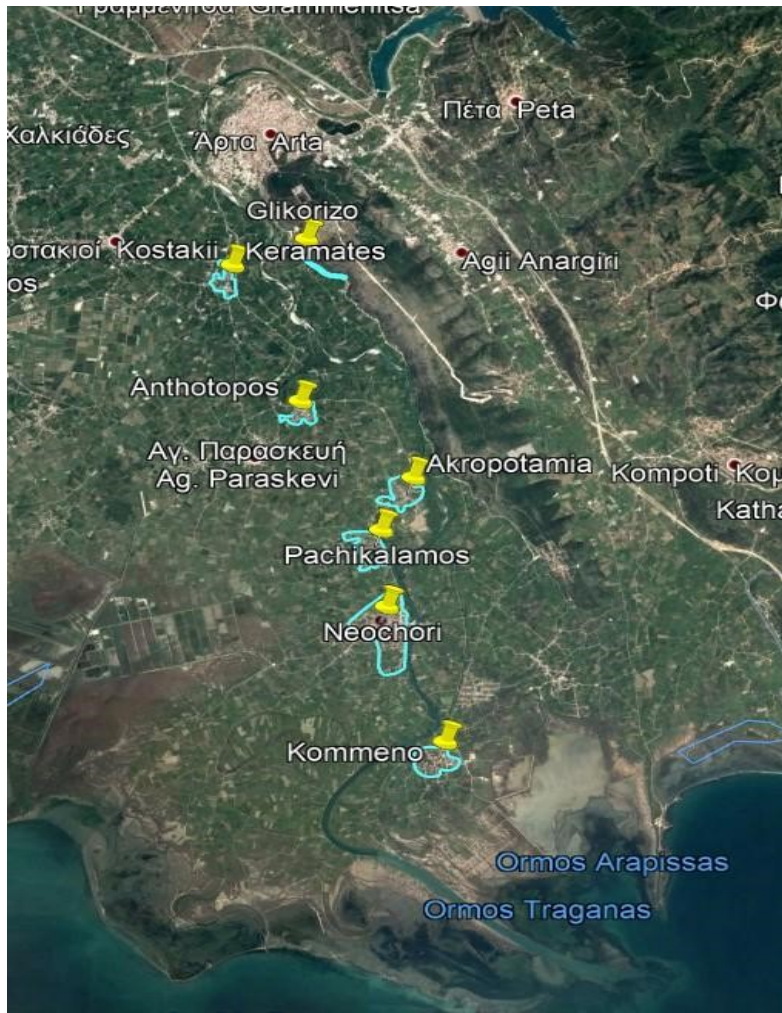
3.2. Πλημμυρικά Επεισόδια

3.2.1. Περιοχές εμφάνισης

Την περίοδο 1981 έως και το 2015 παρατηρήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της Άρτας υψηλές βροχοπτώσεις που είχαν σαν επίπτωση την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων και πιο συγκεκριμένα στις ακόλουθες περιοχές:

- Ακροποταμιά
- Ανθότοπος, Γλυκόριζο
- Κεραμάτες, Κομμένο
- Νεοχώρι
- Παχυκάλαμος

Στην Εικόνα 3.19 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συγκεκριμένες περιοχές εμφάνισης πλημμύρας συγκεντρωτικά μέσα από Google Maps χάρτες.

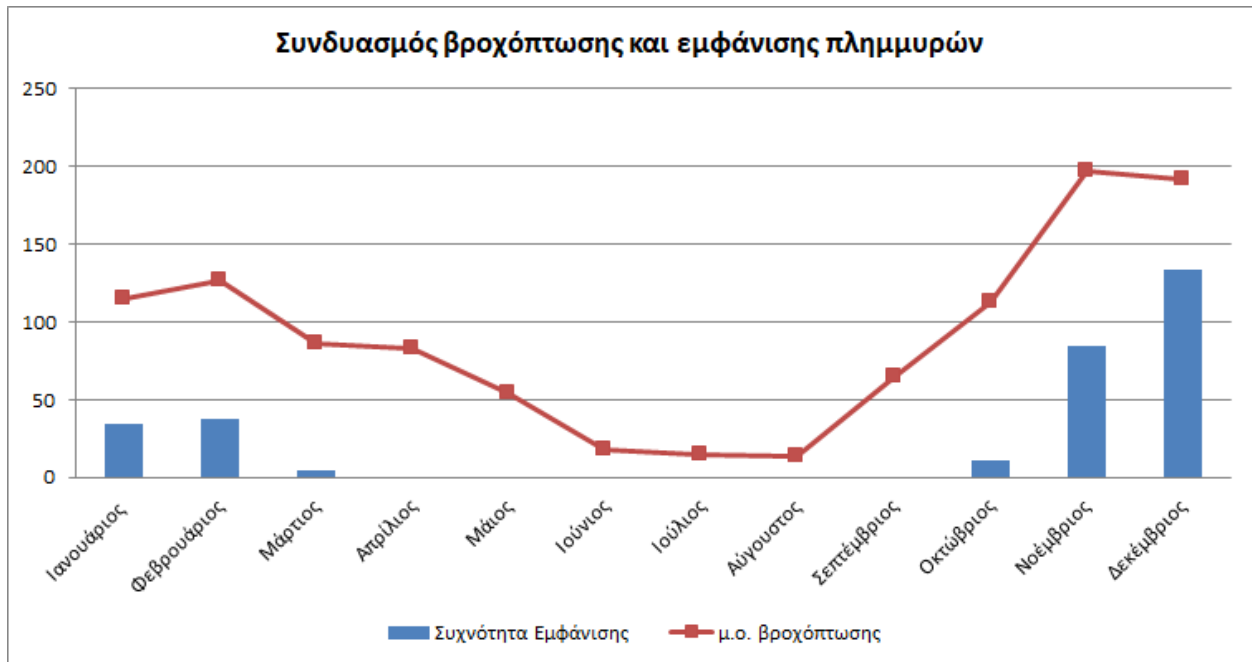


Εικόνα 3-19 Περιοχές εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων την περίοδο 1981-2005 συγκεντρωτικά

3.2.2. Συχνότητα εμφάνισης

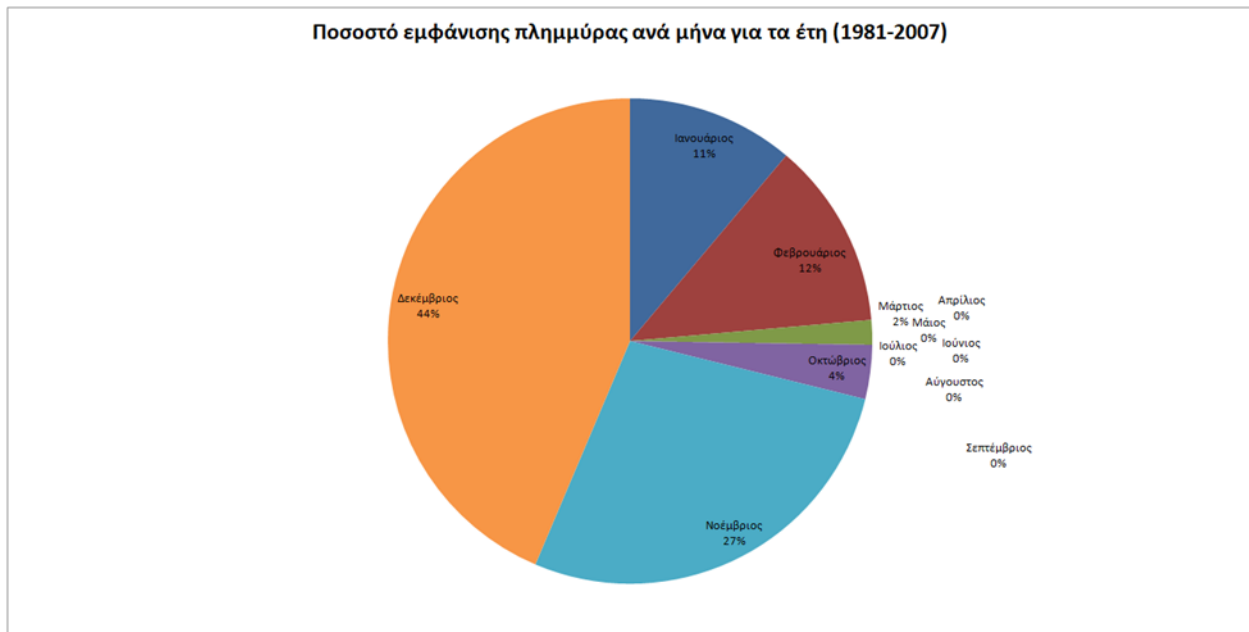
Στην Εικόνα 3.20 που ακολουθεί φαίνεται μια σχηματική απεικόνιση της εμφάνισης πλημμύρας ανά μήνα για τα έτη 1981 – 2007 σε συνδυασμό με τον μέσο όρο βροχόπτωσης κάθε μήνα για τα αντίστοιχα έτη. Τα δεδομένα προέρχονται από μετρήσεις που έγιναν στο φράγμα Πουρναρίου και αφορούν οικισμούς στην ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου, κατάντη της Νέας Γέφυρας έως τις εκβολές του Αράχθου στον Αμβρακικό Κόλπο. Οι μήνες Νοέμβριος και Δεκέμβριος εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα πλημμύρας, με το μήνα Δεκέμβριο να αποτελεί το μήνα με

τη μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας. Αντίστοιχα ο μέσος όρος βροχόπτωσης εμφανίζει τη μεγαλύτερη τιμή το μήνα Νοέμβριο (Stylios & Groumpos, 2009).



Εικόνα 3-20 Αθροισμα εμφάνισης πλημμύρας ανά μήνα και μέσος όρος βροχόπτωσης ανά μήνα για τα έτη 1981 έως 2007

Στην Εικόνα 3.21 που ακολουθεί, παρουσιάζονται τα ποσοστά εμφάνισης πλημμύρας για τα έτη 1981-2007, για κάθε μήνα, σε σχέση με το σύνολο των εμφανίσεων πλημμύρας.



Εικόνα 3-21 Ποσοστό εμφάνισης πλημμύρας ανά μήνα για τα έτη 1981-2007

3.2.3. Έντονα Πλημμυρικά φαινόμενα

Στον ποταμό Άραχθο έχουν εκδηλωθεί δύο έντονα πλημμυρικά φαινόμενα κατά τη διάρκεια των ετών 2005 και 2015.

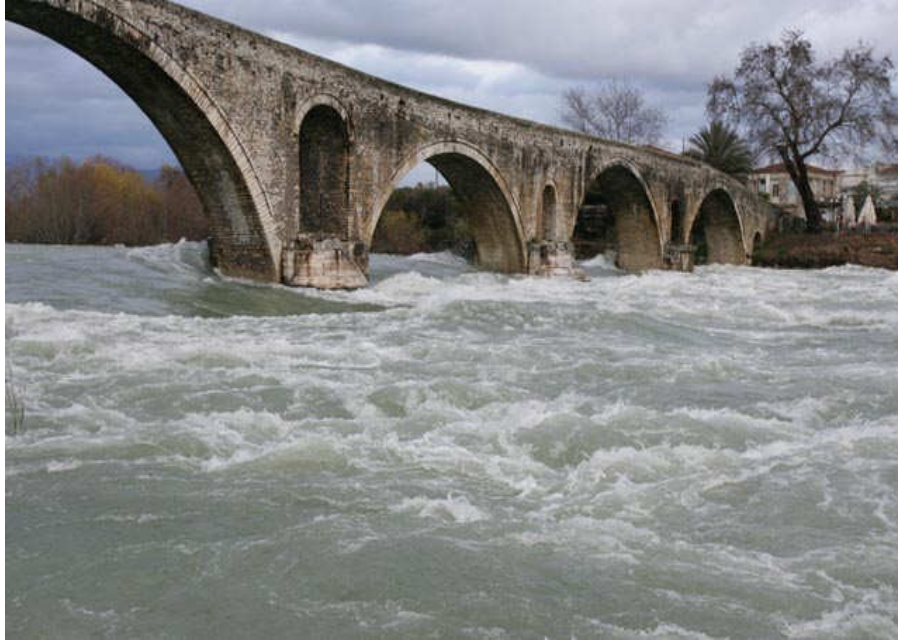
Στις 28/12/2005 η μέγιστη τιμή της παροχής εκροής από τον ταμιευτήρα του φράγματος Πουρνάρι Ι έφτασε στα 1700 m³/s (εκχειλιστής και σταθμός παραγωγής ενέργειας). Επιπλέον, την ίδια περίοδο και συγκεκριμένα στις 30/12/2005 η συνολική παροχή εκροής έφτασε 1600 m³/s. Οι οικισμοί που επηρεάστηκαν περισσότερο είναι το Νεοχώρι και το Κομμένο (Κομιώτη, 2017). Ακολουθεί φωτογραφικό υλικό από την Πλημμύρα του 2015 (Εικόνες 3.22, 3.23 και 3.24).



Εικόνα 3-22 Πλημμύρα 2005, ποταμός Αραχθός



Εικόνα 3-23 Πλημμύρα 2005, Φράγμα Πουρναρίου II



Εικόνα 3-24 Πλημμύρα 2005, Παλαιά Γέφυρα Άρτας

Στην περίπτωση του έτους 2015 από 31/01/2015 έως 01/02/2015 εξαιτίας έντονων βροχοπτώσεων η συνολική παροχή εκροής έφτασε τα 1700 m³/s. Ακολουθεί φωτογραφικό υλικό από την πλημμύρα του 2015 (Εικόνες 3.25 και 3.26).



Εικόνα 3-25 Πλημμύρα 2015, Φράγμα Πουρναρίου



Εικόνα 3-26 Πλημμύρα 2015, Παλαιά Γέφυρα Άρτας

4. Μέθοδος Εκτίμησης Πλημμυρικού Ρίσκου

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε τα βήματα ανάπτυξης της μεθοδολογίας για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στην περιοχή μελέτης, βασισμένη στην Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία. Θα χρησιμοποιηθούν παράμετροι τόσο στατικοί, όπως η κλίση εδάφους, το υψόμετρο, η απόσταση κάθε σημείου από τον ποταμό και η χρήση γης, όπως και δυναμικές παράμετροι όπως η βροχόπτωση μίας ημέρας, βροχόπτωση τριών ημερών και η στάθμη του ποταμού Αράχθου στην νέα γέφυρα της Άρτας.

