

**CLIMAAX**
climate ready regions

Παραδοτέο Φάση 1- Εκτίμηση Κλιματικού Κινδύνου
Climaax Action and Risk Evaluation of Xanthi (CARE_X)
Ελλάδα, Ξάνθη

Έκδοση 1.0 | Μάρτιος 2024

HORIZON-MISS-2021-CLIMA-02-01 – Ανάπτυξη της εκτίμησης των
κινδύνων λόγω κλιματικής αλλαγής στις Ευρωπαϊκές περιφέρειες και
κοινοότητες με βάση μια διαφανή και εναρμονισμένη προσέγγιση
Εκτίμησης Κλιματικού Κινδύνου



Funded by
the European Union

Το παρόν έργο έχει λάβει χρηματοδότηση από το ερευνητικό και καινοτόμο πρόγραμμα «Ορίζοντας Ευρώπη» της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο πλαίσιο της συμφωνίας επιχορήγησης υπ' αριθ. 101093864. Ωστόσο, οι απόψεις και οι γνώμες που εκφράζονται είναι αποκλειστικά και μόνο του/των συγγραφέα/ων και δεν αντανακλούν κατ' ανάγκη εκείνες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ή του Ευρωπαϊκού Εκτελεστικού Οργανισμού για το Κλίμα, τις Υποδομές και το Περιβάλλον (CINEA). Δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη γι' αυτές η Ευρωπαϊκή Ένωση ή η χορηγούσα αρχή

1. Πληροφορίες Εγγράφου

Τίτλος Παραδοτέου	Φάση 1 K Climate risk assessment
Σύντομη Περιγραφή	
Τίτλος Έργου	Climaax Action and Risk Evaluation of Xanthi (CARE_X)
Χώρα	Ελλάδα
Περιφέρειες/Δήμος	Δήμος Ξάνθης
Συντονιστής Έργου	Δήμος Ξάνθης
Συγγραφείς	• Prof Ioannis Dokas (RiskAC/DUTH) • Prof Nikolaos Klimis (RiskAC/DUTH) • Prof Anastasia Pashalidou (RiskAC/DUTH) • Asst. Prof. Emmanouil Rovithis (RiskAC/DUTH) • Dr. Korina Psistaki (RiskAC/DUTH) • Dr. Stavros Stathopoulos (RiskAC/DUTH) • Dr. Apostolos Vasileiou (RiskAC/DUTH)
Ημερομηνία Αρχικής Υποβολής	30/03/2025
Ημερομηνία Τελικής Υποβολής	31/03/2025
Είδος Παραδοτέου	R – Έκθεση
Επίπεδο Διάχυσης	PU - Δημόσια

Έκδοση	Ημερομηνία	Επιμελητές Αλλαγών	Αλλαγές
1.0	30/03/2025	ΚΕΔΙΑΚ/ΔΠΘ εκ μέρους του Δήμου Ξάνθης, Ελλάδα	Υποβολή Παραδοτέου
2.0	8/5/2025	CLIMAAX's FSTP team	Αξιολόγηση Ολοκληρώθηκε
3.0	11/5/2025	ΚΕΔΙΑΚ/ΔΠΘ εκ μέρους του Δήμου Ξάνθης, Ελλάδα	Υποβλήθηκε Αναθεωρημένη Υποβολή

2. Περιεχόμενα

1.	Πληροφορίες Εγγράφου.....	2
2.	Περιεχόμενα.....	3
3.	Λίστα εικόνων	4
4.	Λίστα πινάκων.....	5
6.	Περίληψη	7
1	Εισαγωγή.....	9
1.1	Ιστορικό	9
1.2	Κύριοι στόχοι του έργου.....	9
1.3	Ομάδα έργου.....	10
1.4	Δομή του εγγράφου.....	10
2	Εκτίμηση Κλιματικού Κινδύνου – Φάση 1	11
2.1	Πεδίο εφαρμογής	11
2.1.1	Στόχοι.....	11
2.1.2	Πλαίσιο	11
2.1.3	Συμμετοχή και ανάληψη ευθύνης.....	12
2.2	Διερεύνηση κινδύνων	12
2.2.1	Έλεγχος κινδύνων (επιλογή κύριων κινδύνων).....	12
2.2.2	Επιλογή ρών εργασίας.....	13
2.2.3	Επιλογή σεναρίων	15
2.3	Ανάλυση διακινδύνευσης.....	15
2.3.1	Ροή Εργασιών #1: Ανεμοθύελλες.....	15
2.3.2	Ροή Εργασιών #2: Καύσωνες	20
2.3.3	Workflow #3: Fluvial Flooding	25
2.3.4	Ροή Εργασιών #4 Πυρκαγιές.....	28
2.4	Βασικά Προκαταρκτικά Πορίσματα Εκτίμησης Κινδύνων	33
2.4.1	Σοβαρότητα	33
2.4.2	Επείγουσα Ανάγκη Δράσης.....	34
2.4.3	Ικανότητα Ανταπόκρισης	34
2.5	Προκαταρκτική Παρακολούθηση και Αξιολόγηση	35
3	Συμπεράσματα Φάσης 1- Εκτίμηση Κλιματικού Κινδύνου.....	36
3.1	Κύρια Ευρήματα	36

3.2 Αντιμετωπισθείσες Προκλήσεις	37
3.3 Εκκρεμή Ζητήματα και Επόμενα Βήματα	37
4 Αξιολόγηση Προόδου και Συνεισφορά στις Μελλοντικές Φάσεις	39
5 Συμπληρωματικό υλικό.....	42
6 Βιβλιογραφικές αναφορές.....	43

3. Λίστα εικόνων

Σχήμα 2-1 Επίδραση ισχυρού τοπικού ανεμοστρόβιλου που εκδηλώθηκε στην Ξάνθη: Αναποδογυρισμένα αυτοκίνητα σε χώρο στάθμευσης κοντά στο κέντρο της πόλης (ημερομηνία: 4 Νοεμβρίου 2023).....	16
Σχήμα 2-2 Περιοχή ενδιαφέροντος του έργου CARE_X για την εφαρμογή της ροής εργασιών CLIMAAX για τον κίνδυνο ανεμοθύελλας.....	16
Σχήμα 2-3 Αποτυπώματα ανεμοθυελλών στην περιοχή ενδιαφέροντος του CARE_X για κάθε σενάριο ανεμοθύελλας: (α) Σενάριο 1, (β) Σενάριο 2, (γ) Σενάριο 3 και (δ) Σενάριο 4.....	18
Figure 2-4 Αντιστοίχιση επιπέδων χρήσης γης και αποτυπωμάτων ανεμοθυελλών για (α) Σενάριο 1 και (β) Σενάριο 4	19
Σχήμα 2-5 Καμπύλες τρωτότητας για όλα τα είδη εδαφοκάλυψης	19
Σχήμα 2-6 Χάρτης δομικών ζημιών στην περιοχή ενδιαφέροντος του CARE_X για κάθε σενάριο ανεμοθύελλας: (α) Σενάριο 1, (β) Σενάριο 2, (γ) Σενάριο 3 και (δ) Σενάριο 4..	20
Σχήμα 2-7 Ετήσια συχνότητα εμφάνισης καυσώνων στον Δήμο Ξάνθης για την περίοδο 1986-2085, υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5, χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία EuroHEAT.	22
Figure 2-8 Χάρτης εκτίμησης διακινδύνευσης από καύσωνες που απεικονίζει τις πιο υπερθερμασμένες περιοχές και τις πιο πυκνοκατοικημένες ζώνες	23
Σχήμα 2-9 Χάρτης εκτίμησης διακινδύνευσης από καύσωνες για τους δήμους της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης (Π.Α.Μ.Θ.), αποτυπώνοντας το προβλεπόμενο μέγεθος μεταβολής στη συχνότητα εμφάνισης καυσώνων υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5, σε συνδυασμό με την κατανομή των ευάλωτων πληθυσμιακών ομάδων.	25
Σχήμα 2-10 Χάρτης του ποταμού Κόσυνθου (Πηγή: Papadopoulos et al., 2022).....	25
Εικόνα 2-11 Χάρτης της υπό μελέτη περιοχής, συμπεριλαμβανομένης της πόλης της Ξάνθης και της προαστιακής της ζώνης (κόκκινο πλαίσιο)).....	26
Figure 2-12 Ύψος πλημμύρας του ποταμού Κόσυνθου για περιόδους επαναφοράς ακραίων φαινομένων 10, 50 και 100 ετών.	27
Figure 2-13 Flood and associated damages maps over Xanthi for RCP 8.5 and extreme event return period of 500 years.	28
Σχήμα 2-14 Περιοχή μελέτης πυρκαγιών.....	29
Σχήμα 2-15 Σχηματική αναπαράσταση της μεθοδολογίας	30
Σχήμα 2-16 Εποχιακός Μετεωρολογικός Δείκτης Πυρκαγιάς (FWI) για το σενάριο RCP2.6 (Αριστερή εικόνα: μέσος όρος ετών 2045–2054, Δεξιά εικόνα: έτος 2054.)	31
Σχήμα 2-17 Μετεωρολογικός Δείκτης Πυρκαγιάς (FWI) για χειρότερο, μέσο και καλύτερο σενάριο (Αριστερή στήλη: RCP8.5 για τα έτη 2026-2035, Δεξιά στήλη: ιστορικά δεδομένα)	31
Σχήμα 2-18 Δείκτης διακινδύνευσης πυρκαγιάς για το σενάριο RCP2.6.....	32

4. Λίστα πινάκων

Πίνακας 2-1 Σύνοψη δεδομένων για την εφαρμογή της ροής εργασιών εκτίμησης διακινδύνευσης από θυελλώδεις ανέμους στο έργο CARE_X (CLIMAAX)	17
Πίνακας 2-2 Επισκόπηση Δεδομένων για την Εφαρμογή του Έργου CARE_X στη Ροή Εργασιών του CLIMAAX για τον καύσωνα	20
Πίνακας 2-3 Σύνοψη δεδομένων για τη ροή εργασιών #3: Υπερχείλιση Ποταμών	26

5. Συντμήσεις και Ακρωνύμια

Συντμήσεις / Ακρωνύμια	Περιγραφή
CARE_X	Climaax Action and Risk Evaluation of Xanthi
CLIMAAX	CLIMAt risk and vulnerability Assessment framework and toolboX
CRA	Climate Risk Assessment
RCP	Representative Concentration Pathway
CDS	Climate Data Store
ERA5	ECMWF Reanalysis 5th Generation Dataset
LUISA	Land Use-based Integrated Sustainability Assessment platform
LST	Land Surface Temperature
HDX	Humanitarian Data Exchange
GCM	Global Climate Model
RCM	Regional Climate Model
HNMS	Hellenic National Meteorological Service
JRC	Joint Research Centre (European Commission)
FWI	Fire Weather Index
REMTh	Region of Eastern Macedonia and Thrace
RiskAC	Risk and Resilience Assessment Center
DUTH	Democritus University of Thrace
VI	Vulnerability Index
XCLIM	Climate Indicators Computation Library

6. Περίληψη

Το παρόν παρουσιάζει τα αποτελέσματα της Φάσης 1 της Εκτίμησης Κλιματικού Κινδύνου που διεξήχθη στο πλαίσιο της δράσης Climaax Action and Risk Evaluation of Xanthi (CARE_X) που χρηματοδοτείται από το ευρωπαϊκό έργο CLIMAAX για τον Δήμο Ξάνθης. Το εν λόγω έγγραφο ανταποκρίνεται στην ανάγκη συστηματικής αξιολόγησης των κλιματικών κινδύνων, υποστηρίζοντας τη λήψη αποφάσεων και ενισχύοντας την ανθεκτικότητα έναντι της κλιματικής αλλαγής. Οι αναγνώστες του παραδοτέου θα αποκτήσουν πλήρη εικόνα της εκτίμησης των βασικών κλιματικών κινδύνων που επηρεάζουν την Ξάνθη, περιλαμβανομένων των καυσώνων, των πλημμυρών (ειδικά του ποταμού Κόσυνθου), των ανεμοθυελλών και των πυρκαγιών.

Οι κύριες ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν κατά την αρχική αυτή φάση περιλάμβαναν την εφαρμογή της μεθοδολογίας Εκτίμησης Κλιματικού Κινδύνου (Climate Risk Assessment - CRA) του ευρωπαϊκού προγράμματος CLIMAAX χρησιμοποιώντας την εργαλειοθήκη CLIMAAX και δεδομένα που αντλήθηκαν από διεθνή αποθετήρια, όπως τα EURO-CORDEX, Landsat8 και ERA5. Η ανάλυση παρείχε μια λεπτομερή αξιολόγηση των κινδύνων, αναγνωρίζοντας κρίσιμες ευπάθειες και παράγοντες έκθεσης για κάθε κλιματικό κίνδυνο.

Τα αποτελέσματα για τους καύσωνες ανέδειξαν μια σαφή αυξητική τάση στην συχνότητα και τη σοβαρότητά τους, με σημαντική αύξηση να αναμένεται ειδικά υπό το κλιματικό σενάριο RCP8.5 προς το τέλος του 21ου αιώνα. Οι αστικές περιοχές, λόγω του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας, και οι ευάλωτοι πληθυσμοί (ηλικιωμένοι και παιδιά) αναδείχθηκαν ως ιδιαίτερα ευπαθείς ομάδες.

Όσον αφορά τις πλημμύρες από τον ποταμό Κόσυνθο, η εκτίμηση εντόπισε περιοχές όπου η πιθανότητες πλημμύρας είναι υψηλές, εστιάζοντας κυρίως στο βόρειο τμήμα της Ξάνθης, ειδικά σε σενάρια που αντιπροσωπεύουν ακραία φαινόμενα (περίοδοι επαναφοράς 100-500 ετών). Κρίσιμες αστικές υποδομές παρουσιάζονται ιδιαίτερα εκτεθειμένες, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για στοχευμένες στρατηγικές διαχείρισης πλημμυρών.

Η ανάλυση για τις ανεμοθύελλες έδειξε ελάχιστο κίνδυνο από ιστορικά καταγεγραμμένες ανεμοθύελλες στην ευρύτερη περιοχή. Ωστόσο, ένα σενάριο τοπικής ανεμοθύελλας υποδεικνύει πιθανές ευπάθειες στο δομημένο περιβάλλον υπό ακραίες συνθήκες.

Η εκτίμηση κινδύνου πυρκαγιάς εντόπισε περιοχές υψηλού κινδύνου βασισμένες στην διαθεσιμότητα καύσιμης ύλης και τις κλιματικές συνθήκες που ευνοούν την εκδήλωση πυρκαγιών. Η αλληλεπίδραση ακραίων καιρικών φαινομένων με δασικές περιοχές κοντά σε κατοικημένες ζώνες αναδείχθηκε ως κρίσιμος παράγοντας που εντείνει τον κίνδυνο.

Συνολικά, η Φάση 1 προώθησε την κατανόηση των κλιματικών κινδύνων στην Ξάνθη, δημιουργώντας μια σταθερή βάση για τις επόμενες φάσεις του έργου. Παρέχει αξιοποιήσιμες γνώσεις που μπορούν να ενημερώσουν τις στρατηγικές προσαρμογής, τον χωροταξικό σχεδιασμό και τις προσπάθειες ετοιμότητας σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Τα βασικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από αυτή τη φάση υπογραμμίζουν την αναγκαιότητα της αντιμετώπισης της έκθεσης στη θερμότητα στα αστικά περιβάλλοντα, της βελτίωσης της

ανθεκτικότητας των υποδομών στις πλημμύρες, της προετοιμασίας σχεδίων έκτακτης ανάγκης για ανεμοθύελλες τοπικής κλίμακας και την ενίσχυση των πρακτικών διαχείρισης των πυρκαγιών μέσω της εμπλοκής της κοινότητας και προληπτικών μέτρων μείωσης της διακινδύνευσης.

1 Εισαγωγή

1.1 Ιστορικό

Ο Δήμος Ξάνθης βρίσκεται στη βόρεια Ελλάδα, στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Η πόλη, με πληθυσμό περίπου 58.500 κατοίκων, βρίσκεται σε μια γεωγραφική λεκάνη, περιβαλλόμενη από την οροσειρά της Ροδόπης, δημιουργώντας ποικίλες τοπογραφικές συνθήκες, που κυμαίνονται από επίπεδες αστικές περιοχές κοντά στον ποταμό Κόσυνθο έως λοφώδεις περιοχές προς τα προάστια. Η πλούσια ιστορική και αρχιτεκτονική κληρονομιά της Ξάνθης, ιδιαίτερα στην καλά διατηρημένη παλιά πόλη της, ενισχύει περαιτέρω τη σημασία της προστασίας των τοπικών πολιτιστικών αγαθών από τους κινδύνους που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή.

Χαρακτηριζόμενη από μεσογειακό κλίμα με θερμά καλοκαίρια και ψυχρούς, βροχερούς χειμώνες, η Ξάνθη είναι ιδιαίτερα ευάλωτη σε κινδύνους που σχετίζονται με το κλίμα, όπως ακραίους καύσωνες, πλημμύρες ποταμών, πυρκαγιές και ανεμοθύελλες. Αυτά τα κλιματικά φαινόμενα έχουν ιστορικά αποτελέσει σημαντικές απειλές για τη δημόσια υγεία, τις κρίσιμες υποδομές, την οικονομική σταθερότητα και τη συνολική ποιότητα ζωής. Στο πλαίσιο αυτό, το έργο CLIMAAX αποσκοπεί στη συστηματική αξιολόγηση και αντιμετώπιση αυτών των κινδύνων, ενισχύοντας έτσι την ανθεκτικότητα, ενημερώνοντας για τον στρατηγικό σχεδιασμό και προωθώντας τη βιώσιμη αστική και περιφερειακή ανάπτυξη.

1.2 Κύριοι στόχοι του έργου

Το έργο CARE_X στοχεύει στη διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης εκτίμησης κλιματικού κινδύνου στον Δήμο Ξάνθης, αντιμετωπίζοντας τις πολλαπλές κλιματικές απειλές της πόλης—καύσωνες, υπερχειλίσσεις ποταμών, θυελλώδεις ανέμους και πυρκαγιές. Χρησιμοποιώντας τις μεθόδους και τα εργαλεία που παρέχονται στο Εγχειρίδιο CLIMAAX, το έργο επιδιώκει να δημιουργήσει μια ισχυρή, τυποποιημένη βάση για την κατανόηση των τρεχόντων και μελλοντικών κινδύνων, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο πληροφορίες για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σε τοπικό επίπεδο και ενισχύοντας την ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή.