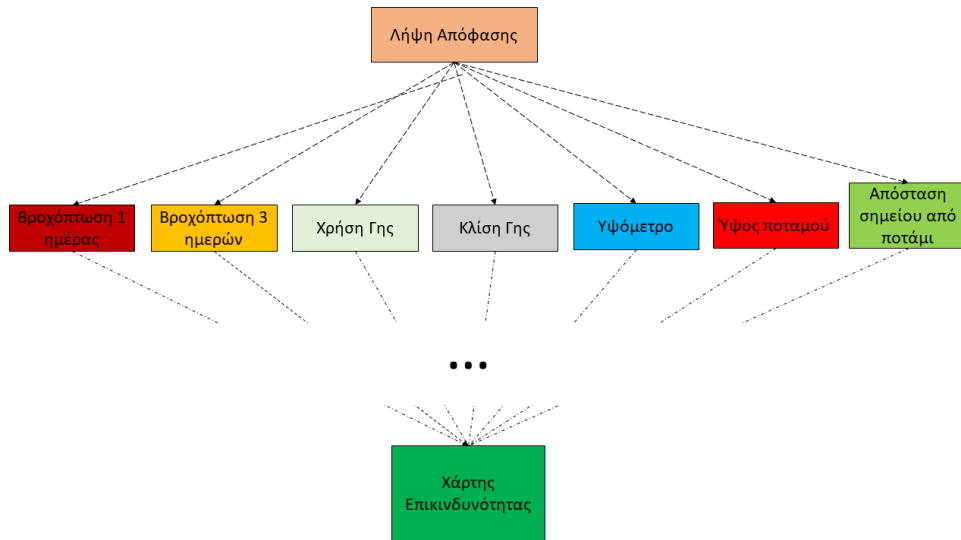
Στατικά δεδομένα:

- Κλίσης Γης
- Χρήση Γης
- Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους
- Απόσταση κάθε σημείου από τον ποταμό

Δυναμικά Δεδομένα:

- Βροχόπτωση μίας ημέρας
- Βροχόπτωση τριών ημερών
- Στάθμη ποταμού

Το πρώτο βήμα σε μια ανάλυση AHP είναι η οικοδόμηση μιας ιεραρχίας για την απόφαση. Αυτό ονομάζεται μοντελοποίηση απόφασης, διότι η διαδικασία της αναλυτικής ιεραρχίας διαρθρώνει το πρόβλημα ως ιεραρχία. Η παρακάτω εικόνα δείχνει την ιεραρχία μας.



Εικόνα 4-1 Ιεράρχηση αποφάσεων για την Εκτίμηση Πλημμυρικού Ρίσκου

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε χωρίζει την AHP σε πέντε βήματα (Saaty T. , Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process, 2001):

- Βήμα 1 - Δημιουργούμε την Ιεραρχία
- Βήμα 2 – Κάνουμε τις συγκρίσεις
- Βήμα 3 - Υπολογίζουμε τα βάρη
- Βήμα 4 - Ελέγχουμε τη συνέπεια
- Βήμα 5 – Παράγουμε το αποτέλεσμα

Αρχικά, και σύμφωνα με την μέθοδο AHP, γίνεται σύγκριση ανά ζεύγη (pairwise comparison) των πρωτογενών παραγόντων κάθε κριτηρίου, σύμφωνα με την άποψη του εκπονούντος την μελέτη, ως προς την σχέση σημαντικότητας που έχουν οι παράγοντες μεταξύ τους, άρα και του ανάλογου βαθμού συμμετοχής του καθενός στην δημιουργία του κάθε σύνθετου κριτηρίου.

Με τη μέθοδο εκτίμησης πλημμυρικού ρίσκου αποκτήθηκε σχετική σημασία των σχετικών παραγόντων μετά την παραγωγή ενός ζεύγους σύγκρισης. Τα βάρη κάθε εύρους παραμέτρων καθορίζονται αφού ταξινομηθούν ανάλογα με τη σχετική σημασία. Αφού όλα τα κριτήρια ταξινομηθούν με ιεραρχικό τρόπο, δημιουργείται ένας πίνακας σύγκρισης ανά ζεύγος για κάθε κριτήριο για να καταστεί δυνατή μια σύγκριση σημασίας. Η βαθμολογία σχετικής σημασίας ορίζεται από το 1 έως το 9, ξεκινώντας από τους λιγότερο σημαντικούς έως τους πολύ πιο

σημαντικούς παράγοντες. Ο πίνακας σύγκρισης ζευγών παρουσιάζεται στον Πίνακα 1 χρησιμοποιώντας μια μήτρα 7x7, όπου τα διαγώνια στοιχεία είναι ίσα με 1. Οι τιμές κάθε σειράς συγκρίνονται με κάθε στήλη για να προσδιοριστεί η σχετική σημασία της απόκτησης βαθμολογίας. Για παράδειγμα, η βροχόπτωση μιας ημέρας είναι αρκετά πιο σημαντική από τη χρήση της γης και συνεπώς έχει εκχωρηθεί βαρύτητα με τιμή 6. Αντίστοιχα, στη σχέση χρήσης γης με τη βροχόπτωση μίας ημέρας είναι αντίστοιχη τιμή είναι 1/6 .

Η βροχόπτωση τριών ημερών θεωρείται η πιο σημαντική παράμετρος στη σχετική μελέτη. Η δεύτερη πιο σημαντική παράμετρος είναι η βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τα δεδομένα της βροχόπτωσης σε αυτήν την έρευνα είναι σε πραγματικό χρόνο, για αυτό είναι ο σημαντικότερος λόγος για την υψηλή σημασία της AHP. Το υψόμετρο και η χρήση γης θεωρήθηκαν το τρίτο σημαντικότερο με το υψόμετρο να είναι ελαφρώς υψηλότερο στη μεθοδολογική κλίμακα, δεδομένου ότι η έρευνά μας γίνεται σε μια μικρότερη λεκάνη, η οποία είναι κυρίως αστικές περιοχές σε σύγκριση με άλλες έρευνες που διεξάγονται δια θαλάσσης σε δάση μεγάλου υψομέτρου (Kourgialas & Karatzas, 2016).

Η απόσταση κάθε σημείου από τον ποταμό είναι το επόμενο σημαντικό στοιχείο της μεθοδολογίας μας ακολουθούμενη από το ύψος του ποταμού. Η κλίση του εδάφους εμπεριέχεται κατά κάποιον τρόπο στην παράμετρο του υψομέτρου, εξηγώντας τη μικρότερη σημασία του.

Parameters	1 day Rainfall	3 day Rainfall	Slope	Water Lever	Land Use	Hybrid River Height	Elevation
1 day Rainfall	1	0.5	4	5	4	4	4
3 day Rainfall	2	1	5	7	5	6	6
Slope	0.25	0.20	1	3	3	3	3
Water Lever	0.20	0.14	0.33	1	3	4	2
Land Use	0.25	0.20	0.33	0.33	1	3	3

Hybrid River Height	0.25	0.17	0.33	0.25	0.33	1	2
Elevation	0.25	0.17	0.33	0.50	0.33	0.50	1

Πίνακας 4-1 Παράμετροι του κινδύνου πλημμυρικού ρίσκου: Αναλυτική ιεραρχία

Από τη σύγκριση αυτή και με την ανάλογη μήτρα υπολογισμών της μεθόδου προκύπτει η κανονικοποίηση των τιμών σύγκρισης, π.χ.

Normalized rainfall 1 day = rainfall 1 day / SUM (rainfall 1 day) δηλαδή

$$\text{Normalized rainfall 1 day} = 1 / 4,2$$

$$\text{Normalized rainfall 1 day} = 0,24$$

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τις κανονικοποιημένες τιμές των παραμέτρων του Πίνακα 5.1, που υπολογίζονται από κάθε βάρος ενός στοιχείου με το άλλο διαιρώντας το με το άθροισμα κάθε στήλης.

Parameters	1 day Rainfall	3 day Rainfall	Slope	Water Lever	Land Use	Hybrid River Height	Elevation
1 day Rainfall	0,24	0,21	0,35	0,29	0,24	0,19	0,19
3 day Rainfall	0,48	0,42	0,44	0,41	0,30	0,28	0,29
Slope	0,06	0,08	0,09	0,18	0,18	0,14	0,14
Water Lever	0,05	0,06	0,03	0,06	0,18	0,19	0,10
Land Use	0,06	0,08	0,03	0,02	0,06	0,14	0,14
Hybrid River Height	0,06	0,07	0,03	0,01	0,02	0,05	0,10

Elevation	0,06	0,07	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05
------------------	------	------	------	------	------	------	------

Πίνακας 4-2 Κανονικοποιημένες παράμετροι κινδύνου πλημμύρας: Αναλυτική διαδικασία ιεραρχίας

Ακολουθεί ο συντελεστής βαρύτητας με τον οποίο κάθε πρωτογενής μεταβλητή θα συμμετάσχει στη δημιουργία του αντίστοιχου σύνθετου κριτηρίου. Υπολογίζουμε το μέσο όρο σε κάθε γραμμή του κανονικοποιημένου πίνακα. Τονίζουμε ότι το άθροισμα των στοιχείων του διανύσματος πρέπει να είναι ίσο με 1.

Μέσος όρος βροχόπτωσης 1 ημέρας: $(0,24 + 0,21 + 0,35 + 0,29 + 0,24 + 0,19)/7 = 0,24$

Μέσος όρος βροχόπτωσης 3 ημερών: $(0,48 + 0,42 + 0,44 + 0,41 + 0,30 + 0,28 + 0,29)/7 = 0,37$

Μέσος όρος Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους: $(0,06 + 0,08 + 0,09 + 0,18 + 0,18 + 0,14 + 0,14)/7 = 0,12$

Μέσος όρος Χρήσης Γης: $(0,05 + 0,06 + 0,03 + 0,06 + 0,18 + 0,19 + 0,10)/7 = 0,09$

Μέσος όρος Κλίσης εδάφους: $(0,06 + 0,08 + 0,03 + 0,02 + 0,06 + 0,14 + 0,14)/7 = 0,08$

Μέσος όρος απόστασης από το ποτάμι: $(0,06 + 0,07 + 0,03 + 0,01 + 0,02 + 0,05 + 0,10)/7 = 0,05$

Μέσος όρος ύψος νερού στον ποταμό: $(0,06 + 0,07 + 0,03 + 0,03 + 0,02 + 0,02 + 0,05)/7 = 0,04$

Το άθροισμα των στοιχείων του διανύσματος ισούται ίσο με 1

$$SUM = 0,24 + 0,37 + 0,12 + 0,09 + 0,08 + 0,05 + 0,04 = 1$$

Έλεγχος συνέπειας

Ακολουθεί ο έλεγχος συνέπειας της σύγκρισης των μεταβλητών και των συντελεστών βαρύτητας που προέκυψαν. Ο λόγος συνέπειας δε θα πρέπει να ξεπερνά το 10% ($CR \leq 0.10$) για να θεωρείται λογική η ιεράρχηση και η σχέση σύγκρισης που έχει πραγματοποιηθεί μεταξύ των πρωτογενών

παραγόντων και να είναι αποδεκτοί οι συντελεστές βαρύτητας που προέκυψαν. Πρέπει να αξιολογηθεί η συνάφεια του δημιουργημένου πίνακα ιδιοτήτων για το AHP. Το απαιτούμενο επίπεδο συνέπειας αξιολογείται χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο δείκτη:

$$CR = CI/RI$$

όπου:

Το **CR** είναι ο λόγος συνέπειας

Το **CI** είναι ο δείκτης συνέπειας

Το **RI** είναι ο τυχαίος δείκτης

Για κάθε γραμμή του πίνακα συγκρίσεων υπολογίζουμε το σταθμισμένο άθροισμα. Αυτό θα γίνει αν η κάθε τιμή του πίνακα πολλαπλασιαστεί με την αντίστοιχη (στήλη) προτεραιότητα της κάθε επιλογής. Για κάθε γραμμή διαιρούμε το σταθμισμένο άθροισμα με την προτεραιότητα της αντίστοιχης (γραμμής) επιλογής. Βρίσκουμε τη μέγιστη ιδιοτιμή του πίνακα λ_{max} όπου είναι $\lambda_{max} = 7,66$.

Υπολογίζουμε τον δείκτη συνέπειας $CI = \frac{(\lambda_{max}-n)}{n-1}$.

Στον Πίνακα 2-2 αναφορικά με το Δείκτη Τυχαίας Συνέπειας (RI), για την δική μας περίπτωση βρισκόμαστε σε μέγεθος πίνακα No. 7, άρα ο δείκτης τυχαίας συνέπειας είναι $RI = 1,35$.

Οπότε έχουμε το $CR = 0,98$, το οποίο είναι αποδεκτό γιατί είναι μικρότερο του 0,1 και ο πίνακας είναι συνεπής. Τελικά, το υπολογιζόμενο μερίδιο σύστασης είναι 0,098 το οποίο είναι χαμηλότερο από το όριο 0,1, και επομένως, επιβεβαιώνεται η συνοχή του βάρους.

Ακολουθεί ο πίνακας με το βάρος της κάθε παραμέτρου μαζί με τη βαθμονόμηση της κάθε παραμέτρου. Εκτός από το γεγονός ότι όλες οι παράμετροι δεν συνεισφέρουν στον ίδιο βαθμό, τα βάρη υιοθετήθηκαν και βελτιστοποιήθηκαν από τα αποτελέσματα της κρίσης του εμπειρογνώμονα. Η αποτελεσματικότητα υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας τη μέση βαθμονόμηση κάθε παραμέτρου με το βάρος της κάθε παραμέτρου. Παρακάτω παρουσιάζεται ο Πίνακας 4-3 με τις κλάσεις των παραμέτρων, ανάλογα με τα βάρη τους.