Οι συγκεκριμένοι στόχοι του CARE_X περιλαμβάνουν:

- **Αξιολόγηση και χαρτογράφηση των κλιματικών κινδύνων** χρησιμοποιώντας καθιερωμένες μεθοδολογίες για τον εντοπισμό των κρίσιμων περιοχών, υποδομών και πληθυσμών που διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο.
- **Παροχή χρήσιμων πληροφοριών** σχετικά με τα τρέχοντα και προβλεπόμενα κλιματικά σενάρια της περιοχής, για την υποστήριξη στοχευμένων μέτρων προσαρμογής και ανάπτυξης πολιτικών.
- **Ανάδειξη ευάλωτων ομάδων** και περιοχών υψηλής έκθεσης στο αστικό και περιαστικό περιβάλλον της Ξάνθης.
- **Δημιουργία απεικονίσεων βασισμένων σε δεδομένα** που μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα από τις δημοτικές αρχές και τους τοπικούς ενδιαφερόμενους φορείς για την ενίσχυση της προετοιμασίας για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και την κατανομή πόρων.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας του Εγχειριδίου CLIMAAX προσφέρει σημαντικά οφέλη στην τοπική κοινότητα. Διασφαλίζει την ευθυγράμμιση με μια εναρμονισμένη, επιστημονικά θεμελιωμένη προσέγγιση στην εκτίμηση κλιματικού κινδύνου, διευκολύνοντας τη συνέπεια με τα Ευρωπαϊκά πρότυπα και τις βέλτιστες πρακτικές. Μέσω του τυποποιημένου αυτού πλαισίου, η Ξάνθη μπορεί να ιεραρχήσει συστηματικά τις παρεμβάσεις, να βελτιστοποιήσει τη διαχείριση πόρων και να προάγει μια κοινή κατανόηση των κλιματικών προκλήσεων της πόλης. Με αυτόν τον τρόπο, το CARE_X δεν προάγει μόνο βραχυπρόθεσμα προστατευτικά μέτρα, αλλά συμβάλλει επίσης στην μακροπρόθεσμη αστική ανθεκτικότητα και τη βιώσιμη περιφερειακή ανάπτυξη

1.3 Ομάδα έργου

Το CARE_X συνδυάζει την Τοπική Αυτοδιοίκηση με την ακαδημαϊκή εμπειρογνωμοσύνη, δημιουργώντας μια στενή συνεργασία που διασφαλίζει τόσο στρατηγική εποπτεία όσο και επιστημονική αυστηρότητα. Επικεφαλής του έργου είναι ο Δήμαρχος Ξάνθης, κ. Ευστράτιος Κοντός, ο οποίος καθορίζει τους γενικούς στόχους και την εμπλοκή των ενδιαφερόμενων φορέων. Ο επιχειρησιακός συντονισμός, ιδίως όσον αφορά τις αρμοδιότητες πολιτικής προστασίας, έχει ανατεθεί στον Αντιδήμαρχο Πολιτικής Προστασίας Ξάνθης, κ. Ιωάννη Τσάπαλη, που ηγείται μιας ειδικής ομάδας από το Γραφείο Πολιτικής Προστασίας της πόλης.

Οι επιστημονικές αναλύσεις και η εφαρμογή της μεθοδολογίας Εκτίμησης Κλιματικού Κινδύνου (CRA) πραγματοποιούνται από το Κέντρο Εκτίμησης Διακινδύνευσης και Ανθεκτικότητας (ΚΕΔΙΑΚ) του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης. Υπό τη διεύθυνση του Καθηγητή Ιωάννη Δόκα. Το ΚΕΔΙΑΚ στελεχώνεται από μια διεπιστημονική ομάδα, στην οποία συμμετέχουν ο Καθηγητής Νικόλαος Κλήμης, η Καθηγήτρια Αναστασία Πασχαλίδου και ο Αναπληρωτής Καθηγητής Εμμανουήλ Ροβίθης, οι οποίοι εποπτεύουν το έργο. Οι ακαδημαϊκοί του ΚΕΔΙΑΚ ηγούνται μιας ομάδας τεσσάρων νέων ερευνητών, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την εφαρμογή των εξειδικευμένων ροών εργασίας της Εργαλειοθήκης CLIMAAX.

Η ολοκληρωμένη προσέγγιση—που συνενώνει δημοτικούς αξιωματούχους, προσωπικό πολιτικής προστασίας και ένα ακαδημαϊκό ερευνητικό δίκτυο—διασφαλίζει ότι η τοπική διακυβέρνηση, οι ανάγκες πολιτικής και οι σύγχρονες επιστημονικές πρακτικές παραμένουν στενά ευθυγραμμισμένες καθ' όλη τη διάρκεια του έργου CARE_X.

1.4 Δομή του εγγράφου

Το έγγραφο ξεκινά με την εισαγωγή, η οποία παρουσιάζει το ιστορικό, προσδιορίζοντας τους στόχους του έργου και περιγράφοντας την ομάδα έργου. Στη συνέχεια, η κύρια ενότητα του εγγράφου περιγράφει τη διαδικασία εκτίμησης κλιματικού κινδύνου, περιλαμβάνοντας την καθορισμένη έκταση, την εξερεύνηση κινδύνων και την ανάλυση κινδύνου, με ειδικές ροές εργασιών για διαφορετικούς κινδύνους. Η αναφορά στη συνέχεια παρουσιάζει τα προκαταρκτικά κύρια ευρήματα για τους κινδύνους, ακολουθούμενα από συμπεράσματα, αξιολόγηση της προόδου και συζήτηση για το πώς αυτή η φάση θα επηρεάσει τις επόμενες φάσεις του έργου. Τέλος, το έγγραφο ολοκληρώνεται με την υποστηρικτική τεκμηρίωση και τις αναφορές, εξασφαλίζοντας ότι όλες οι μεθοδολογίες και τα αποτελέσματα είναι ανιχνεύσιμα και επαληθεύσιμα.

2 Εκτίμηση Κλιματικού Κινδύνου – Φάση 1

2.1 Πεδίο εφαρμογής

Η παρούσα φάση καθορίζει τους στόχους και το πλαίσιο της εκτίμησης κλιματικού κινδύνου, ενώ εντοπίζει τα ενδιαφερόμενα μέρη που είναι κρίσιμα για την προετοιμασία του έργου.

2.1.1 Στόχοι

Ο κύριος στόχος της εκτίμησης κλιματικού κινδύνου του CARE_X είναι να παρέχει μια σαφή, βασισμένη σε δεδομένα κατανόηση τεσσάρων κρίσιμων κινδύνων για τον Δήμο Ξάνθης: τους καύσωνες, τις πλημμύρες από ποταμούς (Ποταμός Κόσυνθος), τις ανεμοθύελλες και τις πυρκαγιές. Αξιοποιώντας τη μεθοδολογία και την Εργαλειοθήκη Εκτίμησης Κλιματικού Κινδύνου CLIMAAX, το έργο αποσκοπεί στο να:

- **Δημιουργήσει αξιόπιστα προφίλ διακινδύνευσης** για κάθε κίνδυνο, αναδεικνύοντας τις πιο ευάλωτες πληθυσμιακές ομάδες, υποδομές και οικονομικούς τομείς.
- **Υποστηρίξει τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων και διαμόρφωσης πολιτικών σε τοπικό επίπεδο** μέσω επιστημονικών στοιχείων και πρακτικών συστάσεων για τον προγραμματισμό προσαρμογής και τα μέτρα πολιτικής προστασίας.
- **Καθορίσει σαφή όρια** εστιάζοντας στους κινδύνους που θεωρούνται πιο σημαντικοί για το αστικό και προαστιακό περιβάλλον της Ξάνθης, δεδομένου ότι η Φάση 1 στηρίζεται σε υπάρχοντα σύνολα δεδομένων της Εργαλειοθήκης CLIMAAX (EURO-CORDEX, Landsat8, ERA5). Η εξάρτηση από αυτούς τους τυποποιημένους πόρους επιβάλλει ορισμένους περιορισμούς, κυρίως την απουσία τοπικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης, οι οποίοι θα αντιμετωπιστούν στις επόμενες φάσεις.

2.1.2 Πλαίσιο

Μέχρι τώρα, η διαχείριση των κλιματικών κινδύνων της Ξάνθης γινόταν κυρίως μέσω βασικών σχεδίων πολιτικής προστασίας με στόχο την αντιμετώπιση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, όπως οι πλημμύρες και τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Ωστόσο, οι περιορισμένοι τοπικοί πόροι και η έλλειψη ολοκληρωμένων εργαλείων εκτίμησης πολυδιάστατων κινδύνων έχουν περιορίσει τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό και τις προσαρμοστικές αντιδράσεις. Το έργο CARE_X αντιμετωπίζει αυτό το κενό τοποθετώντας τις προκλήσεις της Ξάνθης σε ένα ευρύτερο περιφερειακό πλαίσιο, όπου η δημογραφική γήρανση, το χαμηλότερο ΑΕΠ ανά κάτοικο και η τοπογραφική ποικιλομορφία –που κυμαίνεται από τις πεδινές αστικές περιοχές κοντά στον ποταμό Κόσυνθο έως τα δασικά υψίπεδα–εντείνουν την τρωτότητα σε ακραία καιρικά φαινόμενα.

Το πλαίσιο διακυβέρνησης περιλαμβάνει τοπικούς κανονισμούς πολιτικής προστασίας και ευρύτερα πλαίσια που έχουν θεσπιστεί από περιφερειακές ή εθνικές αρχές για τη διαχείριση των κινδύνων καταστροφών. Παρόλο που υπάρχουν μηχανισμοί έκτακτης ανάγκης, οι επίσημες στρατηγικές προσαρμογής σε πολλαπλούς κινδύνους παραμένουν ανεπαρκείς. Οι τομείς που αναμένεται να πλήττονται περισσότερο από τους εντοπισμένους κινδύνους είναι οι αστικές υποδομές, η δημόσια υγεία και οι δασικές περιοχές που γειτνιάζουν με κατοικημένες ζώνες. Η

συντονισμένη συνεργασία με περιφερειακούς φορείς και πιθανούς εξωτερικούς συνεργάτες, όπως το σύμφωνο CLIMAAX, είναι κρίσιμη για την εξασφάλιση οικονομικών και τεχνικών πόρων. Πιθανές παρεμβάσεις προσαρμογής περιλαμβάνουν τον εκσυγχρονισμό των συστημάτων αποχέτευσης και αντιπλημμυρικής προστασίας, τη βελτίωση των μέτρων αντιμετώπισης καύσωνα και την ενίσχυση στρατηγικών πρόληψης πυρκαγιών. Περιλαμβάνουν επίσης στοχευμένες πολιτικές πρωτοβουλίες, όπως η ενσωμάτωση εκτιμήσεων κλιματικού κινδύνου στον αστικό σχεδιασμό και στην κατανομή πόρων.