Parameters	Class	Average rating (R)	Weight (W)	Effectiveness
1 day Rainfall	>100mm	90		21,6
	100mm – 110mm	80		19,2
	80mm – 100mm	70		16,8
	70mm – 80mm	60		14,4
	50mm – 70mm	50	24%	12
	30mm – 50mm	40		9,6
	20mm – 30mm	30		7,2
	5mm – 20mm	20		4,8
	<5mm	10		2,4
3 day Rainfall	>220mm	90		33,3
	175mm – 220mm	80		29,6
	150mm – 175mm	70		25,9
	125mm – 150mm	60		22,2
	75mm – 125mm	50		18,5

	50mm – 75mm	40	37%	14,8
	25mm – 50mm	30		11,1
	10mm – 25mm	20		7,4
	<10mm	10		3,7
Slope	<2 %	90		7,2
	2% -5%	70		5,6
	5% - 15%	50	8%	4
	15% - 35%	30		2,4
	> 35%	10		0,8
Land Use	Συνεχής αστική βιομηχανική ύλη, Ασυνεχές αστικό ιστό βιομηχανικό, Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες Κατοικίες, Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και σχετική γη	90		8,1
	Ορυκτά σημεία	70		6,3
	Μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις, Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες μούρων. Σύνθετα πρότυπα καλλιέργειας, Ελαιώνας	50	9%	4,5

	Οικόπεδα κατεχόμενα κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές περιοχές φυσικής βλάστησης	30		2,7
	Μη αρδευόμενο ανοιχτό χώρο αρόσιμης γης, Πεδία ρύζι Agri, Πλατύφυλλα δάση, Δάσος κωνοφόρων, Μικτά δάση, Φυσικά λιβάδια Λιβάδι, Σκληρόφυλλη βλάστηση Agri, Μεταβατικό δασικό δάσος	20		1,8
	Λιβάδια νερό, Παραλίες αμμόλοφους άμμος νερό, Εσωτερικές ελώδες ανοικτή περιοχή, Αλατούχα ποτάμι νερό, Αλατούχα νερά, Οι οδοί νερού, Υδατικά σώματα νερό, Παράκτια ύδατα λιμνοθάλασσας, Θαλασσινό και θαλασσινό νερό	10		0,9
Elevation	<6	90		10,8
	6m - 12m	80		9,6
	12m -18m	70		8,4
	18m - 24m	60		7,2
	24m - 28m	50	12%	6
	28m - 36m	40		4,8
	36m – 48m	30		3,6

	48m – 60m	20		2,4
	> 60m	10		1,2
Water Lever	<4m	90	4%	3,6
	3m-4m	60		2,4
	2m-3m	40		1,6
	>2m	10		0,4
Hybrid River Height	< -10 m	90		4,5
	-10 m to -5 m	70		3,5
	-5 m to -3 m	60	5%	3
	-3 m to 0 m	50		2,5
	0 m to 2 m	30		1,5
	>2 m	10		0,5

Πίνακας 4-3 Κλάσεις των παραμέτρων και ανάλογα με τα βάρη

4.1. Παράμετροι

4.1.1. Βροχόπτωση μιας ημέρας και τριών ημερών

Βροχή ή βροχόπτωση είναι μια υγρή κατακρήμνιση και ανήκει στα υδατώδη μετεωρολογικά κατακρημνίσματα ή υδρόμετρα όπως ονομάζονται τα διάφορα φαινόμενα του νετού, της πτώσης δηλαδή στο έδαφος προϊόντων του ύδατος σε υγρή ή στερεά μορφή. Η συγκέντρωση των

ατμοσφαιρικών υδρατμών πρέπει να είναι αρκετά υψηλή, ώστε αυτοί να υγροποιηθούν και να σχηματίσουν σταγόνες νερού αρκετά βαριές, ώστε να πέσουν ως την επιφάνεια. Αν συνυπάρχουν αρκετή υγρασία και ανοδικά ρεύματα αέρα σε μια περιοχή, τότε πέφτει βροχή σε λεπτές σταγόνες. Σε ορεινές περιοχές είναι πολύ πιθανό να πέσουν έντονες βροχές στην πλευρά που έχει επαφή με τον υγρό αέρα. Αντίθετα, στην υπήνεμη πλευρά συχνά σχηματίζεται ξηρό έως ερημικό κλίμα.

Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού των βροχοπτώσεων οι βροχές διακρίνονται σε:

- Βροχόπτωση κατακόρυφης μεταφοράς (convective precipitation): Ο τύπος αυτός της βροχής προέρχεται από σύννεφα ανοδικών ρευμάτων δηλαδή από σωρείτες και σωρειτομελανίες. Οι χώρες που βρίσκονται μακριά από τον Ισημερινό έχουν βροχές αυτού του τύπου, κυρίως το καλοκαίρι.
- Βροχόπτωση Ανάγλυφου ή Ορειογραφική βροχόπτωση: Οι βροχές αυτού του τύπου παρατηρούνται κυρίως στις βουνοπλαγιές που έχουν προσανατολισμό προς τις ακτές. Ο αέρας που πνέει πάνω από τους υδάτινους αποδέκτες έχει μεγάλη συγκέντρωση σε υδρατμούς. Όταν φτάσει στην ξηρά έχει να υπερπηδήσει τα εμπόδια (βουνά) που θα συναντήσει. Καθώς υψώνεται πάνω στις βουνοπλαγιές ψύχεται, οι υδρατμοί συμπυκνώνονται και δημιουργούν βροχή. Έτσι, στη συνέχεια, όταν ο αέρας κατέρχεται από την άλλη πλευρά των βουνοπλαγιών είναι σχεδόν χωρίς υδρατμούς.
- Κυκλωνικές ή μετωπικές βροχές (frontal precipitation): Στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη ο σημαντικότερος/συχνότερος τύπος βροχοπτώσεων είναι οι «Μετωπικές βροχές». Καλύπτουν πολλές εκατοντάδες χιλιομέτρων μόνο σε μία ημέρα. Δημιουργούνται όταν οι άνεμοι μεταφέρουν θερμότητα από τις τροπικές περιοχές προς τους Πόλους και στα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Στην περιοχή που συναντώνται σχηματίζουν μέτωπο.
- Βροχόπτωση σύγκλισης (convergence precipitation): Αυτές οι βροχοπτώσεις σχηματίζονται λόγω των ανοδικών κινήσεων που δημιουργεί η σύγκλιση των αερίων μαζών σε μια περιοχή. Οι βροχοπτώσεις σύγκλισης δημιουργούνται στα κέντρα των χαμηλών βαρομετρικών συστημάτων και εμφανίζονται ιδιαίτερα στα χαμηλά γεωγραφικά πλάτη.

4.1.1.1. Πηγή Δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων γίνεται από μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής μας και πιο συγκεκριμένα από τους Σταθμούς Καμπή, Κομπότι, Κομμένο, Campus Κωστακίων, Κοινοτικό Γραφείο Αγίας Παρασκευής και Φοιτητικές Εστίες. Ο κάθε σταθμός πήρε το όνομα του από την περιοχή που βρίσκεται. Κάθε σταθμός είναι προγραμματισμένος να στέλνει κάθε δέκα λεπτά δεδομένα στο σύστημα βάσης ανοιχτού κώδικα Enhydriς όπου παρέχει μετεωρολογικά και υδρολογικά δεδομένα σε σταθμούς που βρίσκονται σε όλη την Ελλάδα.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα στέλνονται στο Enhydriς και από εκεί εμείς συλλέγουμε τα δεδομένα και τα αποθηκεύουμε στη Βάση Δεδομένων που έχουμε δημιουργήσει. Έχοντας βρει τη Γεωγραφική Τοποθεσία του κάθε σταθμού και τη βροχόπτωση της μίας ημέρας κάνουμε χωρική παρεμβολή (Duan, et al., 2020) (Interpolation), που αποτελεί μια διαδικασία εκτίμησης της τιμής ενός χαρακτηριστικού σε σημεία που δεν ανήκουν στο δείγμα, με βάση τις μετρήσεις στα σημεία του δείγματος για να δημιουργήσουμε έναν πίνακα με τις βροχοπτώσεις της περιοχής ενδιαφέροντος.

4.1.1.2. Βαθμονόμηση

Για την κάλυψη όλης της περιοχής μελέτης που έγινε από 6 σταθμούς χρησιμοποιείται η χωρική παρεμβολή. Οι διάφορες τοποθεσίες μπορούν να προσδιοριστούν ως σημεία στο χώρο και το χρόνο, συνεπώς η παρεμβολή δεν είναι αναγκαίο να προσδιοριστεί σε μια ή δύο διαστάσεις, αν και η πιο κοινή εφαρμογή είναι η προσομοίωση πεδίου δύο διαστάσεων. Ο προσδιορισμός του προβλήματος της παρεμβολής περιλαμβάνει την ανεύρεση μιας τέτοιας μαθηματικής συνάρτησης, που επιβεβαιώνεται για τα σημεία που υπάρχουν δεδομένα και παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια για την εκτίμηση των τιμών των σημείων όταν τα πρωτογενή δεδομένα είναι ελλιπή. Ακολουθεί ο Πίνακας 4-2 με τα όρια βροχόπτωσης και τον αντίστοιχο βαθμό επικινδυνότητας.

Ύψος βροχής	Βαθμός Επικινδυνότητας
Μικρότερο ή ίσο των 5mm	Βαθμός επικινδυνότητας 1
Μεγαλύτερο των 5mm και μικρότερο ή ίσο των 20mm	Βαθμός επικινδυνότητας 2

Μεγαλύτερο των 20mm και μικρότερο ή ίσο των 30mm	Βαθμός επικινδυνότητας 3
Μεγαλύτερο των 30mm και μικρότερο ή ίσο των 50mm	Βαθμός επικινδυνότητας 4
Μεγαλύτερο των 50mm και μικρότερο ή ίσο των 70mm	Βαθμός επικινδυνότητας 5
Μεγαλύτερο των 70mm και μικρότερο ή ίσο των 80mm	Βαθμός επικινδυνότητας 6
Μεγαλύτερο των 80mm και μικρότερο ή ίσο των 100mm	Βαθμός επικινδυνότητας 7
Μεγαλύτερο των 100mm και μικρότερο ή ίσο των 110mm	Βαθμός επικινδυνότητας 8
Μεγαλύτερο των 110mm	Βαθμός επικινδυνότητας 9

Εικόνα 4-2 Βροχόπτωση μίας ημέρας με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας

Στη περίπτωση της βροχόπτωσης των τριών ημερών, η συλλογή και η επεξεργασία δεδομένων είναι η ίδια που γίνεται και στη διαδικασία της βροχόπτωσης της μίας ημέρας. Αυτό που διαφέρει είναι ο τρόπος υπολογισμού της βροχόπτωσης, διότι συλλέγουμε την βροχόπτωση των τριών τελευταίων 24 ωρών. Τις αθροίζουμε και βρίσκουμε την μέση τιμή της βροχόπτωσης των τριών ημερών. Τα όρια που ορίστηκαν για τη βροχόπτωση των τριών ημερών είναι τα εξής:

Ύψος βροχής τριών ημερών	Βαθμός Επικινδυνότητας
Μικρότερο ή ίσο των 10mm	Βαθμός επικινδυνότητας 1
Μεγαλύτερο των 10mm και μικρότερο ή ίσο των 25mm	Βαθμός επικινδυνότητας 2
Μεγαλύτερο των 25mm και μικρότερο ή ίσο των 50mm	Βαθμός επικινδυνότητας 3
Μεγαλύτερο των 50mm και μικρότερο ή ίσο των 75mm	Βαθμός επικινδυνότητας 4
Μεγαλύτερο των 75mm και μικρότερο ή ίσο των 125mm	Βαθμός επικινδυνότητας 5
Μεγαλύτερο των 125mm και μικρότερο ή ίσο των 150mm	Βαθμός επικινδυνότητας 6
Μεγαλύτερο των 150mm και μικρότερο ή ίσο των 175mm	Βαθμός επικινδυνότητας 7

Μεγαλύτερο των 175mm και μικρότερο ή ίσο των 200mm	Βαθμός επικινδυνότητας 8
Μεγαλύτερο των 200mm και μικρότερο ή ίσο των 250mm	Βαθμός επικινδυνότητας 9
Μεγαλύτερο των 250mm	Βαθμός επικινδυνότητας 10

Εικόνα 4-3 Βροχόπτωση τριών ημερών με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας

4.1.2. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους

Τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (ΨΜΕ-DEM) είναι επιφάνειες που παράγονται για να περιγράψουν το ανάγλυφο του εδάφους και περιέχουν την υψομετρική πληροφορία. Αποτελούν μια ψηφιακή αναπαράσταση ενός τμήματος της Φυσικής Γήινης Επιφάνειας (ΦΓΕ) και παράγεται με την αξιοποίηση ενός συνόλου δειγματοληπτικών (υψομετρικών τις πλείστες φορές) σημείων, τα οποία έχουν κατανεμηθεί στο χώρο με τρόπο που να αντιπροσωπεύουν το μελετώμενο ανάγλυφο. Υπάρχουν συνολικά δύο κύριοι τύποι ψηφιακών μοντέλων, τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DTM και DEM) και τα Ψηφιακά Μοντέλα Επιφανείας (DSM).

Αυτού του τύπου χωρικά δεδομένα αποτελούνται από πλέγματα στα οποία περιέχονται κελιά με μια και μοναδική τιμή, το υψόμετρο του εδάφους. Η ακρίβεια της δομής αυτής εξαρτάται από το πόσο έντονο είναι το ανάγλυφο σε σχέση με το μέγεθος των κελιών του πλέγματος. Για παράδειγμα, για ομαλό ανάγλυφο, λιγότερα σημεία είναι επαρκή για να περιγράψουν την επιφάνεια ενώ για ένα πιο περίπλοκο ανάγλυφο θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν περισσότερα σημεία (άρα απαιτούνται περισσότερα και μικρότερου μεγέθους κελιά) για να πετύχουμε τον ίδιο βαθμό ακρίβειας. Γι' αυτό και στις περιπτώσεις όπου το έδαφος χαρακτηρίζεται από περίπλοκο αλλά και ομαλό ανάγλυφο, υπάρχει δυσκολία στον καθορισμό της επιθυμητής ανάλυσης (resolution) που θα αποδώσει το ανάγλυφο ολόκληρης της περιοχής με την αναγκαία ακρίβεια. Η χαμηλή ανάλυση δεν αποδίδει την λεπτομέρεια του έντονου ανάγλυφου, ενώ από την άλλη μια πιο υψηλή ανάλυση απαιτεί περισσότερα δειγματοληπτικά σημεία, τα οποία θα αποδώσουν με υψηλότερη ακρίβεια την υποπεριοχή με το έντονο ανάγλυφο, ωστόσο θα υπάρξει μεγάλος πλεονασμός σημείων στην ομαλή υποπεριοχή. Αυτό οδηγεί σε μεγάλο όγκο δεδομένων και χρονοβόρες υπολογιστικές διαδικασίες.

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους έχουν ευρεία χρήση όχι μόνο στην Τοπογραφία και Χαρτογραφία για την παραγωγή χαρτών και λεπτομερών τοπογραφικών διαγραμμάτων αλλά και στις επιστήμες. Αποτελούν πρωταρχικής σημασίας δεδομένα και πολύ αναγκαία για πολλές εφαρμογές και σε τομείς που λαμβάνουν μέρος στην επιφάνεια της γης, όπως οι μελέτες για τον έλεγχο πλημμυρών, μελέτες για τεχνικά έργα, μελέτες για περιβάλλον και ενέργεια. Οι χρήσεις εξαπλώνονται σε ένα μεγάλο φάσμα που δραστηριοποιούνται τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους. Μερικά από αυτά είναι:

- 3D πλάνα πτήσεων
- Αρχαιολογία
- Ακριβής γεωργία
- Έξυπνα συστήματα μεταφορών
- Δημιουργία χαρτών του ανάγλυφου

Η αναγκαιότητα της παραγωγής μιας τρισδιάστατης αναπαράστασης του εδάφους είναι ορατή για πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες και ο έλεγχος της ακρίβειας του είναι μια διαδικασία καθοριστικής σημασίας.