2.1.3 Συμμετοχή και ανάληψη ευθύνης

Τα πρώτα βήματα του έργου για τη διασφάλιση της συμμετοχής των ενδιαφερομένων φορέων περιλάμβαναν τη δημιουργία ενός πλαισίου συνεργασίας μεταξύ της Δημοτικής αρχής της Ξάνθης και του ΚΕΔΙΑΚ. Οι βασικοί ενδιαφερόμενοι φορείς είναι οι εξής:

- **Οι Δημοτικές αρχές** (Δήμαρχος, Αντιδήμαρχος Πολιτικής Προστασίας, προσωπικό του Γραφείου Πολιτικής Προστασίας), οι οποίοι επιβλέπουν την καθημερινή διαχείριση κινδύνων και την ετοιμότητα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.
- **Ακαδημαϊκοί και ερευνητικοί εταίροι** στο ΚΕΔΙΑΚ, οι οποίοι εφαρμόζουν τη μεθοδολογία Εκτίμησης Κλιματικού Κινδύνου CLIMAAX, επιβλέπουν την ανάλυση δεδομένων και αναπτύσσουν εξειδικευμένες ροές εργασιών (workflows).
- **Τοπικές κοινότητες και ομάδες συμφερόντων**, συμπεριλαμβανομένων κατοίκων, επιχειρήσεων και ΜΚΟ σε περιοχές υψηλού κινδύνου.
- **Περιφερειακά και εθνικά ιδρύματα** υπεύθυνα για τις γενικές πολιτικές διαχείρισης καταστροφών και την πιθανή χρηματοδότηση ή ρυθμιστική υποστήριξη.

Η ανάληψη ευθύνης για τον κίνδυνο ανήκει επίσημα στο Δήμο Ξάνθης, καθώς έχει τη νομική ευθύνη για την πολιτική προστασία και τη δημόσια ασφάλεια. Ωστόσο, το ΚΕΔΙΑΚ παρέχει συνεχή τεχνική καθοδήγηση, ενισχύοντας την ικανότητα του δήμου να αφομοιώσει, να εφαρμόσει και να παρακολουθήσει τα ευρήματα εκτίμησης κλιματικού κινδύνου (CRA). Τα αποδεκτά επίπεδα κινδύνου καθορίζονται μέσω των στόχων της δημοτικής πολιτικής και της δημόσιας διαβούλευσης, εξισορροπώντας τη δυνατότητα υλοποίησης με τις προσδοκίες της κοινότητας. Η ανακοίνωση των αποτελεσμάτων θα απευθύνεται κυρίως στους τοπικούς φορείς λήψης αποφάσεων, τους εκπροσώπους της κοινωνίας των πολιτών και σε τυχόν εξωτερικούς φορείς που προσφέρουν συμπληρωματική εμπειρογνωμοσύνη ή πόρους.

2.2 Διερεύνηση κινδύνων

Η Φάση 1 του CARE_X ξεκινά με μια ολοκληρωμένη διερεύνηση των κλιματικών κινδύνων, που περιλαμβάνει την εξέταση των υφιστάμενων δεδομένων και μια αρχική διαλογή που προσδιορίζει πού διασταυρώνονται πιο κρίσιμα τα τρωτά σημεία και οι εκθέσεις.

2.2.1 Έλεγχος κινδύνων (επιλογή κύριων κινδύνων)

Τέσσερις κύριοι κίνδυνοι που σχετίζονται με το κλίμα έχουν επιβεβαιωθεί ως προτεραιότητες για την Ξάνθη:

1. **Ανεμοθύελλες:** Ιστορικά ελάχιστος αντίκτυπος, αλλά χαρακτηρίζονται από πιθανά ακραία φαινόμενα (π.χ. τοπικά επεισόδια ανεμοθυελλών). Αυτά μπορεί να οδηγήσουν σε δομικές ζημιές και διαταραχές σε κρίσιμες υπηρεσίες.

2. Καύσωνες: Χαρακτηρίζονται από αυξανόμενες συχνότητες και εντάσεις, δημιουργώντας σημαντικές ανησυχίες για τη δημόσια υγεία των ηλικιωμένων, των μικρών παιδιών και των κοινωνικοοικονομικά ευάλωτων πληθυσμών, ιδίως σε αστικές περιοχές που επηρεάζονται από το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας.

3. Πλημμύρες ποταμών (ποταμός Κόσυνθος): Περιλαμβάνει επεισοδιακά πλημμυρικά φαινόμενα ποικίλου μεγέθους, που απειλούν τις υποδομές και τις οικιστικές ζώνες της πόλης, ιδίως κατά τη διάρκεια σεναρίων υψηλής περιόδου επαναφοράς (100 έως 500 έτη).

4. Πυρκαγιές: Δεδομένου του δασικού περιβάλλοντος της περιοχής και των μεσογειακών κλιματικών συνθηκών, οι πυρκαγιές συνιστούν αυξημένο κίνδυνο κατά τη διάρκεια της ξηρασίας και των περιόδων αιχμής του καλοκαιριού, με άμεσες επιπτώσεις στις περιαστικές και αγροτικές κοινότητες.

Χρησιμοποιήθηκαν σύνολα δεδομένων από την εργαλειοθήκη CLIMAAX (π.χ. EURO-CORDEX, Landsat8, ERA5) για να εκτιμηθεί η σοβαρότητα του κινδύνου, η έκθεση και η τρωτότητα. Πρόσθετα τοπικά δεδομένα και βελτιωμένη μοντελοποίηση θα ενσωματωθούν σε επόμενες φάσεις του έργου CARE_X για την περαιτέρω βελτίωση της ποσοτικοποίησης των κινδύνων και τη διευκόλυνση πιο στοχευμένων στρατηγικών μετριασμού.

2.2.2 Επιλογή ρόων εργασίας

Με βάση τους επιλεγμένους κινδύνους για τον Δήμο Ξάνθης – ανεμοθύελλες, πλημμύρες από ποταμούς (ποταμός Κόσυνθος), καύσωνες και δασικές πυρκαγιές – η ομάδα του CARE_X εντόπισε τέσσερις σχετικές ροές εργασιών για την εκτίμηση του κλιματικού κινδύνου. Κάθε απειλή αναλύθηκε ξεχωριστά χρησιμοποιώντας τις ροές εργασιών CLIMAAX, υποστηριζόμενες από περιφερειακά και τοπικά δεδομένα, καθώς και από τυποποιημένα κριτήρια τρωτότητας και έκθεσης.

Κάθε ροή εργασιών αντικατοπτρίζει διακριτά χαρακτηριστικά κινδύνων, απαιτήσεις δεδομένων και πλαίσια έκθεσης/ευπάθειας. Οι αντίστοιχες ευάλωτες ομάδες και οι εκτεθειμένες περιοχές προσδιορίστηκαν ως εξής:

- **Οι ηλικιωμένοι και τα μικρά παιδιά** στις αστικές περιοχές ήταν οι πιο ευάλωτοι στους καύσωνες, ιδιαίτερα σε περιοχές υψηλής πυκνότητας που επηρεάζονται από το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας.
- **Οι κάτοικοι και οι υποδομές κοντά στον ποταμό Κόσυνθο**, ιδιαίτερα στο βόρειο τμήμα της Ξάνθης, βρέθηκαν ιδιαίτερα εκτεθειμένοι σε πλημμύρες.
- **Κτίρια με απαρχαιωμένα κατασκευαστικά πρότυπα και κρίσιμες υποδομές** σε εκτεθειμένες περιοχές διατρέχουν κίνδυνο από ανεμοθύελλες.
- **Οι προαστιακές κοινότητες και οι οικισμοί κοντά σε δασικές περιοχές** ήταν ιδιαίτερα ευάλωτοι σε δασικές πυρκαγιές, οι οποίες επιδεινώνονταν από τις ξηρές συνθήκες και την εγγύτητα σε πηγές ανάφλεξης.

2.2.2.1 Ροή Εργασιών #1 Εφαρμογή σε: Ανεμοθύελλες. Η απειλή των ανεμοθυελλών αξιολογήθηκε χρησιμοποιώντας τη ροή εργασιών του CLIMAAX για ανεμοθύελλες. Αναλύθηκαν τέσσερα σενάρια: δύο ιστορικές καταιγίδες από τη βάση δεδομένων CDS (Klaus και Martin), μία επανααναλυτική εκδοχή του Klaus με δεδομένα ERA5, και ένα πρόσφατο τοπικό επεισόδιο ανεμοθύελλας ("Ifestionas", Ιανουάριος 2020). Η ροή εργασιών περιλάμβανε δεδομένα εδαφοκάλυψης LUISA για την έκθεση και προδιαμορφωμένες καμπύλες τρωτότητας προσαρμοσμένες σε τύπους κτιρίων και χρήσεων γης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μόνο το σενάριο της τοπικής ανεμοθύελλας υπερέβη τα όρια ζημιών, υπογραμμίζοντας τη σημασία της ανάλυσης τοπικών φαινομένων για την Ξάνθη.

2.2.2.2 Ροή Εργασιών #2 Εφαρμογή σε: Καύσωνες. Η ανάλυση των καυσώνων χρησιμοποίησε τόσο τις μεθόδους EuroHEAT όσο και XCLIM, αξιοποιώντας τις κλιματικές προβολές EURO-CORDEX. Εξετάστηκαν πολλοί ορισμοί καυσώνων, συμπεριλαμβανομένων των κριτηρίων της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY) και των δεικτών βασισμένων σε εκατοστιαία ποσοστά. Η αξιολόγηση κινδύνου συνδύασε τη δορυφορική Θερμοκρασία Επιφανείας της Γης (Landsat8) με δημογραφικά δεδομένα για ευάλωτες ομάδες (παιδιά και ηλικιωμένους) και κατέγραψε περιοχές υψηλής έκθεσης στην αστική περιοχή της Ξάνθης. Οι προβλεπόμενες μελλοντικές συνθήκες υπό τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 δείχνουν μια σημαντική αύξηση στη συχνότητα και την ένταση των καυσώνων.

2.2.2.3 Ροή Εργασιών #3 Εφαρμογή σε: Πλημμύρες από Ποταμού. Η εκτίμηση του κινδύνου πλημμύρας από ποταμούς πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας χάρτες κινδύνου πλημμύρας υψηλής ανάλυσης του ΚΚΕρ και το σύνολο δεδομένων χρήσης γης LUISA. Οι ζημίες υπολογίστηκαν βάσει του βάθους κατάκλυσης για πέντε περιόδους επαναφοράς (10, 50, 100, 200, 500 έτη), σε συνδυασμό με καμπύλες τρωτότητας-ζημίας και οικονομικά μετρικά έκθεσης (ΑΕΠ/μ²). Τα αποτελέσματα υπογράμμισαν σημαντική δυνητική κατάκλυση στη βόρεια αστική περιοχή της Ξάνθης. Επιπλέον, κλιματικά προσαρμοσμένα σενάρια με βάση το RCP8.5, ανέδειξαν περαιτέρω τους μελλοντικούς κινδύνους πλημμύρας. Δοκιμάστηκαν δεδομένα Aqueduct χαμηλής ανάλυσης, αλλά κρίθηκαν ανεπαρκή για τη στενή λεκάνη απορροής του ποταμού Κόσυνθου.

2.2.2.4 Ροή Εργασιών #4 Εφαρμογή σε: Πυρκαγιές. Η ροή εργασιών για πυρκαγιές ενσωμάτωσε την χαρτογράφηση κινδύνου με χρήση μηχανικής μάθησης του CLIMAAX και τον Μετεωρολογικό Δείκτη Πυρκαγιάς (FWI). Η ανάλυση εστίασε στον εντοπισμό περιοχών πλούσιων σε καύσιμη ύλη και στην αξιολόγηση της τρωτότητας σε πυρκαγιές κοντά στα όρια δασικών και αστικών περιοχών. Οι περιορισμοί των δεδομένων περιόρισαν την πλήρη εφαρμογή της μηχανικής μάθησης, ωστόσο οι προκαταρκτικοί χάρτες κινδύνου ανέδειξαν περιοχές προτεραιότητας για πρόληψη. Οι συνεργασίες με τον δήμο θα στηρίξουν τη βελτίωση της συλλογής δεδομένων και την μελλοντική ανάπτυξη τεχνολογιών τηλεπισκόπησης (π.χ., drones) για την ενίσχυση των δυνατοτήτων πρόβλεψης.

2.2.3 Επιλογή σεναρίων

Για την εκτίμηση κλιματικού κινδύνου στην Ξάνθη, θεωρήθηκαν σχετικές οι ακόλουθες υποθέσεις σεναρίων:

- **Βραχυπρόθεσμα (0–5 χρόνια):** Τα τρέχοντα επίπεδα έκθεσης και πρόσφατα φαινόμενα χρησιμοποιούνται για τη βαθμονόμηση και την επικύρωση των ροών εργασιών.
- **Μεσοπρόθεσμα (20–30 χρόνια):** Προβλέπεται αστική επέκταση, γήρανση του πληθυσμού και μέτρια θέρμανση υπό το σενάριο RCP4.5.
- **Μακροπρόθεσμα (50–100 χρόνια):** Αναμένονται σοβαρές κλιματικές μεταβολές υπό το σενάριο RCP8.5, με επιπτώσεις στη συχνότητα, την ένταση και το χωρικό μέγεθος των απειλών.

Τα σενάρια που ενσωματώθηκαν στις ροές εργασιών του CLIMAAX ευθυγραμμίστηκαν με τις τοπικές ανάγκες:

- Προβλέψεις EURO-CORDEX για RCP4.5 και RCP8.5 όσον αφορά τους καύσωνες και τον κίνδυνο πλημμύρας από ποταμούς.
- Σενάρια βασισμένα σε περιόδους επαναφοράς (π.χ., 100- και 500-ετών πλημμύρες) για τις πλημμύρες από ποταμούς με χρήση δεδομένων του ΚΚΕρ.
- Ιστορικά ορόσημα ανεμοθυελλών και προσαρμοσμένα αποτυπώματα βασισμένα σε δεδομένα ERA5 για την ανάλυση ανεμοθυελλών.
- Μελλοντικά σενάρια FWI και εξελισσόμενα όρια μεταξύ αστικών και δασικών περιοχών για τη μοντελοποίηση της τρωτότητας σε πυρκαγιές.

Τα σενάρια αυτά υποστήριξαν τόσο τον άμεσο σχεδιασμό μετριασμού όσο και τη μακροπρόθεσμη στρατηγική προσαρμογή, προωθώντας έναν σταδιακό, τεκμηριωμένο χάρτη πορείας ανθεκτικότητας για τον Δήμο Ξάνθης

2.3 Ανάλυση διακινδύνευσης

2.3.1 Ροή Εργασιών #1: Ανεμοθύελλες

Όσον αφορά την αξιολόγηση της επικινδυνότητας και του κινδύνου ανεμοθύελλας, η ομάδα έργου του CARE_X εφάρμοσε το πλαίσιο CLIMAAX, ακολουθώντας τη μεθοδολογία που περιγράφεται στη σχετική εργαλειοθήκη Εκτίμησης Κλιματικού Κινδύνου του CLIMAAX. Θα πρέπει να τονιστεί ότι ο πρωταρχικός στόχος αυτής της εκτίμησης διακινδύνευσης σε πρώτη φάση ήταν να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της ροής εργασιών CLIMAAX για τον κίνδυνο ανεμοθύελλας, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο αιολικός κίνδυνος μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την περιοχή ενδιαφέροντος του έργου CARE_X, η οποία περιλαμβάνει μια ευρύτερη περιοχή γύρω από την πόλη της Ξάνθης στη βόρεια Ελλάδα. Ως παράδειγμα, ένας ισχυρός τοπικός ανεμοστρόβιλος, ο οποίος σημειώθηκε στις 4 Νοεμβρίου 2023, προκάλεσε ορατές ζημιές σε στέγες κτιρίων και αναποδογύρισε αυτοκίνητα σε χώρο στάθμευσης κοντά στο κέντρο της Ξάνθης (βλ. Σχήμα 2-1).

Στο Σχήμα 2-2 απεικονίζεται η περιοχή που καθορίστηκε με τη χρήση της εργαλειοθήκης CLIMAAX για την πραγματοποίηση της Εκτίμησης Κλιματικού Κινδύνου ανεμοθύελλας για το

έργο CARE_X. Αναφέρεται σε μια ευρύτερη περιοχή γύρω από την πόλη της Ξάνθης που οριοθετείται από τις συντεταγμένες (24.6097, 41.0071, 25.2125, 41.3904).



Σχήμα 2-1 Επίδραση ισχυρού τοπικού ανεμοστρόβιλου που εκδηλώθηκε στην Ξάνθη: Αναποδογυρισμένα αυτοκίνητα σε χώρο στάθμευσης κοντά στο κέντρο της πόλης (ημερομηνία: 4 Νοεμβρίου 2023).



Σχήμα 2-2 Περιοχή ενδιαφέροντος του έργου CARE_X για την εφαρμογή της ροής εργασιών CLIMAAX για τον κίνδυνο ανεμοθύελλας.

2.3.1.1 Αξιολόγηση Κινδύνου

Τέσσερα (4) σενάρια ανεμοθύελλας εξετάστηκαν ως μέρος της πρώτης φάσης του έργου για την αξιολόγηση της δυνατότητας εφαρμογής της ροής εργασιών CLIMAAX για την ανεμοθύελλα (Koks και Haer, 2020) στην περιοχή ενδιαφέροντος του CARE_X. Τα σενάρια αυτά είναι (βλ. Πίνακα 2-1):

- **Σενάριο 1:** Η ανεμοθύελλα «Κλάους» εκδηλώθηκε στις 24 Ιανουαρίου 2009, και έχει προδιαμορφωθεί στη βάση δεδομένων CDS (χρήση της Επιλογής A της ροής εργασίας ανεμοθύελλας CLIMAAX)
- **Σενάριο 2:** Η ανεμοθύελλα «Μάρτιν» εκδηλώθηκε στις 27 Δεκεμβρίου 1999, και έχει προδιαμορφωθεί στη βάση δεδομένων CDS (χρήση της Επιλογής A της ροής εργασίας ανεμοθύελλας CLIMAAX)
- **Σενάριο 3:** Το ίδιο με το Σενάριο 1, αλλά κατεβασμένο από τις ριπές ανέμου ERA5 και συγκεντρωμένο σε αποτύπωμα (χρήση της νέας Επιλογής B της ροής εργασίας ανεμοθύελλας CLIMAAX)
- **Σενάριο 4:** Μια τοπική ανεμοθύελλα που συνέβη στις 6-7 Ιανουαρίου 2020 στην Ελλάδα (<https://confluence.ecmwf.int/display/FCST/202001+-+Windstorm+-+Greece>). Το συμβάν αυτό ελήφθη από τα δεδομένα ERA5 και συγκεντρώθηκε σε αποτύπωμα (χρήση της νέας Επιλογής B της ροής εργασιών CLIMAAX για την ανεμοθύελλα).

Σημειώνεται ότι τα Σενάρια 1 και 2 αναφέρονται σε ανεμοθύελλες που διήλθαν από τη Νότια Ευρώπη, κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος του CARE_X, μεταξύ των 118 φαινομένων που