4.1.2.1. Πηγή Δεδομένων

Η πηγή του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους προήλθε από τον Οργανισμό Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδος. Ο Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδος είναι πολύ σημαντικός γιατί αφορά τη χαρτογράφηση και την κτηματογράφηση της Ελλάδας, ενώ παράλληλα αποτελεί το επίσημο σημείο ενημέρωσης και Επικοινωνίας για την Εθνική Υποδομή Γεωχωρικών Πληροφοριών. Μία από τις πιο σημαντικές συνεισφορές αποτελούν οι δωρεές όλων των ορθοφωτοχαρτών υψηλής ανάλυσης για την Περιφέρεια Αττικής και για άλλες περιοχές της Ελλάδας. Οι ορθοφωτοχάρτες υψηλής ανάλυσης είναι διαθέσιμοι από την ειδική ιστοσελίδα της εταιρείας Εθνικό Κτηματολόγιο και Χαρτογράφηση Α.Ε. και ως υπηρεσία χαρτών διαδικτύου (Web Map Service - WMS).

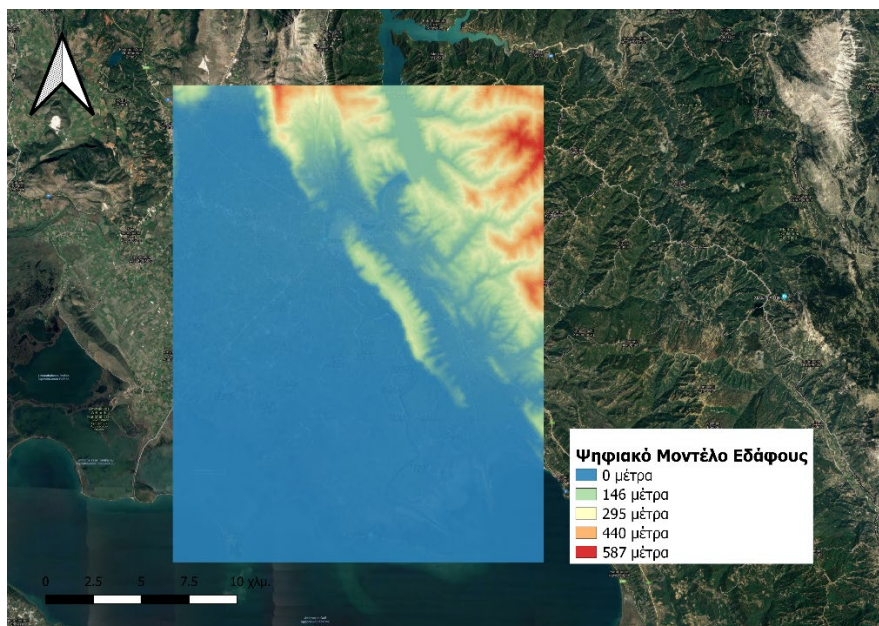
Η Υπηρεσία Θέασης Ορθοφωτογραφιών δημιουργήθηκε από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. (νυν Ελληνικό Κτηματολόγιο) με σκοπό να δοθεί σε όλους τους πολίτες η δυνατότητα για δωρεάν περιήγηση σε χαρτογραφικό υλικό όλης της χώρας.

Οι ορθοφωτογραφίες, που παρέχονται με αυτή την υπηρεσία αφορούν στο σύνολο της Ελληνικής Επικράτειας με εξαίρεση ορισμένες παραμεθόριες περιοχές καθώς και ορισμένες διαβαθμισμένες εγκαταστάσεις για τις οποίες ισχύουν περιορισμοί και απαγορεύσεις από τις αρμόδιες Αρχές και Υπηρεσίες της χώρας σε ότι αφορά στις διαδικασίες των αεροφωτογραφήσεων. Η χωρική ανάλυση των εικόνων είναι 20 cm για τις αστικές περιοχές και 50 cm για τις υπόλοιπες περιοχές της χώρας.

Η πρόσβαση στις υπηρεσίες θέασης ορθοφωτογραφιών γίνεται με δύο τρόπους:

- Μέσω της ιστοσελίδας <http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx> ή μέσω του επίσημου ιστότοπου του Ελληνικού Κτηματολογίου www.ktimatologio.gr
- Μέσω του WMS (Web Mapping Service) έκδοσης 1.1.0 σε γεωγραφικό σύστημα WGS84. Το WMS είναι ένα ανοικτό πρότυπο που έχει οριστεί από το OGC (OpenGIS consortium) και το οποίο παρέχει μια κοινή τυποποιημένη διεπαφή για πρόσβαση σε θεματικές ενότητες χαρτών που παρέχονται από κάποιον χωρικό εξυπηρετητή. Οι χρήστες αυτών των διεπαφών (interface) που είναι συμβατοί με αυτό το ανοικτό πρότυπο μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους ασχέτως του λογισμικού πελάτη (client software) που χρησιμοποιούν. Η υπηρεσία αυτή διατίθεται στην διεύθυνση <http://gis.ktimanet.gr/wms/wmsopen/wmsserver.aspx>.

Εργαστήκαμε με το σύνολο δεδομένων GR_DEM_1015 που είναι ένα σύνολο δεδομένων εδάφους που αφορά την ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.



Εικόνα 4-4 Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους μαζί με τα υψόμετρα

4.1.2.2. Βαθμονόμηση & Οπτικοποίηση

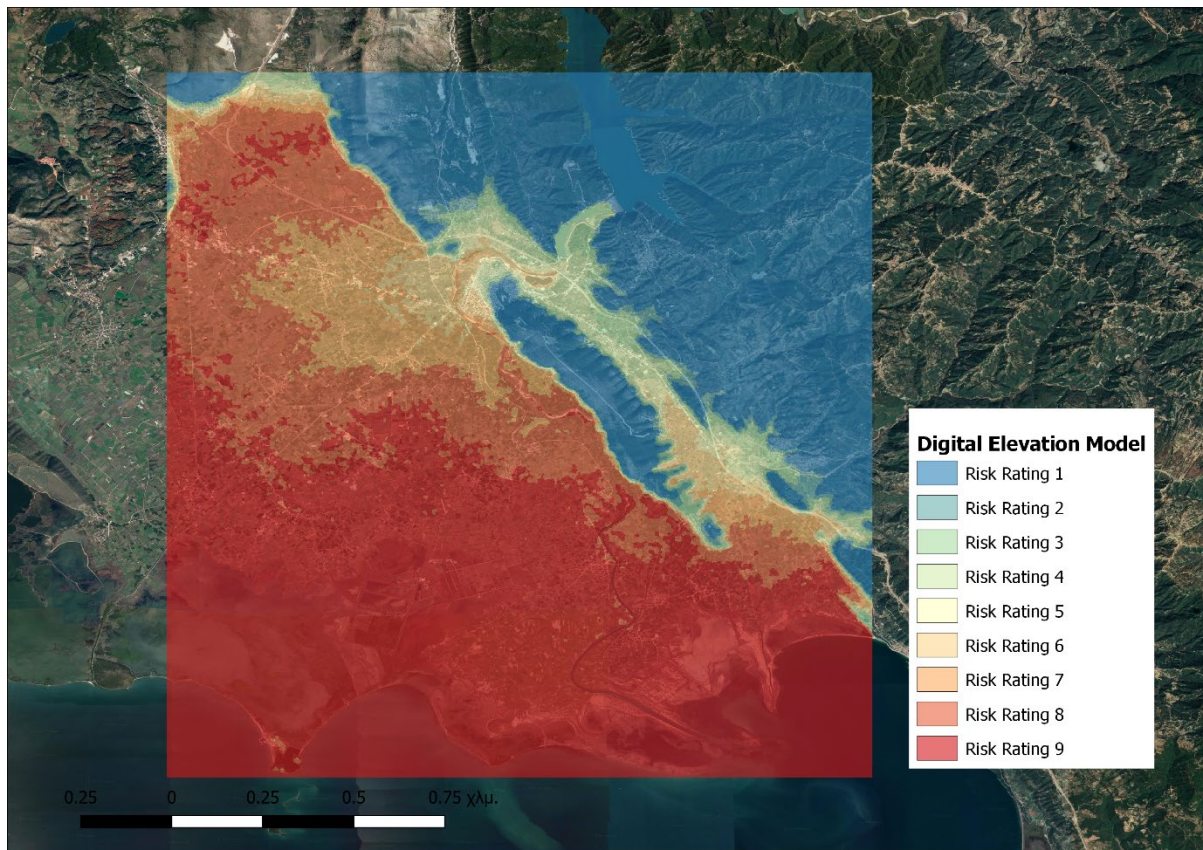
Σύμφωνα με την μέθοδο εκτίμησης πλημμυρικού ρίσκου παραμετροποιήθηκε η εικόνα του Ψηφιακού μοντέλου εδάφους, αφού αρχικά επεξεργάστηκε και μειώθηκε η ανάλυση της σε 4000x4000 εικονοστοιχεία. Επόμενο βήμα ήταν να βρεθούν τα ύψη από την εικόνα και να κατηγοριοποιηθούν στον αντίστοιχο βαθμό επικινδυνότητας. Ακολουθεί ο Πίνακας 4.4 του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους μαζί με τους βαθμούς επικινδυνότητας.

Ύψος Ψηφιακό Μοντέλου Εδάφους	Βαθμός Επικινδυνότητας
Μικρότερο από 6 μέτρα	Βαθμός επικινδυνότητας 9
Μεταξύ 6 μέτρων και 12 μέτρων	Βαθμός επικινδυνότητας 8
Μεταξύ 12 μέτρων και 18 μέτρων	Βαθμός επικινδυνότητας 7
Μεταξύ 18 μέτρων και 24 μέτρων	Βαθμός επικινδυνότητας 6
Μεταξύ 24 μέτρων και 28 μέτρων	Βαθμός επικινδυνότητας 5

Μεταξύ 28 μέτρων και 36 μέτρων	Βαθμός επικινδυνότητας 4
Μεταξύ 36 μέτρων και 48 μέτρων	Βαθμός επικινδυνότητας 3
Μεταξύ 48 μέτρων και 60 μέτρων	Βαθμός επικινδυνότητας 2
Πάνω από τα 60 μέτρα	Βαθμός επικινδυνότητας 1

Πίνακας 4-4 Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους τα όρια για κάθε βαθμό επικινδυνότητας

Στην Εικόνα 4-5 απεικονίζεται το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας.



Εικόνα 4-5 Χάρτης Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας

4.1.3. Κλίση Γης

Ως κλίση Γης ή Εδάφους ορίζεται ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής του υψομέτρου και υπολογίζεται σε μοίρες ή και σε ποσοστό επί τοις εκατό. Η κλίση Γης είναι μία σημαντική παράμετρος για να μπορέσει να αναλυθεί το ανάγλυφο, αφού με βάση αυτό εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα. Ο βαθμός κλίσης είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει τον έλεγχο της διάβρωσης. Το ποσοστό κλίσης μπορεί να θεωρηθεί ως δείκτης επιφάνειας για τον εντοπισμό της ευαισθησίας στις πλημμύρες. Με άλλα λόγια, επιβαλλεται να συμπεριληφθεί, καθώς παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της απορροής της επιφάνειας (ταχύτητα και κατακόρυφη διήθηση), και έτσι επηρεάζει την ευαισθησία στις πλημμύρες.

4.1.3.1. Πηγή Δεδομένων

Η πηγή της Κλίσης Γης προήλθε από το από τον Οργανισμό Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδος. Το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης παρουσιάζει μικρή κλίση Γης. Η ανάλυση του επιθέματος είναι 25m x 25m. Η τιμή κάθε ψηφίδα αντιπροσωπεύει τη μέση κλίση του εδάφους στην επιφάνεια που καλύπτει η ψηφίδα σε μοίρες (degrees). Στη συνέχεια αποκόπηκαν τα στοιχεία που ήταν εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος.

4.1.3.2. Βαθμονόμηση

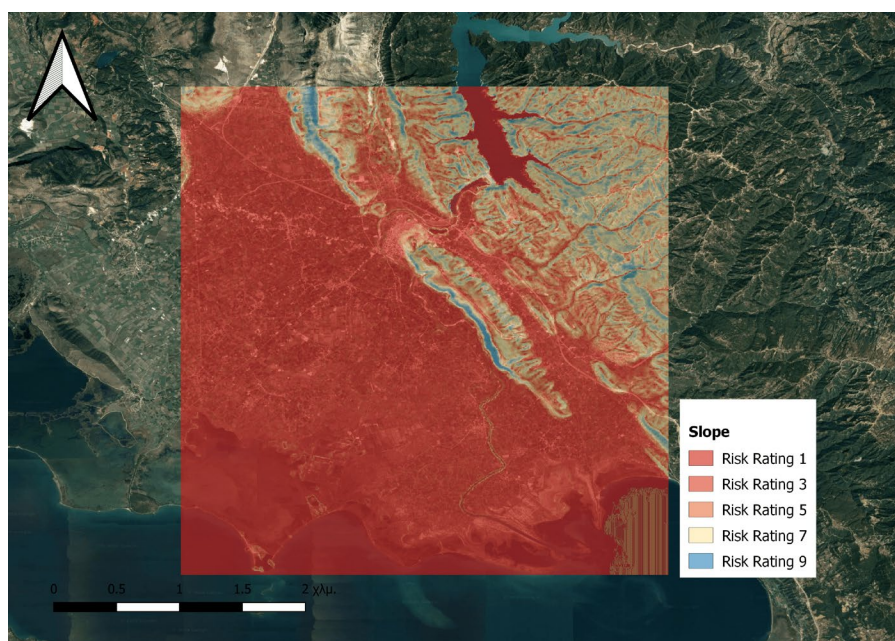
Σύμφωνα με την μέθοδο εκτίμησης πλημμυρικού ρίσκου, παραμετροποιήθηκε η εικόνα της Κλίσης Εδάφους, αφού αρχικά επεξεργάστηκε και μειώθηκε η ανάλυση της σε 4000x4000 εικονοστοιχεία. Επόμενο βήμα ήταν να βρεθούν οι κλίσεις του εδάφους από την εικόνα και να κατηγοριοποιηθούν στον αντίστοιχο βαθμό επικινδυνότητας. Ακολουθεί ο Πίνακας 4-5 της Κλίσης Εδάφους μαζί με τους βαθμούς επικινδυνότητας.

Συνεχίζοντας στο QGIS θα ορίσουμε τα ύψη ανάλογα με την επικινδυνότητα που ορίσαμε σύμφωνα με την AHP, λαμβάνοντας υπόψη την ταξινόμηση των κλίσεων που πρότεινε ο Demek (Demek, 1972) η οποία υιοθετήθηκε από την Επιτροπή Γεωμορφολογικής Έρευνας και Χαρτογράφησης. Παρακάτω παρουσιάζονται οι κλίσεις του εδάφους, καθώς ο αντίστοιχος βαθμός επικινδυνότητας:

Κλίση Εδάφους	Βαθμός Επικινδυνότητας
Μικρότερο από 2%	Βαθμός επικινδυνότητας 9
Μεταξύ 2% μέχρι και 5 %	Βαθμός επικινδυνότητας 7
Μεταξύ 5% μέχρι και 15%	Βαθμός επικινδυνότητας 5
Μεταξύ 15% και 35%	Βαθμός επικινδυνότητας 3
Πάνω από τα 35 %	Βαθμός επικινδυνότητας 1

Πίνακας 4-5 Κλίση εδάφους και η βαθμονόμηση τους σε Επικινδυνότητα

Σύμφωνα με τον παραπάνω Πίνακας 4-5 η κάθε τιμή της Κλίσης Εδάφους θα ‘χρωματιστεί’ και θα κατηγοριοποιηθεί σύμφωνα και με τον αντίστοιχο βαθμό επικινδυνότητας. Ακολουθεί η Εικόνα 4-5 που παρουσιάζει τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας του χάρτη που θα απεικονίζει το χάρτη επικινδυνότητας της περιοχής ενδιαφέροντος σύμφωνα με τη μέθοδο εκτίμησης πλημμυρικού ρίσκου.



Εικόνα 4-6 Χάρτης Κλίσης Γης με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας

4.1.4. Χρήση Γης

Η χρήση γης ορίζεται ως ο τρόπος χρήσης των υπάρχουσών πόρων από τον άνθρωπο, όπως για παράδειγμα, η γεωργία, η εξόρυξη, και η κοπή ξυλείας. Η χρήση γης περιλαμβάνει τη διαχείριση και την τροποποίηση του φυσικού περιβάλλοντος ή της άγριας φύσης σε “χτισμένο” περιβάλλον, όπως οικισμοί και ημιφυσικά ενδιαιτήματα, όπως τα αρόσιμα αγροκτήματα, τα βοσκοτόπια και τα δάση που διαχειρίζονται. Η χρήση γης από τους ανθρώπους έχει μακρά ιστορία, αρχίζοντας πριν από περισσότερα από 10.000 χρόνια. Έχει επίσης οριστεί ως "το σύνολο των ρυθμίσεων, των δραστηριοτήτων και των εισροών που αναλαμβάνουν οι άνθρωποι σε ένα συγκεκριμένο τύπο κάλυψης γης".

Κατά συνέπεια, η αλλαγή της χρήσης γης είναι η μεταβολή που ξεκινά και κινείται από τον άνθρωπο με την αλλαγή του είδους χρήσης γης, είτε μέσα από μια άλλη μορφή εκμετάλλευσης του εδάφους (όπως η αλλαγή από ένα δάσος σε καλλιεργήσιμη γη) ή μέσω των αλλαγών στις πρακτικές διαχείρισης εντός ενός τύπου χρήσης γης (για παράδειγμα, η εντατικοποίηση της γεωργίας). Αυτές οι αλλαγές στις χρήσεις γης, μαζί με τον συνοδευτικό κατακερματισμό των οικοτόπων (η ανατομή των χώρων διαβίωσης), είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες των παρελθόντων και των μελλοντικών αλλαγών των οικοσυστημάτων.

4.1.4.1. Πηγή Δεδομένων

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα Copernicus και συγκεκριμένα από τους δορυφόρους Sentinel-1 & -2 για τη χαρτογράφηση της χρήσης/κάλυψης γης της λεκάνης απορροής του ποταμού Αράχθου. Τα δεδομένα radar (SAR) του Sentinel-1 επεξεργάστηκαν κατάλληλα ώστε να αναδειχθεί μία μεθοδολογία καταγραφής πλημμυρικών συμβάντων.

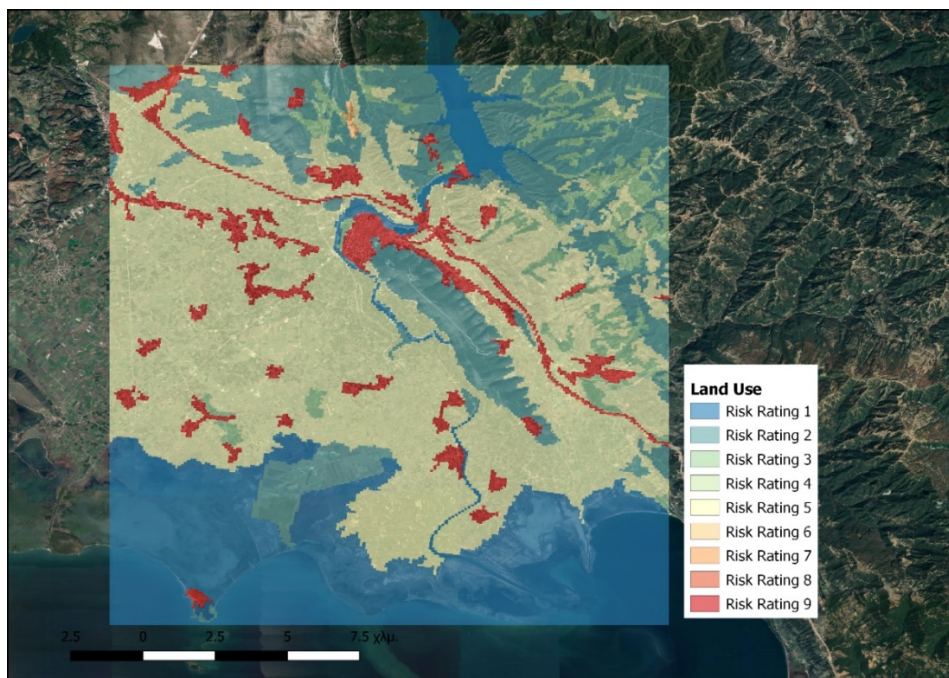
4.1.4.2. Βαθμονόμηση

Σύμφωνα με την μέθοδο εκτίμησης πλημμυρικού ρίσκου παραμετροποιήθηκε η εικόνα της Χρήσεις γης, αφού αρχικά επεξεργάστηκε και μειώθηκε η ανάλυση της σε 4000x4000 εικονοστοιχεία. Επόμενο βήμα ήταν να βρεθούν οι αντίστοιχες Χρήσεις Γης από την εικόνα και να κατηγοριοποιηθούν η καθεμία στον αντίστοιχο βαθμό επικινδυνότητας. Ακολουθεί ο Πίνακας 4-6 με τις Χρήσεις Γης μαζί με τους αντίστοιχους βαθμούς επικινδυνότητας. Συνεχίζοντας στο QGIS ορίζουμε τα ύψη ανάλογα με την επικινδυνότητα που ορίσαμε σύμφωνα με την AHP. Ακολουθούν οι βαθμοί επικινδυνότητας και οι αντίστοιχες κατηγορίες.

Δείκτης Επικινδυνότητας	Περιοχές Χρήσης Γης
Δείκτης επικινδυνότητας 9	Συνεχής αστική βιομηχανική ύλη, Ασυνεχές αστικό ιστό βιομηχανικό, Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες Κατοικίες, Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και σχετική γη
Δείκτης επικινδυνότητας 7	Ορυκτά σημεία
Δείκτης επικινδυνότητας 5	Μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις, Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες μούρων Σύνθετα πρότυπα καλλιέργειας, Ελαιώνας
Δείκτης επικινδυνότητας 3	Οικόπεδα κατεχόμενα κυρίως από τη γεωργία με σημαντικές περιοχές φυσικής βλάστησης
Δείκτης επικινδυνότητας 2	Μη αρδευόμενο ανοιχτό χώρο αρόσιμης γης, Πεδία ρύζι Agri, Πλατύφυλλα δάση, Δάσος κωνοφόρων, Μικτά δάση, Φυσικά λιβάδια Λιβιάδι, Σκληρόφυλλη βλάστηση Agri, Μεταβατικό δασικό δάσος
Δείκτης επικινδυνότητας 1	Λιβιάδια νερό, Παραλίες αμμόλοφους άμμος νερό, Εσωτερικές ελώδες ανοικτή περιοχή, Αλατούχα ποτάμι νερό, Αλατούχα νερά, Οι οδοί νερού, Υδατικά σώματα νερό, Παράκτια ύδατα λιμνοθάλασσας, Θαλασσινό και θαλασσινό νερό

Πίνακας 4-6 Χρήση Γης και αντιστοίχισης με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4-6 θα 'χρωματιστεί' ο χάρτης για να γίνει οπτικοποίηση του χάρτη και να γίνει κατηγοριοποίηση σύμφωνα και με τα όρια επικινδυνότητας. Ακολουθεί η Εικόνα 4-7 με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας .



Εικόνα 4-7 Χάρτης Χρήσεις Γης με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας

4.1.5. Στάθμη Ποταμού

4.1.5.1. Σταθμηγράφοι

Ο σταθμηγράφος είναι καταγραφικό όργανο μέτρησης της στάθμης ενός ποταμού. Το σύστημα μπορεί να μετρά και να καταγράφει τις μεταβολές της στάθμης ψηφιακά. Οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι στη νέα Γέφυρα Άρτας και στη Γέφυρα Βλαχέρνας, σημείο κομβικό για την παρακολούθηση του ύψους του νερού στον ποταμό Άραχθο. Το βήμα καταγραφής είναι ανά δέκα λεπτά της ώρας, και οι τιμές της στάθμης αποστέλλονται κάθε μία ώρα.

4.1.5.2. Πηγή Δεδομένων

Η συλλογή των δεδομένων από τους σταθμηγράφους που έχουμε τοποθετήσει έχουν γίνει μέσω GSM κάρτας που έχουν τοποθετηθεί σε κάθε σταθμηγράφο. Αυτό δίνει το πλεονέκτημα στο ότι δεν χρειάζεται να υπάρχει κάπου κοντά δίκτυο ίντερνετ ή παροχή ρεύματος.



Εικόνα 4-8 Σταθμηγράφος της νέας Γέφυρας Αρτας

Ο κάθε σταθμηγράφος στέλνει ένα αρχείο μορφής κειμένου, που μας αναφέρει την ημερομηνία και ώρα που έγινε η καταγραφή, καθώς και τα επίπεδα της μπαταρίας για να γνωρίζουμε εάν είναι επαρκή για να δέχεται τις μετρήσεις και να τις στέλνει στη Βάση Δεδομένων μας. Επίσης καταγράφεται το ύψος του νερού και η παροχή νερού που υπάρχει εκείνη τη στιγμή στον ποταμό.



Εικόνα 4-9 Σταθμηγράφος της νέας Γέφυρα Βλαχέρνας

4.1.5.3. Βαθμονόμηση

Η βαθμονόμηση γίνεται από δεδομένα των σταθμηγράφων. Έχοντας στη διάθεσή μας δεδομένα ανά μισή ώρα δημιουργήσαμε το βαθμό επικινδυνότητας για το ύψος νερού στο ποταμό Άραχθο. Η παραμετροποίηση του αρχείου που αφορά τη χρήση γης έγινε με τη χρήση Python. Αρχικά έγινε η σύνδεση με τη Βάση Δεδομένων για να εισάγουμε τις στάθμες του ποταμού σε πίνακα NumPy. Βαθμονομούμε διαφορετικά την κάθε κατηγορία και τις τοποθετούμε την ανάλογη κλίμακα

επικινδυνότητας. Ακολουθούν οι βαθμοί επικινδυνότητας και οι αντίστοιχες κατηγορίες ύψους νερού στον Πίνακα 4.7.

Ύψος Στάθμης Ποταμού	Βαθμός Επικινδυνότητας
0 μέτρα έως 2 μέτρα	Επικινδυνότητα 1
2 μέτρα έως 3 μέτρα	Επικινδυνότητα 2
3 μέτρα έως 4 μέτρα	Επικινδυνότητα 3
Παραπάνω από 4 μέτρα	Επικινδυνότητα 4

Πίνακας 4-7 Σταθμηγράφος τα όρια επικινδυνότητας

4.1.6. Απόσταση κάθε σημείου από τον Ποταμό

Από τον υπολογισμό ύψους εδάφους και απόστασης κάθε σημείου από το ποτάμι εξάγουμε έναν χάρτη για την οπτική απεικόνιση. Για την δημιουργία του συγκεκριμένου χρησιμοποιήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο εδάφους από το ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Copernicus. Αφού δημιουργήσαμε τον πίνακα μεταξύ απόστασης ποταμού και υψομέτρου εδάφους το εισαγάγαμε στο QGIS για την απεικόνιση του χάρτη απόστασης από το ποτάμι.

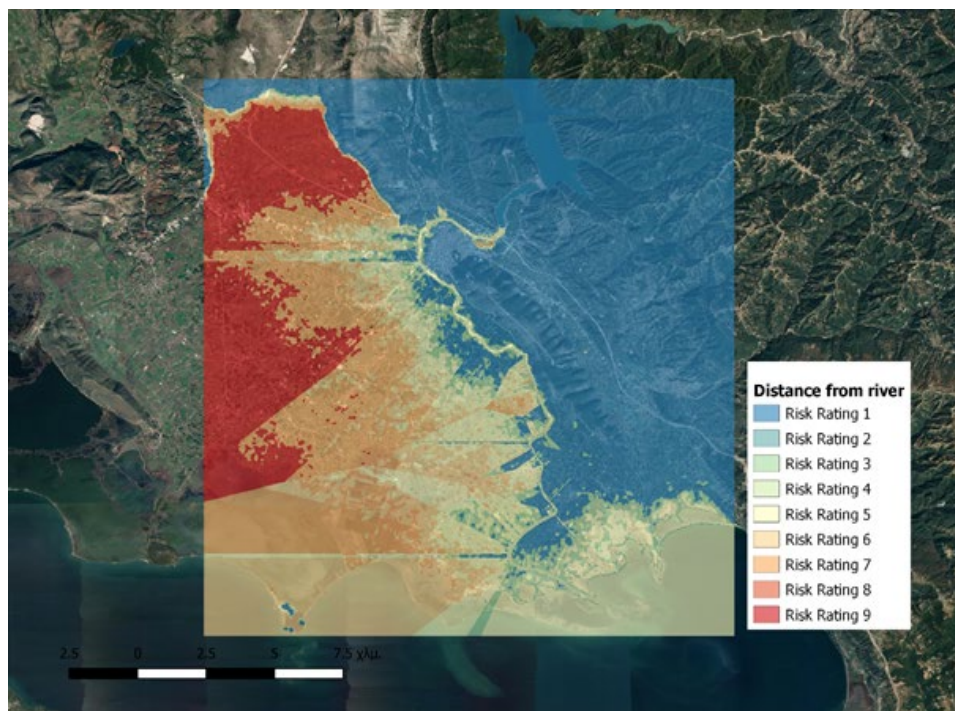
4.1.6.1. Βαθμονόμηση

Σύμφωνα με την μέθοδο εκτίμησης πλημμυρικού ρίσκου παραμετροποιήθηκε η εικόνα της Απόστασης κάθε σημείου από τον ποτάμι, αφού αρχικά επεξεργάστηκε και μειώθηκε η ανάλυση της σε 4000x4000 εικονοστοιχεία. Επόμενο βήμα ήταν να βρεθούν οι αντίστοιχες τιμές των αποστάσεων κάθε σημείου από το ποτάμι και να κατηγοριοποιηθούν οι αποστάσεις στον αντίστοιχο βαθμό επικινδυνότητας. Ακολουθεί ο Πίνακας 4-8 όπου παρουσιάζεται η συσχέτιση της απόστασης κάθε σημείου από το ποτάμι μαζί με τους βαθμούς επικινδυνότητας. Συνεχίζοντας στο QGIS θα ορίσουμε τα ύψη ανάλογα με την επικινδυνότητα σύμφωνα με την ΑΗΡ. Ακολουθούν οι βαθμοί επικινδυνότητας και οι αντίστοιχες κατηγορίες.