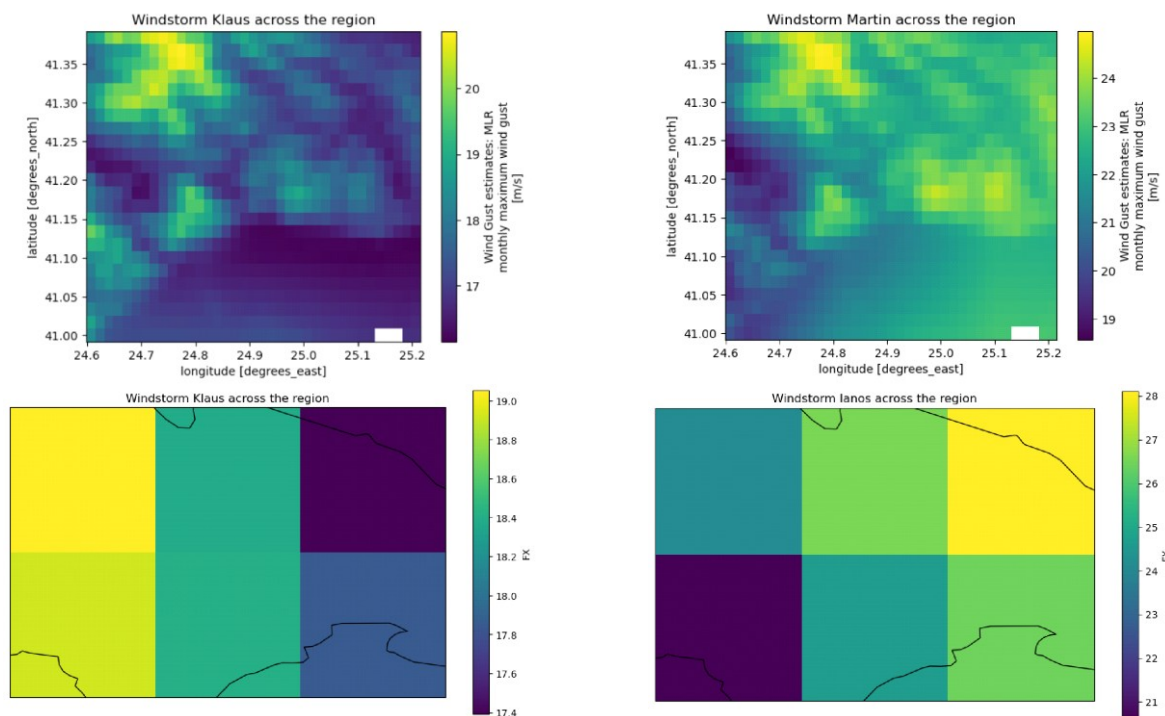
περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων CDS. Το Σενάριο 3 χρησιμοποιήθηκε ως επιπλέον έλεγχος της Επιλογής Β της ροής εργασιών CLIMAAX για την ανεμοθύελλα, ενώ το Σενάριο 4 αφορά ένα τοπικό συμβάν όπου ανεμοθύελλα σημειώθηκε στην Ελλάδα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διεξαγωγή ανάλυσης εκτίμησης κλιματικού κινδύνου με δεδομένα κινδύνου τόσο χαμηλά, της τάξης των 0,25° στο πλαίσιο της επανεπεξεργασίας ERA5, γενικά δεν συνιστάται. Ωστόσο, η Επιλογή Β επιτρέπει την ανάλυση περιστατικών ανεμοθύελλας που δεν περιλαμβάνονται στη βάση δεδομένων CDS και, επομένως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην επόμενη φάση του έργου για την εξερεύνηση τοπικών συνόλων δεδομένων, σε περίπτωση που οι μετεωρολογικές υπηρεσίες μπορούν να παρέχουν παρατηρήσεις σε πλέγματα για τις ταχύτητες των ριπών ανέμου που μπορούν να μετατραπούν σε αποτύπωμα θύελλας.

Μια επισκόπηση των εισερχόμενων και εξερχόμενων δεδομένων από την εφαρμογή της ροής εργασιών CLIMAAX στην περιοχή ενδιαφέροντος του CARE_X αναφέρεται στον Πίνακα 2-1, ενώ το αποτύπωμα της ανεμοθύελλας για την εξεταζόμενη περιοχή απεικονίζεται για κάθε μία από τις 4 περιπτώσεις στο Σχήμα 2-3. Η μεγάλη διαφορά στην ανάλυση του αποτυπώματος του ίδιου συμβάντος μεταξύ του Σεναρίου 1, το οποίο προέρχεται άμεσα από τη βάση δεδομένων CDS (Σχήμα 2-3α), και του Σεναρίου 3, το οποίο ανακτήθηκε από το αρχείο χαμηλής ανάλυσης ριπών ανέμου ERA5 (Σχήμα 2-3γ), είναι προφανής. Θα πρέπει ακόμη να σημειωθεί ότι, μεταξύ των τεσσάρων σεναρίων, το ισχυρότερο είναι το τοπικό συμβάν με ταχύτητες ανέμου άνω των 25 m/s. Αυτό το στοιχείο είναι κρίσιμο για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της εκτίμησης διακινδύνευσης, όπως θα φανεί στη συνέχεια.

Πίνακας 2-1 Σύνοψη δεδομένων για την εφαρμογή της ροής εργασιών εκτίμησης διακινδύνευσης από θυελλώδεις ανέμους στο έργο CARE_X (CLIMAAX)

Σενάριο	Δεδομένα Κινδύνου	Πηγή Δεδομένων Κινδύνου	Δεδομένα Τρωτότητας	Δεδομένα Έκθεσης	Αποτέλεσμα Κινδύνου
1	Ανεμοθύελλα "Klaus"	Βάση δεδομένων CDS	Καμπύλες τρωτότητας βασισμένες σε τύπο κατασκευής (Feurstein et al. 2011) προσαρμοσμένες σε καμπύλες τρωτότητας βασισμένες σε κάλυψη γης	Βασικός χάρτης LUISA 2018 της περιοχής του έργου CARE_X	Δομικές ζημιές (€/m²)
2	Ανεμοθύελλα "Martin" windstorm	Βάση δεδομένων CDS			
3	Ανεμοθύελλα "Klaus"	Ριπές ανέμου ERA5			
4	Τοπικό Ελληνικό συμβάν ανεμοθύελλας "Ηφαιστίωνα" (6-7 Ιανουαρίου 2020)	Ριπές ανέμου ERA5			



Σχήμα 2-3 Αποτυπώματα ανεμοθυελλών στην περιοχή ενδιαφέροντος του CARE_X για κάθε σενάριο ανεμοθύελλας: (α) Σενάριο 1, (β) Σενάριο 2, (γ) Σενάριο 3 και (δ) Σενάριο 4.

2.3.1.2 Εκτίμηση Διακινδύνευσης

Η διαδικασία εκτίμησης διακινδύνευσης που καθορίζεται στο Python script ανεμοθύελλας του CLIMAAX ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων κινδύνου για καθένα από τα τέσσερα σενάρια ανεμοθύελλας. Υπενθυμίζεται ότι ο κύριος στόχος της πρώτης αυτής φάσης του έργου ήταν να ελεγχθεί η δυνατότητα εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας στην περιοχή ενδιαφέροντος του έργου CARE_X. Ως εκ τούτου, τα μοντέλα τρωτότητας δεν προσαρμόστηκαν σε τοπικά δεδομένα, καθώς αυτό το είδος ανάλυσης θα διερευνηθεί στη δεύτερη φάση του έργου. Συνεπώς, η ανάλυση εκτίμησης κλιματικού κινδύνου για το έργο CARE_X εκτελέστηκε σε αυτή τη φάση χρησιμοποιώντας τις ίδιες καμπύλες τρωτότητας για τον τύπο κτιρίου και τη χρήση γης, οι οποίες είναι ενσωματωμένες στη μεθοδολογία CLIMAAX για ανεμοθύελλες. Από την άλλη, τα δεδομένα εδαφοκάλυψης για την περιοχή εφαρμογής του CARE_X βασίστηκαν στον ενημερωμένο βασικό χάρτη LUISA 2018. Ο τελευταίος απεικονίζεται στο Σχήμα 2-4 για την περιοχή ενδιαφέροντος του CARE_X, η οποία επικαλύπτεται από τα αποτυπώματα ανεμοθύελλας του Σεναρίου 1 (Σχήμα 2-4α) και του Σεναρίου 4 (Σχήμα 2-4β).

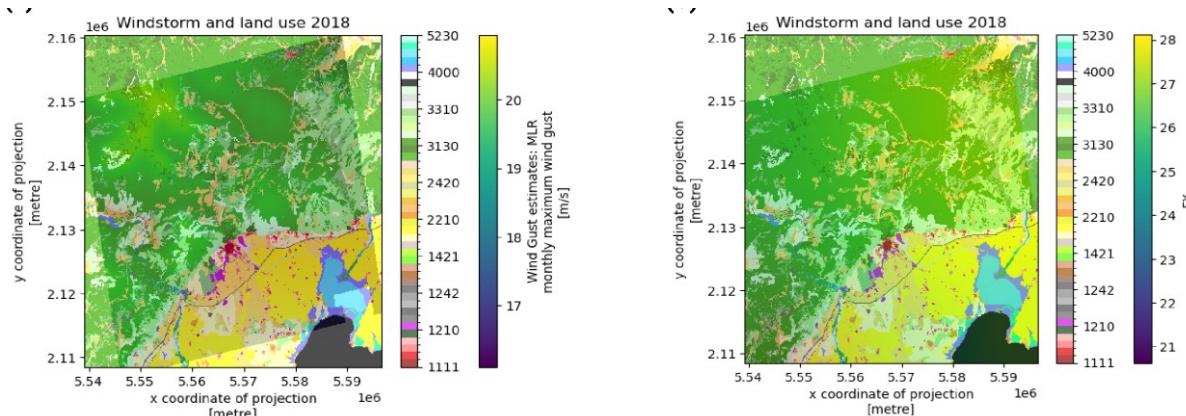
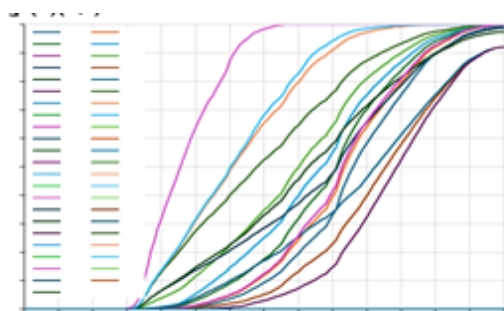


Figure 2-4 Αντιστοίχιση επιπέδων χρήσης γης και αποτυπωμάτων ανεμοθυελλών για (α) Σενάριο 1 και (β) Σενάριο 4

Τα παραπάνω δεδομένα συνδυάστηκαν με τις μετασχηματισμένες καμπύλες τρωτότητας ανά τύπο χρήσης γης (Πίνακας 2-1), όπως εισάγονται στη διαδικασία αξιολόγησης κινδύνου CLIMAAX, για την εκτίμηση ζημιών σε επίπεδο συμβάντος. Πιο συγκεκριμένα, η μεθοδολογία ανεμοθύελλας του CLIMAAX υποδεικνύει ότι, με βάση την ταχύτητα των ριπών ανέμου κατά τη διάρκεια της καταιγίδας, εφαρμόζονται οι καμπύλες τρωτότητας που προτείνονται από τους Feuerstein et al. (2011) για τον προσδιορισμό του βαθμού ζημίας που υφίσταται ένα περιουσιακό στοιχείο λόγω αυτής της ταχύτητας ανέμου. Στη συνέχεια, το μέγιστο κόστος ζημίας για το συγκεκριμένο στοιχείο πολλαπλασιάζεται με το ποσοστό ζημίας που προκύπτει από την αντίστοιχη καμπύλη τρωτότητας, οδηγώντας στην εκτιμώμενη ζημία που προκαλείται από τη θύελλα στο συγκεκριμένο στοιχείο.