Απόσταση από ποτάμι	Βαθμός Επικινδυνότητας
Μικρότερο του -10 μέτρα	Επικινδυνότητα 9
Μεγαλύτερο του-10 και μικρότερο του -5 μέτρα	Επικινδυνότητα 7
Μεγαλύτερο του-5 και μικρότερο του -3 μέτρα	Επικινδυνότητα 6
Μεγαλύτερο του-3 και μικρότερο του 0 μέτρα	Επικινδυνότητα 5
Μεγαλύτερο του 0 και μικρότερο του 2 μέτρα	Επικινδυνότητα 3
Μεγαλύτερο των 2 μέτρων	Επικινδυνότητα 1

Πίνακας 4-8 Απόσταση κάθε σημείου από το ποτάμι απεικόνιση με τα όρια επικινδυνότητας τους

Σύμφωνα με τον παραπάνω Πίνακα 4-8, θα δημιουργηθεί χάρτης επικινδυνότητας για κάθε τιμή της απόστασης από το ποτάμι, και θα 'χρωματιστεί' ανάλογα με τον αντίστοιχο βαθμό επικινδυνότητας. Ακολουθεί Εικόνα 4-10 που αποτελεί τον χάρτη απόστασης κάθε σημείου από το ποτάμι με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας.



Εικόνα 4-10 Χάρτης Απόστασης κάθε σημείου από το ποτάμι με τις αντίστοιχες βαθμολογίες επικινδυνότητας

5. Αποτελέσματα

5.1. Εισαγωγή

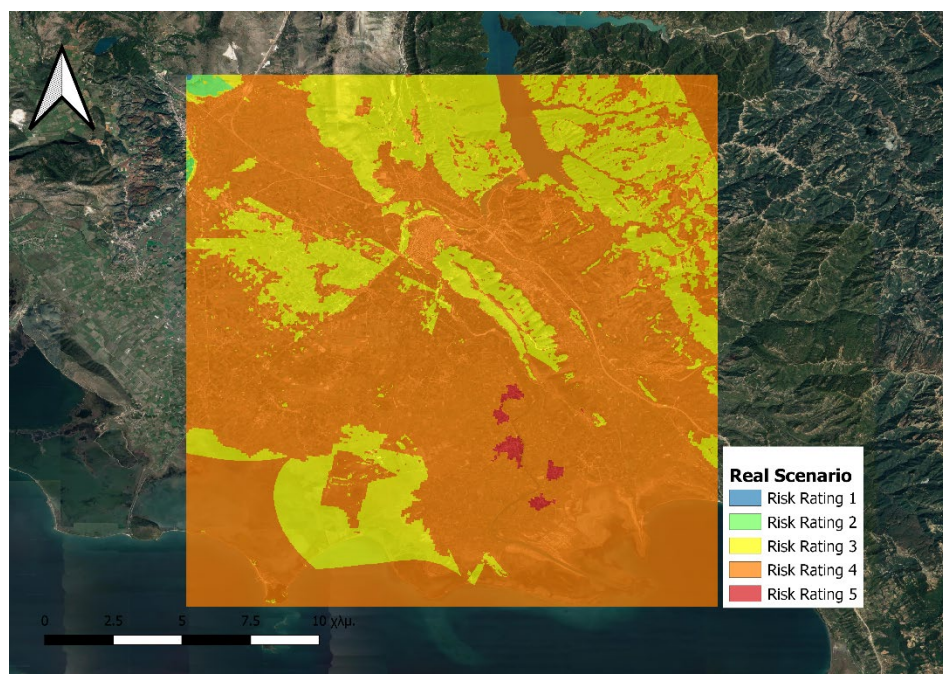
Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται η τελική συμπεριφορά του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων, όπως προκύπτει από τη χρήση διάφορων βασικών σεναρίων χρήσης. Για να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα του συστήματος εφαρμόστηκε η μεθοδολογία βασισμένη σε δεδομένα πραγματικά, αλλά και σε δεδομένα προσομοίωσης.

5.2. Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε πραγματικά δεδομένα

Στο **Πρώτο σενάριο** εισαγάγαμε στην μεθοδολογία δεδομένα από την ημέρα της πλημμύρας του 2015. Εκείνη την περίοδο υπήρχαν βροχές και την ημέρα την μεγάλης πλημμύρας είχαμε σχετικά υψηλές τιμές βροχόπτωσης, καθώς και άνοιγμα των θυροφραγμάτων του φράγματος Πουρνάρι 2 με αποτέλεσμα μεγάλος όγκος νερού να έρθει απότομα σε όλο τον κάμπο της Άρτας. Ακολουθεί ο Πίνακας 5-1 με τα δεδομένα βροχόπτωσης, καθώς και το ύψος νερού, και τον χάρτη απεικόνισης κινδύνου καθώς και η Εικόνα 5-1 που παρουσιάζει το πρώτο σενάριο για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στη ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου με πραγματικά δεδομένα του 2015 με το οπτικό αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθοδολογίας.

	Μετεωρολογικός Σταθμός Καμπής	Μετεωρολογικός Σταθμός Εστίες Άρτας	Μετεωρολογικός Σταθμός Carpmus Κωστακίων	Μετεωρολογικός Σταθμός Αγία Παρασκευή	Μετεωρολογικός Σταθμός Κομποτίου	Μετεωρολογικός Σταθμός Κομμένου
Βροχόπτωση 1 ημέρας	89mm	68mm	70mm	75mm	85mm	65mm
Βροχόπτωση 3 ημερών	115mm	120mm	108mm	116mm	122mm	129mm
Στάθμη Ποταμού	3,m	3m	3m	3m	3m	3m

Πίνακας 5-1 Πραγματικά Δεδομένα της Πλημμύρας του 2015



Εικόνα 5-1 Πρώτο σενάριο για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στη ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου με πραγματικά δεδομένα του 2015

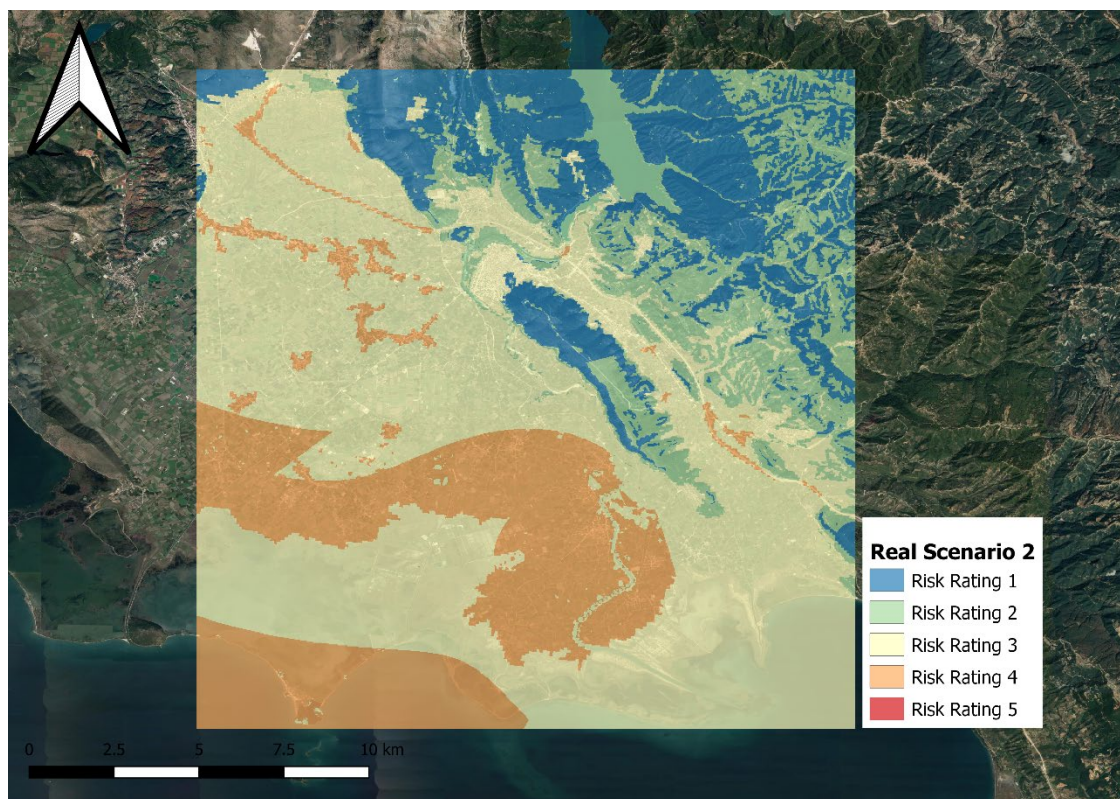
Από την υλοποίηση του πρώτου σεναρίου παρατηρείται ότι οι περιοχές που επλήγησαν είναι κατά κύριο λόγο οι οικισμοί όπου βρισκόταν στο νοτιοανατολικό μέρος της περιοχής ενδιαφέροντος. Παρατηρούνται κοινά σημεία με την ημέρα της πλημμύρας του 2015. Οι οικισμοί Ακροποταμιά, Παχυκάλαμος, Νεοχώρι και Κομμένο είχαν τις μεγαλύτερες καταστροφές.

Στο **Δεύτερο Σενάριο** εισαγάγαμε στην μεθοδολογία δεδομένα από τις 23/01/2021. Εκείνη την ημέρα δεν είχε υψηλή ημερήσια βροχόπτωση και σχετικά μέτρια βροχόπτωση τριών ημερών και το ύψος του ποταμού ήταν στα 1,3 μέτρα. Ακολουθεί Πίνακας 5-2 με τα δεδομένα βροχόπτωσης καθώς και το ύψος του νερού, και η Εικόνα 5-2 που είναι ο χάρτης απεικόνισης κινδύνου.

	Μετεωρολογικός Σταθμός Καμπής	Μετεωρολογικός Σταθμός Εστίες Άρτας	Μετεωρολογικός Σταθμός Carpius Κωστακίων	Μετεωρολογικός Σταθμός Αγία Παρασκευή	Μετεωρολογικός Σταθμός Κομποτίου	Μετεωρολογικός Σταθμός Κομμένου
Βροχόπτωση 1 ημέρας	32mm	24mm	31mm	28mm	27mm	26mm

Βροχόπτωση 3 ημερών	45mm	48mm	75mm	61mm	50mm	71mm
Στάθμη Ποταμού	1,3m	1,3m	1,3m	1,3m	1,3m	1,3m

Πίνακας 5-2 Δεύτερο σενάριο για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στη ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου με πραγματικά δεδομένα του 2021



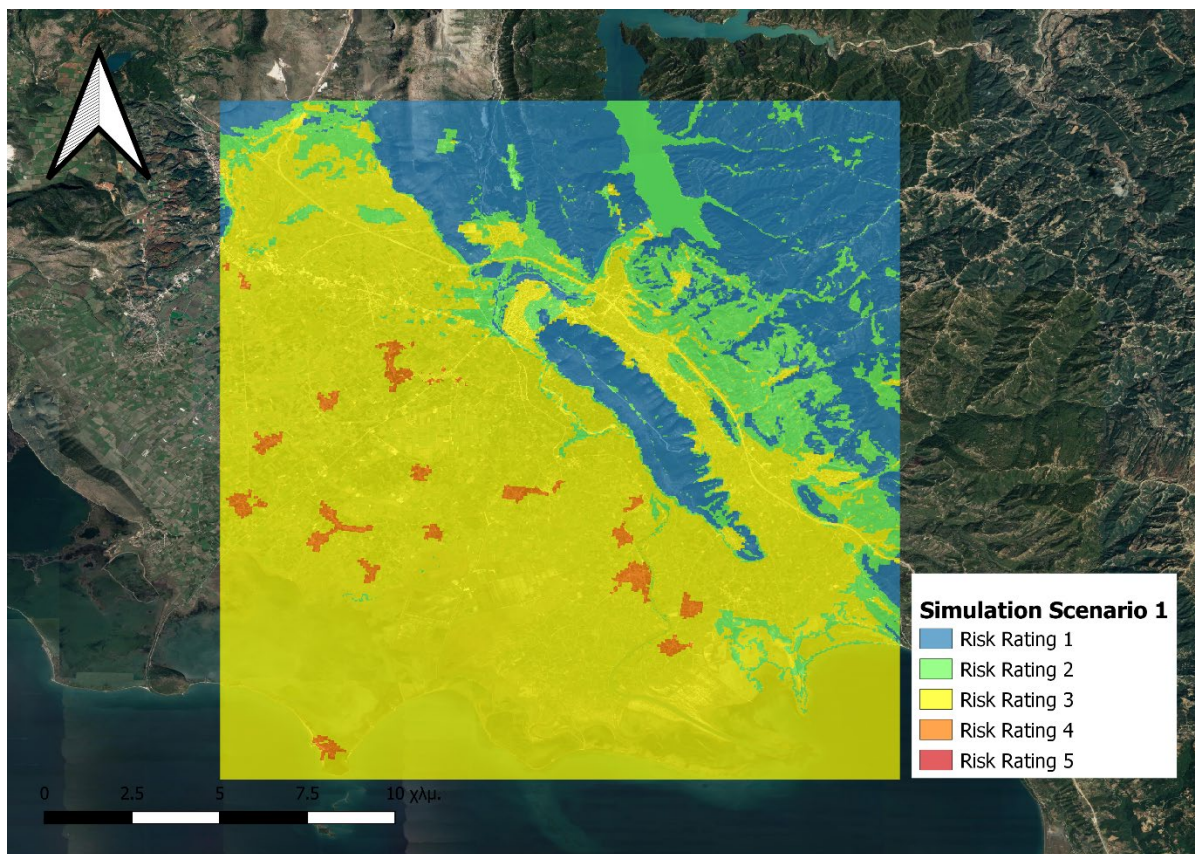
Εικόνα 5-2 Δεύτερο σενάριο για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στη ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου με πραγματικά δεδομένα του 2021.

5.3. Εφαρμογή της μεθοδολογίας σε δεδομένα προσομοίωσης

Στο **Πρώτο σενάριο προσομοίωσης** εισαγάγαμε στην μεθοδολογία δεδομένα βροχόπτωσης της περιοχής τις τελευταίες τρεις ημέρες, αλλά στα δεδομένα της μίας ημέρας θα προσθέσουμε ξαφνική μπόρα. Η στάθμη του ποταμού δεν θα αυξηθεί δραματικά, θα είναι λίγο πάνω από τα φυσιολογικά επίπεδα περίπου στα 1,7 μέτρα. Η ξαφνική μπόρα θα επηρεάσει κατά κύριο λόγο τα πεδινά της περιοχής, αλλά με σχετικά υψηλό βαθμό επικινδυνότητας.

	Μετεωρολογικός Σταθμός Καμψής	Μετεωρολογικός Σταθμός Εστίες Άρτας	Μετεωρολογικός Σταθμός Carpius Κωστακίων	Μετεωρολογικός Σταθμός Αγία Παρασκευή	Μετεωρολογικός Σταθμός Κομποτίου	Μετεωρολογικός Σταθμός Κομμένου
Βροχόπτωση 1 ημέρας	43mm	14mm	36mm	29mm	20mm	40mm
Βροχόπτωση 3 ημερών	95mm	75mm	102mm	76mm	78mm	94mm
Στάθμη Ποταμού	1,7m	1,7m	1,7m	1,7m	1,7m	1,7m

Πίνακας 5-3 Δεδομένα Προσομοίωσης για την Εκτίμηση Πλημμυρικού Ρίσκου



Εικόνα 5-3 Πρώτο σενάριο για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στη ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου.

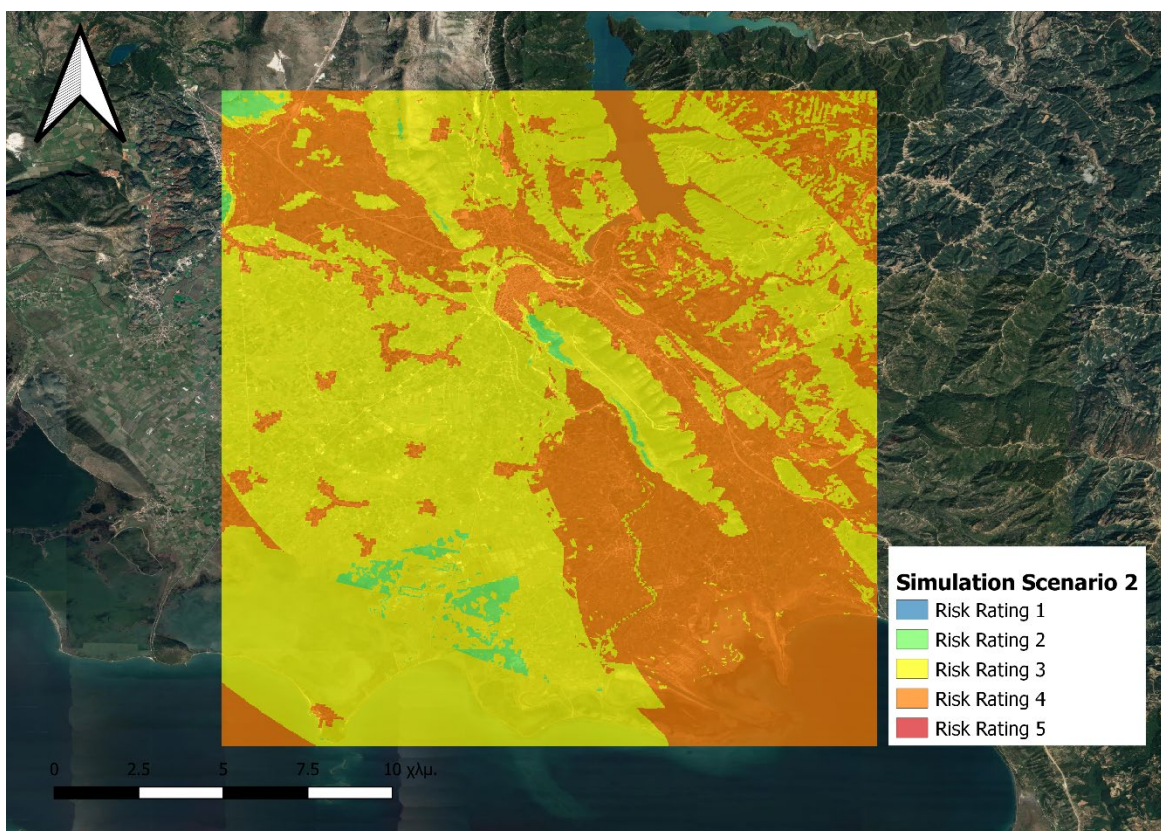
Στο Δεύτερο σενάριο προσομοίωσης εισαγάγαμε στην μεθοδολογία δεδομένα πολύ υψηλής βροχόπτωσης στην περιοχή των τελευταίων ημερών. Στις περιοχές στις οποίες πέφτουν περισσότερα mm βροχής είναι στα νότια της περιοχής ενδιαφέροντος (Κομμένο, Νεοχώρι) κοντά στην θάλασσα.

	Μετεωρολογικός Σταθμός Καμπής	Μετεωρολογικός Σταθμός Εστίες Άρτας	Μετεωρολογικός Σταθμός Carpius Κωστακίων	Μετεωρολογικός Σταθμός Αγία Παρασκευή	Μετεωρολογικός Σταθμός Κομποτίου	Μετεωρολογικός Σταθμός Κομμένου
Βροχόπτωση 1 ημέρας	89mm	65mm	74mm	70mm	55mm	58mm
Βροχόπτωση 3 ημερών	145mm	120mm	158mm	146mm	122mm	126mm

Στάθμη Ποταμού	1,9m	1,9m	1,9m	1,9m	1,9m	1,9m
----------------	------	------	------	------	------	------

Πίνακας 5-4 Δεδομένα τα οποία παράχθηκαν για το 2ο Σενάριο με δεδομένα προσομοίωσης

Παρατηρούμε ότι βρίσκονται σε υψηλό βαθμό επικινδυνότητας, ενώ το επίπεδο νερού στο ποτάμι να είναι στα 1,9 μέτρα. Οι περιοχές που βρίσκονται σε επικίνδυνο πλημμυρικό ρίσκο είναι κατά κύριο λόγο παράχθιες του ποταμού Αράχθου, όπως Ακροποταμιά, Παχυκάλαμος, Λουτρότοπος, Νεοχώρι, Κομμένο και Συκιές, αλλά και η περιοχή της Φιλιπιάδας και της Καμπής.

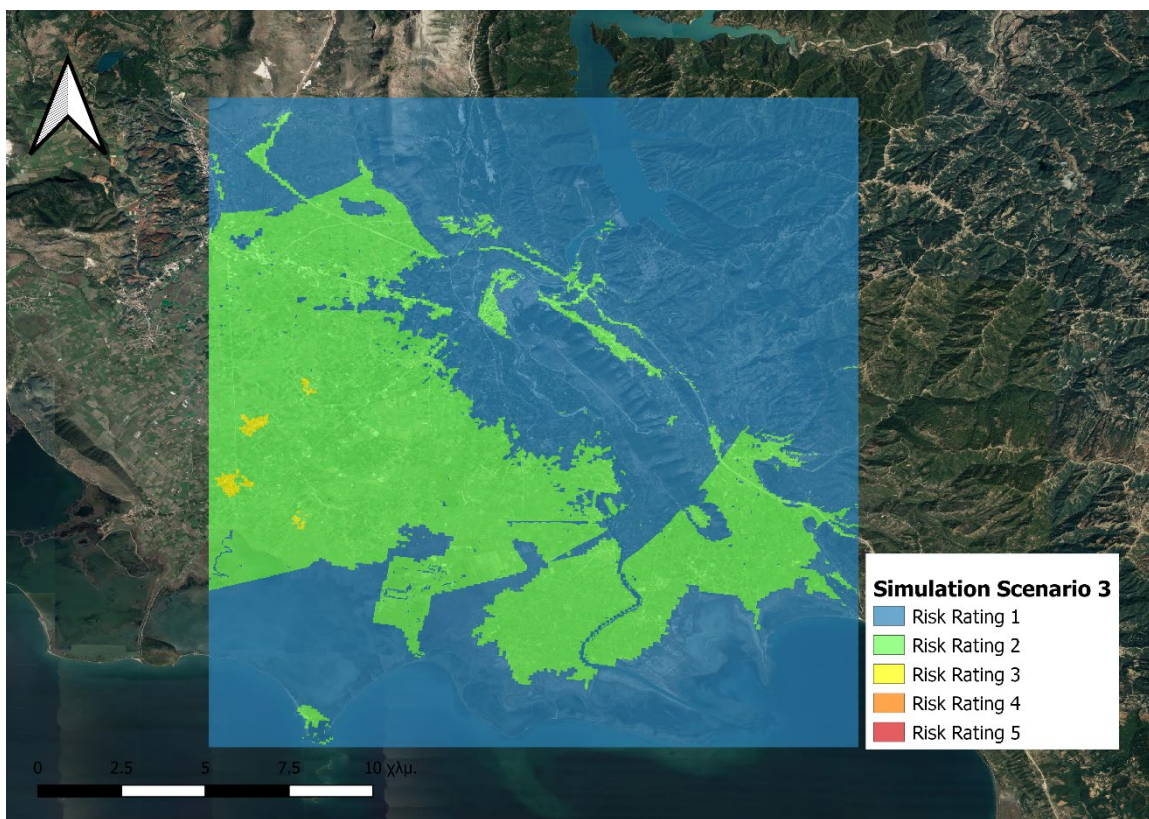


Εικόνα 5-4 Δεύτερο σενάριο για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στη ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου.

Στο **Τρίτο σενάριο προσομοίωσης** εισαγάγαμε στην μεθοδολογία δεδομένα βροχόπτωσης της περιοχής τις τελευταίες μέρες σχετικά χαμηλά. Στις περιοχές στις οποίες πέφτουν περισσότερα mm βροχής είναι στα δυτικά και νότια της περιοχής ενδιαφέροντος και παρατηρούμε ότι είναι σε υψηλό βαθμό επικινδυνότητας, ενώ το επίπεδο νερού στο ποτάμι είναι στα 1,8 μέτρα.

	Μετεωρολογικός Σταθμός Καμπής	Μετεωρολογικός Σταθμός Εστίες Άρτας	Μετεωρολογικός Σταθμός Carmpus Κωστακίων	Μετεωρολογικός Σταθμός Αγία Παρασκευή	Μετεωρολογικός Σταθμός Κομποτίου	Μετεωρολογικός Σταθμός Κομμένου
Βροχόπτωση 1 ημέρας	34mm	46mm	64mm	48mm	37mm	68mm
Βροχόπτωση 3 ημερών	19mm	34mm	63mm	36mm	42mm	64mm
Στάθμη Ποταμού	1,8m	1,8m	1,8m	1,8m	1,8m	1,8m

Πίνακας 5-5 Λεδομένα τα οποία παράχθηκαν για το 3ο Σενάριο με δεδομένα προσομοίωσης



Εικόνα 5-5 Τρίτο σενάριο για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου στη ευρύτερη περιοχή του ποταμού Αράχθου.

6. Συμπεράσματα

Συμπερασματικά χρησιμοποιήθηκαν 7 παράμετροι για τον σχεδιασμό του συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου, συγκεκριμένα η βροχόπτωση μίας ημέρας, η βροχόπτωση τριών ημερών, το υψόμετρο, η χρήση γης, η κλίση εδάφους και η απόσταση κάθε σημείου από το ποτάμι. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Αναλυτική Ιεραρχική διαδικασία και από τις προσομοιώσεις που υλοποιήσαμε εξάγαμε χρήσιμα συμπεράσματα για την αποδοτικότητα του συστήματος.

Από την ανάλυση που προηγήθηκε προκύπτουν συμπεράσματα σε σχέση με την εκτίμηση επικινδυνότητας στην Περιοχή της Άρτας. Μετά την εκτέλεση της μεθόδου Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας παρατηρήθηκε ότι σημαντικοί παράγοντες είναι η βροχόπτωση μίας ημέρας και τριών ημερών. Ωστόσο, αυτό το συμπέρασμα δεν αποκλείει καθόλου τους υπόλοιπους παράγοντες που παρόλο που υπάρχει απόκλιση στον βαθμό που συμμετέχουν είναι αρκετά σημαντικοί. Προέκυψε πως περιοχές που εμφανίζουν μεγάλη και πολύ μεγάλη επικινδυνότητα για την εκδήλωση πλημμυρικού ρίσκου είναι οι νοτιότερες περιοχές της περιοχής ενδιαφέροντος (τα χωριά Κομμένο, Ακροποταμιά, Νεοχώρι), που κοινό χαρακτηριστικό τους είναι το χαμηλό υψόμετρο και η πεδινή ταυτότητα των περιοχών αυτών. Από την άλλη πλευρά οι ορεινοί όγκοι δείχνουν να μην εμφανίζουν κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα.

Μεγάλη σημασία έχει το αποτέλεσμα που αφορά τη χωρική διάσταση του φαινομένου. Προέκυψε πως οι περιοχές που εμφανίζουν μεγαλύτερη επικινδυνότητα για την εκδήλωση πλημμύρας είναι οι οικισμοί που βρίσκονται πλησίον του ποταμού Αράχθου, καθώς και το ανατολικό τμήμα της μελετώμενης περιοχής, χαρακτηριστικό του οποίου αποτελεί το χαμηλό του υψόμετρο και η πεδινή του ταυτότητα. Από την άλλη πλευρά, οι ορεινοί όγκοι δείχνουν να μην εμφανίζουν κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα.