Η εκτέλεση αυτού του υπολογισμού για όλες τις τοποθεσίες περιουσιακών στοιχείων της περιοχής δημιουργεί έναν χάρτη ζημιών, ο οποίος βοηθά στον προσδιορισμό των περιοχών που επηρεάζονται περισσότερο, όσον αφορά το υψηλότερο κόστος των ζημιών. Το Σχήμα 2-5 απεικονίζει τις καμπύλες τρωτότητας για όλα τα είδη εδαφοκάλυψης, όπως προτείνονται από τη μεθοδολογία CLIMAAX για τον άνεμο. Σημειώνεται ότι η οριακή τιμή της ταχύτητας ριπών ανέμου για την έναρξη ζημιών είναι 27 m/s.

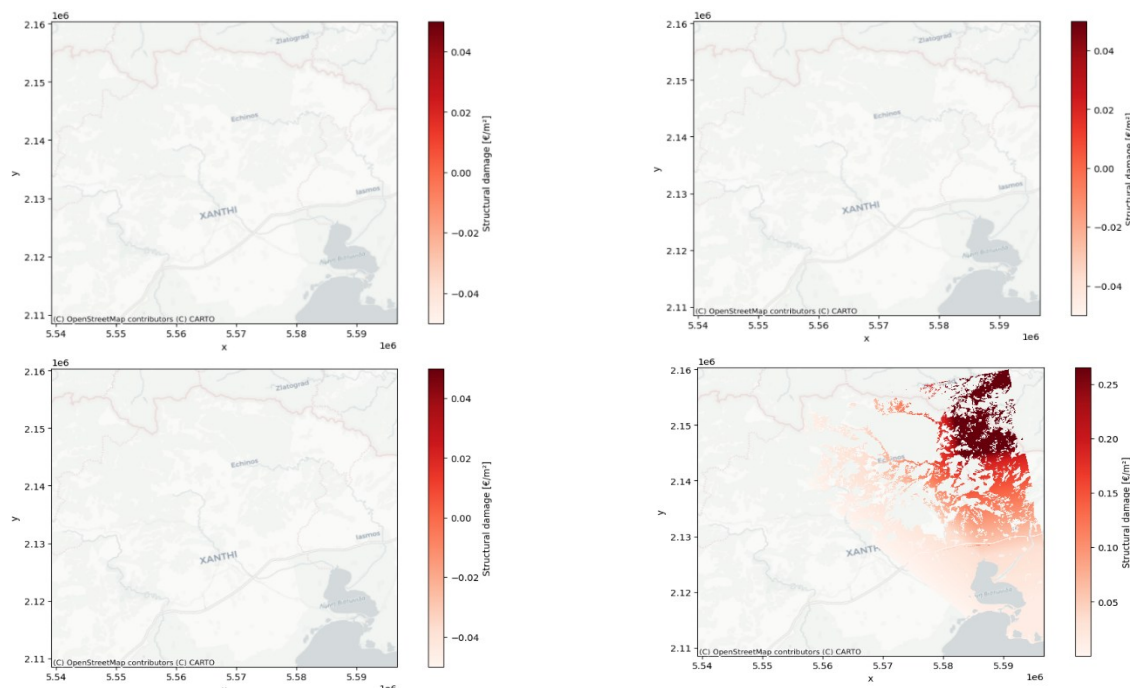


Σχήμα 2-5 Καμπύλες τρωτότητας για όλα τα είδη εδαφοκάλυψης

Η τιμή αυτή μπορεί να εξηγήσει την κατανομή των δομικών ζημιών που απεικονίζεται στο Σχήμα 2-6. Συγκεκριμένα, η μηδενική επίδραση των Σεναρίων 1, 2 και 3 στην περιοχή ενδιαφέροντος του έργου CARE_X είναι πιθανό να σχετίζεται με τις χαμηλές τιμές ταχύτητας ανέμου, οι οποίες φαίνεται να είναι πολύ χαμηλές για να προκαλέσουν ζημιές στα υπό εξέταση περιουσιακά στοιχεία. Αντιθέτως, το Σενάριο 4 επιφέρει μια ορατή (αν και αμελητέα) επίδραση στην περιοχή, καθώς το επιβαλλόμενο φορτίο ανέμου

υπερβαίνει οριακά την τιμή κατωφλίου των καμπύλων τρωτότητας.

Σε κάθε περίπτωση, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι η μεθοδολογία CLIMAAX για ανεμοθύελλες εφαρμόστηκε με επιτυχία στην περιοχή ενδιαφέροντος του CARE_X, παρέχοντας εύλογους χάρτες ζημιών και, επομένως, επιτυγχάνοντας ένα ορισμένο επίπεδο εμπιστοσύνης για την ανάλυση στη δεύτερη φάση του έργου.



Σχήμα 2-6 Χάρτης δομικών ζημιών στην περιοχή ενδιαφέροντος του CARE_X για κάθε σενάριο ανεμοθύελλας: (α) Σενάριο 1, (β) Σενάριο 2, (γ) Σενάριο 3 και (δ) Σενάριο 4..

2.3.2 Ροή Εργασιών #2: Καύσωνες

Η ομάδα του CARE_X εφάρμοσε όλες τις μεθοδολογίες που περιγράφονται στη ροή εργασιών για τον καύσωνα της εργαλειοθήκης CLIMAAX CRA για την εκτίμηση κινδύνου και διακινδύνευσης. Η αξιολόγηση της πρώτης φάσης είχε διπλό στόχο:

1. Να διερευνηθεί η δυνατότητα εφαρμογής της ροής εργασιών για τον καύσωνα στην περιοχή ενδιαφέροντος του CARE_X.
2. Να αξιολογηθεί ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής στον κίνδυνο του καύσωνα και να προσδιοριστούν οι πιο επηρεαζόμενες περιοχές, τόσο σήμερα όσο και στο μέλλον, υπό τα σενάρια κλιματικής αλλαγής RCP4.5 και RCP8.5.

Ο Πίνακας 2-2 παρουσιάζει τα σύνολα δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της ροής εργασιών του CLIMAAX για τον καύσωνα..

Πίνακας 2-2 Επισκόπηση Δεδομένων για την Εφαρμογή του Έργου CARE_X στη Ροή Εργασιών του CLIMAAX για τον καύσωνα

	Δεδομένα Κινδύνου	Δεδομένα Ευπάθειας	Αποτέλεσμα Κινδύνου
Εκτίμηση Κινδύνου (EUROheat)	Ημέρες καύσωνα με βάση το σύνολο δεδομένων EURO-CORDEX		Ο ετήσιος αριθμός συμβάντων καύσωνα από το 1986 έως το 2085, υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5
Εκτίμηση Κινδύνου (Xclim)	Ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία αέρα σε ύψος 2 μ. από το σύνολο δεδομένων EURO-CORDEX		Εκτιμήσεις έξι διαφορετικών δεικτών καύσωνα για την περίοδο 1986-2100 υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5
Εκτίμηση Κινδύνου (δεδομένα από δορυφόρο)	Δεδομένα θερμοκρασίας επιφάνειας γης (LST) από τον δορυφόρο Landsat8	Πληθυσμός ηλικίας ≤5 ετών και ≥65 ετών, Κρίσιμες	Εκτίμηση Κινδύνου (δεδομένα από δορυφόρο)

	Δεδομένα Κινδύνου	Δεδομένα Ευπάθειας	Αποτέλεσμα Κινδύνου
		υποδομές	
Κίνδυνος καύσωνα υπό την κλιματική αλλαγή	Ημέρες καύσωνα με βάση το σύνολο δεδομένων EURO-CORDEX	Πληθυσμός ηλικίας ≤5 ετών και ≥65 ετών	Η προβλεπόμενη έκταση αλλαγής στην εμφάνιση καυσώνων υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5, σε συνδυασμό με την κατανομή ευάλωτων πληθυσμιακών ομάδων.

2.3.2.1 Αξιολόγηση Κινδύνου

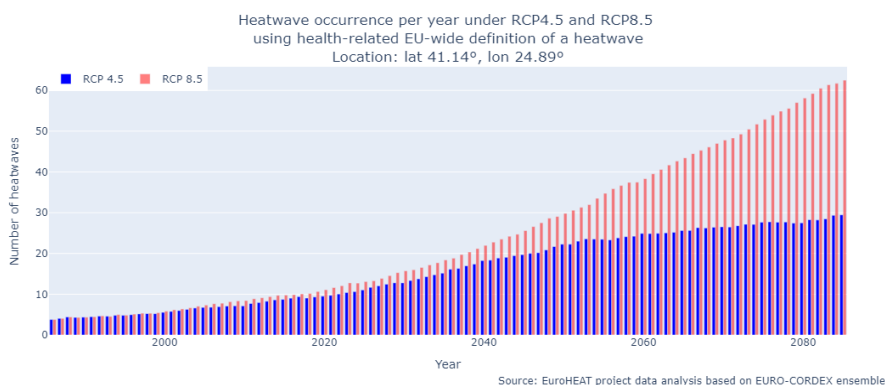
Η κύρια εστίαση της αξιολόγησης κινδύνου στη ροή εργασιών του CLIMAAX για τον καύσωνα είναι η ποσοτικοποίηση της εμφάνισης καυσώνων στο παρόν και στο μέλλον, υπό διαφορετικά σενάρια κλιματικής αλλαγής. Στο πλαίσιο αυτό, προτείνονται δύο διαφορετικές μεθοδολογίες για την εκτίμηση των καυσώνων: Euro Heat και XCLIM. Και οι δύο αυτές μεθοδολογίες βασίζονται στα δεδομένα κλιματικής προβολής του EURO-CORDEX, που έχουν ανάλυση 12 x 12 χλμ και είναι διαθέσιμα στο Copernicus Data Store (Πίνακας 2-2). Δεδομένου ότι δεν υπάρχει καθολικά αποδεκτός ορισμός για τον καύσωνα (Conti et al., 2022) και με στόχο τη διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης αξιολόγησης κινδύνου, η ομάδα του CARE_X επέλεξε να εφαρμόσει και τις δύο μεθοδολογίες.