Παρατηρείται ότι το ποσοστό των οικιστικών περιοχών κατάντη της πόλης της Άρτας βρίσκονται σε τρωτές ζώνες. Αυτό εξηγείται διότι ο άνθρωπος προσπαθεί να μετοικεί πλησίον του υδάτινου στοιχείου. Μεγάλο πλήθος των χωριών βρίσκονται νότια της Άρτας και κοντά στον Αμβρακικό κόλπο κοντά στο υδάτινο στοιχείο και σε περιοχές με πολύ χαμηλό υψόμετρο. Πέραν αυτού δεν γίνεται να αγνοηθούν οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στο φυσικό περιβάλλον, οι οποίες αλλοιώνουν

τα δομικά χαρακτηριστικά όπως και η μη επέμβαση από τους Δήμους για καθαρισμούς ρεμάτων και αρδευτικών καναλιών, έτσι ώστε να το νερό της βροχής να έχει εύκολη διαφυγή στη θάλασσα.

Συμπληρωματικά με τα παραπάνω, αξίζει να σημειωθεί πως οι περισσότερες έδρες των καλλικρατικών Δήμων του Δήμου Νικολάου Σκουφά βρίσκονται στη ζώνη υψηλής επικινδυνότητας.

6.1. Μελλοντική Εργασία & Προοπτικές

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθοδολογίας για την εκτίμηση πλημμυρικού ρίσκου επαληθεύτηκαν με το πιο πρόσφατο σημαντικό πλημμυρικού γεγονός στην περιοχή ενδιαφέροντος. Η παρούσα μελέτη θα μπορούσε να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για την πρότερη γνώση των περιοχών που εμφανίζουν μεγαλύτερη επικινδυνότητα σε πλημμυρικά φαινόμενα. Πιο συγκεκριμένα, με την προσθήκη περισσότερων μετεωρολογικών σταθμών θα μπορούσε να ορίζεται με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια η περιοχή που εκτιμάται ότι έχει μεγαλύτερο πλημμυρικό ρίσκο. Ακόμα θα ήταν σημαντικό να τοποθετηθούν ροόμετρα στον ποταμό Άραχθο για την υψηλή ακρίβεια μέτρησης της ταχύτητα ροής στον ποταμό, καθώς η ροή αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τα χαρακτηριστικά των ποταμών και η ταχύτητα της μεταβάλλεται ανάλογα με την κλίση του εδάφους και το σχήμα της κοίτης και ελαττώνεται εξαιτίας των τριβών. Επίσης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σε μεγαλύτερη κλίμακα, έτσι ώστε να ερευνηθεί και η ορεινή περιοχή του νομού και να υπάρχει μία πλήρης εικόνα για όλο το νομό Άρτας.

Συμπερασματικά, προκύπτει πως οι πλημμύρες είναι ένα φυσικό φαινόμενο που είναι αναπόφευκτο και δύσκολα μπορεί να εξαλειφθεί. Εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, οι μικρές λεκάνες απορροής πλήττονται από πλημμυρικά επεισόδια σε όλο και πιο συχνή βάση, ενώ παράλληλα οι βροχές πέφτουν με όλο και περισσότερη ένταση με αποτέλεσμα να πλημμυρίζουν εύκολα και πολύ γρήγορα. Επομένως, η επιτυχία του μοντέλου ως προς την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων είναι πολύ σημαντική. Αξιοποιώντας δορυφορικά και μετεωρολογικά δεδομένα και την ανάπτυξη της Γεωπληροφορικής οι επιπτώσεις του φαινομένου των πλημμυρών θα ελαχιστοποιούνται, ενώ σε βάθος χρόνου αναμένεται να υπάρχει και η έγκαιρη ειδοποίηση των αρμόδιων φορέων και της πολιτικής προστασίας.

7. Βιβλιογραφία

- Ahmad, S., & Simonovic, S. (2006, 6). An Intelligent Decision Support System for Management of Floods. *Water Resources Management*, 20, 391-410. doi:10.1007/s11269-006-0326-3
- Anonymus, A. (2007). Handbook on good practices for flood mapping in Europe. *CD of project*.
- Barredo, J. (2009, 2). Normalised flood losses in Europe: 1970–2006. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9.
- Basher, R. (2006, 9). Global early warning systems for natural hazards: Systematic and people-centred. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, 364, 2167-82. doi:10.1098/rsta.2006.1819
- Beniston, M., Stephenson, D., Christensen, O., Ferro, C. T., Frei, C., Goyette, S., . . . Woth, K. (2007). Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, 81, 71-95. doi:10.1007/s10584-006-9226-z
- Berger, M., Moreno, J., Johannessen, J., Levelt, P., & Hanssen, R. (2012, 12). ESA's sentinel missions in support of Earth system science Keywords: Sentinel ESA Earth system science Global Monitoring for Environment and Security (GMES). *Remote Sensing of Environment*, 120. doi:10.1016/j.rse.2011.07.023
- Bezy, J.-L., Sierk, B., Caron, J., Veiheilmann, B., Martin, D., & Langen, J. (2014, 10). The Copernicus Sentinel-5 mission for operational atmospheric monitoring: Status and developments., 9241. doi:10.1117/12.2068177
- Bladé Castellet, E., Valentin, M., RIPOLLÉS, J. O., Oñate, E., PIAZZESE, J. A., & Corestein Poupeau, G. (2006, 1). Decision Support System for Flood Risk Assessment and Management.
- Bonczek, R. H., Holsapple, C. W., & Whinston, A. B. (1980, 4). THE EVOLVING ROLES OF MODELS IN DECISION SUPPORT SYSTEMS. *Decision Sciences*, 11, 337–356. doi:10.1111/j.1540-5915.1980.tb01143.x

- Bonczek, R. H., Holsapple, C. W., & Whinston, A. B. (1981). *Foundations of Decision Support Systems* (1 εκδ.). Elsevier. Ανάκτηση από <https://EconPapers.repec.org/RePEc:eee:monogr:9780121130503>
- Demek, J. (1972, 1). *Manual of Detailed Geomorphological Mapping*.
- Denis, G., de Boissezon, H., Hosford, S., Pasco, X., Montfort, B., & Ranera, F. (2016). The evolution of Earth Observation satellites in Europe and its impact on the performance of emergency response services. *Acta Astronautica*, 127, 619-633. doi:<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2016.06.012>
- Duan, Y., Zhang, Y., Li, S., Fang, Q., Miao, F., & Lin, Q. (2020). An integrated method of health risk assessment based on spatial interpolation and source apportionment. *Journal of Cleaner Production*, 276, 123218. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123218>
- Duan, Y., Zhang, Y., Li, S., Fang, Q., Miao, F., & Lin, Q. (2020). An integrated method of health risk assessment based on spatial interpolation and source apportionment. *Journal of Cleaner Production*, 276, 123218. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123218>
- Elkhrachy, I. (2015, 7). Flash Flood Hazard Mapping Using Satellite Images and GIS Tools: A case study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. doi:10.1016/j.ejrs.2015.06.007
- Fan, C., Ko, C.-H., & Wang, W.-S. (2009). An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation. *Journal of environmental management*, 90, 1824–1832.
- Fechner, G. (1966). *Elements of psychophysics. Vol. I*. Holt, Rinehart and Winston: New York.
- Fotheringham, A., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2000, 1). *Quantitative Geography: Perspectives on Spatial Data Analysis*.
- Guzzetti, F., & Tonelli, G. (2004). Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy (SICI): a tool for managing landslide and flood hazards. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 213–232. doi:10.5194/nhess-4-213-2004

- Hong, N., Duong, T., Nguyen, L., Vo, T., Tran, T. N., Dang, P., . . . Nguyen, L. (2020, 3). Development of a Spatial Decision Support System for Real-Time Flood Early Warning in the Vu Gia-Thu Bon River Basin, Quang Nam Province, Vietnam. *Sensors*, 20. doi:10.3390/s20061667
- Johnston, R. J., Gregory, D., Pratt, G., & Watts, M. (2000). *The Dictionary of Human Geography*. Wiley. Ανάκτηση από <https://books.google.gr/books?id=0-GxowMfwlkc>
- Katsafados, P., Kalogirou, S., Papadopoulos, A., & Gerasimos, K. (2012, 6). Mapping long-term atmospheric variables over Greece. *Journal of Maps*, 8, 181. doi:10.1080/17445647.2012.694273
- Kazakis, N., Kougiass, I., & Patsialis, T. (2015, 12). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. *Science of The Total Environment*, 538, 555–563. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.08.055
- Keen, P. G., & Morton, M. S. (1978). *Decision Support Systems: An Organizational Perspective*. Addison-Wesley Publishing Company. Ανάκτηση από <https://books.google.gr/books?id=0wtPAAAAMAAJ>
- Knebl, M. R., Yang, Z.-L., Hutchison, K., & Maidment, D. R. (2005). Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event. *Journal of Environmental Management*, 75, 325–336.
- Kourgialas, N., & Karatzas, G. (2016, 9). A flood risk decision making approach for Mediterranean tree crops using GIS; climate change effects and flood-tolerant species. *Environmental Science & Policy*, 63, 132-142. doi:10.1016/j.envsci.2016.05.020
- Kundzewicz, Z., Radziejewski, M., & Pińskwar, I. (2006, 6). Precipitation Extremes in the Changing Climate of Europe. *Climate Research - CLIMATE RES*, 31, 51-58. doi:10.3354/cr031051
- Martini. (2007). Handbook on good practices for flood mapping in Europe. *CD of project*.

- Matheron, G. (1971). *The Theory of Regionalized Variables and Its Applications*. École nationale supérieure des mines. Ανάκτηση από <https://books.google.gr/books?id=TGhGAAAAYAAJ>
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81–97. doi:10.1037/h0043158
- Molinari, D., Ballio, F., Berni, N., & Pandolfo, C. (2014). TOWARDS MORE EFFECTIVE FLOOD EARLY WARNING SYSTEMS : The Italian Experience.
- Mouratidis, A., Doxani, G., Nikolaidou, M., Lampiri, M., Sarti, F., & Tsakiri-Strati, M. (2012, 7). Contribution of Earth observation data and GIS to mapping and managing flood events in Greece.
- Pappenberger, F., Beven, K., Horritt, M., & Blazkova, S. (2005). Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations. *Journal of Hydrology*, 302, 46–69.
- Psomiadis, E., Papazoglou, E., & Kafkala, I. (2017, 5). Sentinel-1 and Sensinel-2 data for Sperchios river basin monitoring and mapping, Central Greece (In Greek).
- Ritchie, H. (2014). Natural Disasters. *Our World in Data*.
- Rodriguez, L. B., Cello, P. A., Vionnet, C. A., & Goodrich, D. (2008). Fully conservative coupling of HEC-RAS with MODFLOW to simulate stream–aquifer interactions in a drainage basin. *Journal of Hydrology*, 353, 129–142.
- Roy, B. (1996). *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Springer US. Ανάκτηση από <https://books.google.gr/books?id=hT23RXsS8bQC>
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9, 161-176. doi:[https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty, T. (1980). *The analytic hierarchy process : planning, priority setting, resource allocation*. New York London: McGraw-Hill International Book Co.

- Saaty, T. (2001, 1). Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process. doi:10.1007/978-94-015-9799-9_2
- Saaty, T. (2008, 1). Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales - Serie A: Matematicas*, 102, 251-318.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26. doi:https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I
- Saaty, T. L. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *Interfaces*, 24, 19–43. Ανάκτηση από <http://www.jstor.org/stable/25061950>
- Saaty, T., Vargas, L., & Whitaker, R. (2009, 12). Addressing with brevity criticism of the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 1. doi:10.13033/ijahp.v1i2.53
- Saleh, F., Flipo, N., Habets, F., Ducharne, A., Oudin, L., Viennot, P., & Ledoux, E. (2011). Modeling the impact of in-stream water level fluctuations on stream-aquifer interactions at the regional scale. *Journal of Hydrology*, 400, 490–500.
- Seejata, K., Yodying, A., Wongthadam, T., Mahavik, N., & Tantanee, S. (2018, 1). Assessment of flood hazard areas using Analytical Hierarchy Process over the Lower Yom Basin, Sukhothai Province. *Procedia Engineering*, 212, 340-347. doi:10.1016/j.proeng.2018.01.044
- Smith. (1998, 6 19). *Floods*. John Wiley & Sons. Ανάκτηση από https://www.ebook.de/de/product/3055824/smith_floods.html
- Stathopoulos, N., Kalogeropoulos, K., Louka, P., Karymbalis, E., Papadopoulos, A., & Chalkias, C. (2017, 5). FLOOD IMPACT ASSESSMENT VIA SAR DATA ANALYSIS AND GIS. APPLICATION IN SPERCHIOS RIVER BASIN, GREECE.

- Stylios, C., & Groumpos, P. (2009). *Integrated Information System for Natural Disaster Management: Methodologies, Approaches, Case Studies, Good Practices*. Patras Science Park.
- Suriya, S., & Mudgal, B. V. (2012). Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed—A case study. *Journal of hydrology*, 412, 210–219.
- Tavana, M. (2012, 1). *Decision Making Theories and Practices from Analysis to Strategy*. doi:10.4018/978-1-4666-1589-2
- Tsanis, I., Koutroulis, A., Daliakopoulos, I., & Jacob, D. (2011, 6). Severe climate-induced water shortage and extremes in Crete. *Climatic Change*, 106, 667-677. doi:10.1007/s10584-011-0048-2
- Ward, R. C. (1967). *Principles of Hydrology*. McGraw-Hill Publishing Company. Ανάκτηση από <https://books.google.gr/books?id=hPBOAAAAMAAJ>
- Wilson, E. M. (1990). *Engineering Hydrology*. London: Macmillan Education UKImprint Palgrave.
- Βρυγιώτης, & Παπαδοπούλου, Κ. (2004). Ο ρόλος των ποταμών Λούρου και Αράχθου στην ανάπτυξη των ιζημάτων της πεδιάδας της Άρτας με τη συμβολή γεωχημικών παραμέτρων. *Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*. 36, σσ. 150-157. Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου.
- Κομιώτη, Α. Ι. (2017). Ιδιωτική Προσαρμοστικότητα και Δημόσιες Πολιτικές κατά την αποκατάσταση από πλημμυρικά επεισόδια. Η περίπτωση της Άρτας 2015. *Ιδιωτική Προσαρμοστικότητα και Δημόσιες Πολιτικές κατά την αποκατάσταση από πλημμυρικά επεισόδια. Η περίπτωση της Άρτας 2015*.
- Συγκριτική μελέτη των διαδικασιών και ενεργειών έγκαιρης προειδοποίησης για πλημμύρες και ακραία καιρικά φαινόμενα βροχόπτωσης μεταξύ Ελλάδας και Σκωτίας και τα οφέλη στην πολιτική προστασία. (2018). *Συγκριτική μελέτη των διαδικασιών και ενεργειών έγκαιρης προειδοποίησης για πλημμύρες και ακραία καιρικά φαινόμενα βροχόπτωσης μεταξύ Ελλάδας και Σκωτίας και τα οφέλη στην πολιτική προστασία*.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, Ε. Γ. (2018). *ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου* (Τόμ. 276). doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123218>