Σημειώνεται ότι, για τη μεθοδολογία XCLIM, λόγω της έλλειψης αποδεκτού ορισμού σε παγκόσμιο ή εθνικό επίπεδο για τους καύσωνες, η ομάδα του CARE_X εκτίμησε έξι διαφορετικούς θερμικούς δείκτες. Αρχικά, εκτιμήθηκε ο ετήσιος αριθμός συμβάντων καυσώνων (Συχνότητα Καυσώνων) και ο ετήσιος αριθμός ημερών καυσώνων (Συνολικές Ημέρες Καυσώνων) βάσει ενός ορισμού που είχε προταθεί πριν από λίγα χρόνια από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY). Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό, εμφανίζεται καύσωνας όταν η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία είναι ίση ή υπερβαίνει τους 39 °C, και η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία παραμένει πάνω από τους 26 °C για τουλάχιστον τρεις συνεχόμενες ημέρες.

Στη συνέχεια, σε συμφωνία με προηγούμενες μελέτες (Founda & Santamouris, 2017; Founda et al., 2019), η ομάδα του CARE_X όρισε καύσωνα μία περίοδο τουλάχιστον τριών συνεχόμενων ημερών με ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες που υπερβαίνουν το 95ο εκατοστημόριο της καλοκαιρινής περιόδου 1971–2005. Βάσει αυτού του ορισμού, εκτιμήθηκε ο ετήσιος αριθμός ημερών καυσώνων (Δείκτης Καυσώνων) για ολόκληρη την περίοδο μελέτης (1971–2100). Ομοίως, υπολογίστηκαν ο ετήσιος αριθμός ημερών και ο μέγιστος αριθμός συνεχόμενων ημερών ανά έτος με ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες που υπερβαίνουν το όριο του 95ου εκατοστημορίου. Τέλος, για τις περιόδους 1971–2005 και 2006–2100, εκτιμήθηκε ο ετήσιος αριθμός θερμών ημερών, ορισμένος ως οι ημέρες με ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες που υπερβαίνουν το 90ο εκατοστημόριο κάθε περιόδου. Επισημαίνεται ότι, δεδομένου ότι τα εκτιμηθέντα αποτελέσματα εξαρτώνται από τον συνδυασμό GCM-RCM των κλιματικών μοντέλων, η ομάδα του CARE_X πραγματοποίησε αναλύσεις βασισμένες στο XCLIM για διάφορους συνδυασμούς (Συμπληρωματικό υλικό: Πίνακας S1) για να αξιολογήσει το βαθμό εξάρτησης των αποτελεσμάτων από την επιλογή του μοντέλου.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δεδομένα του EURO-CORDEX είναι χαμηλής ανάλυσης, όλα τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν με τις μεθοδολογίες EuroHEAT και XCLIM επικεντρώθηκαν γύρω από την πόλη της Ξάνθης (γεωγραφικό πλάτος: 41.14, γεωγραφικό μήκος: 24.89). Το Σχήμα 2-7 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας EuroHeat. Η συχνότητα των

καυσώνων παρουσιάζει αυξανόμενη τάση με την πάροδο του χρόνου. Συγκεκριμένα, αναμένεται ο ετήσιος αριθμός καυσώνων να τριπλασιαστεί σχεδόν μέχρι το 2070 υπό και τα δύο σενάρια, ενώ υπό το σενάριο RCP8.5 αναμένεται να αυξηθεί πενταπλάσια μέχρι το 2100. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δύο σεναρίων, παρατηρούνται σημαντικές διαφορές από το μέσο του αιώνα και έπειτα, όπως αναμενόταν.



Σχήμα 2-7 Ετήσια συχνότητα εμφάνισης καυσώνων στον Δήμο Ξάνθης για την περίοδο 1986-2085, υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5, χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία EuroHEAT.

Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας XCLIM, υπό τα δύο σενάρια μέχρι το 2100, περιλαμβάνονται στο συμπληρωματικό υλικό (Σχήματα S1–S4). Σε συμφωνία με τα αποτελέσματα του EuroHEAT, αναμένεται η συχνότητα των καυσώνων και των ζεστών ημερών να αυξηθεί μέχρι το τέλος του αιώνα, ιδιαίτερα υπό το σενάριο RCP8.5. Για παράδειγμα, λαμβάνοντας υπόψη τον Δείκτη Καυσώνων υπό το RCP8.5, ο αριθμός των ημερών καυσώνων θα διπλασιαστεί από το 2070 και έπειτα. Επιπλέον, είναι εμφανές ότι ο ορισμός των καυσώνων ή των θερμικών δεικτών που χρησιμοποιούνται επηρεάζει έντονα τα ευρήματα. Για παράδειγμα, σύμφωνα με τον ορισμό της EMY, ο αριθμός των ημερών καυσώνων είναι πολύ μικρότερος από αυτούς που βασίζονται σε εκατοστιαίες τιμές. Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της επιλογής του κατάλληλου ορισμού για τον καύσωνα στην περιοχή ενδιαφέροντος του CARE_X. Τέλος, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τους διάφορους συνδυασμούς GCM-RCM (Σχήματα S1–S4), φαίνεται ότι παρά τις ορισμένες διακυμάνσεις, τα αποτελέσματα γενικά ακολουθούν την ίδια τάση.

2.3.2.2 Εκτίμηση διακινδύνευσης από καύσωνες βάσει δορυφορικών δεδομένων

Ο κύριος στόχος της εκτίμησης διακινδύνευσης από καύσωνες με βάση δορυφορικά δεδομένα είναι ο εντοπισμός αστικών νησίδων θερμότητας και η διερεύνηση της χωρικής κατανομής του ευάλωτου πληθυσμού. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένας χάρτης διακινδύνευσης καυσώνων που συνδυάζει πληροφορίες για τις υπερθερμασμένες περιοχές εντός της περιοχής ενδιαφέροντος του CARE_X με δεδομένα για την πυκνότητα των ομάδων ευάλωτου πληθυσμού. Τα απαραίτητα δεδομένα περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία επιφανειακής γης (LST) που προέρχεται από δορυφορικά δεδομένα για την καλοκαιρινή περίοδο (Ιούνιος έως Αύγουστος, 2013-2024), βασισμένη στη θερμοκρασία επιφανειακής γης Landsat8 (χωρική ανάλυση: 30 x 30 μ), διαθέσιμη στην πύλη του Εργαστηρίου Απόμακρης Αισθητηριοποίησης (RSLab), καθώς και τα δεδομένα ευάλωτου πληθυσμού για το 2020, από το σύνολο δεδομένων WorldPop, διαθέσιμα από την πύλη του Humanitarian Data Exchange (HDX) (Πίνακας 2-2).

Αρχικά, η ομάδα του CARE_X εφάρμοσε τη μεθοδολογία εκτίμησης διακινδύνευσης καυσώνων σε ολόκληρο τον Δήμο Ξάνθης. Παρατηρήθηκε ότι οι πλέον προβληματικές περιοχές βρίσκονται στην πόλη της Ξάνθης (Σχήματα S5, S6). Αυτό δεν ήταν απρόσμενο, καθώς ο μεγαλύτερος μέρος του πληθυσμού συγκεντρώνεται στην πόλη της Ξάνθης, όπου, λόγω του

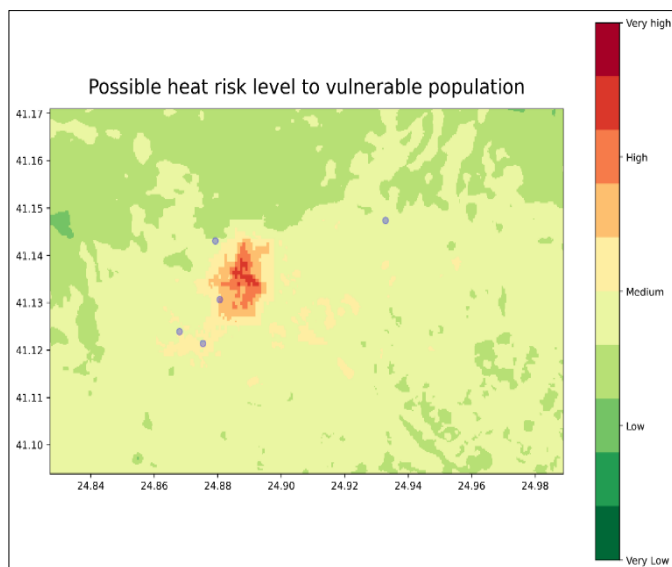


Figure 2-8 Χάρτης εκτίμησης διακινδύνευσης από καύσωνες που απεικονίζει τις πιο υπερθερμασμένες περιοχές και τις πιο πυκνοκατοικημένες ζώνες

φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες σε σύγκριση με τις γύρω περιοχές. Επομένως, η εκτίμηση διακινδύνευσης επικεντρώθηκε στην πόλη της Ξάνθης. Σύμφωνα με τη ροή εργασιών, η ομάδα του CARE_X κατηγοριοποίησε τις θερμοκρασίες επιφανειακής γης σε πέντε κατηγορίες (Πολύ Χαμηλές: < 20-25°C, Χαμηλές: 25-35°C, Μέτριες: 35-45°C, Υψηλές: 45-55°C, Πολύ Υψηλές: 55-60°C) και διέκρινε τα δεδομένα του ευάλωτου πληθυσμού σε πέντε κατηγορίες (από Πολύ Χαμηλές έως Πολύ Υψηλές) βάσει της σχετικής πυκνότητας του πληθυσμού. Το Σχήμα S7 απεικονίζει τα αποτελέσματα, επισημαίνοντας τις πλέον

υπερθερμασμένες περιοχές και τις περιοχές με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ευάλωτου πληθυσμού.

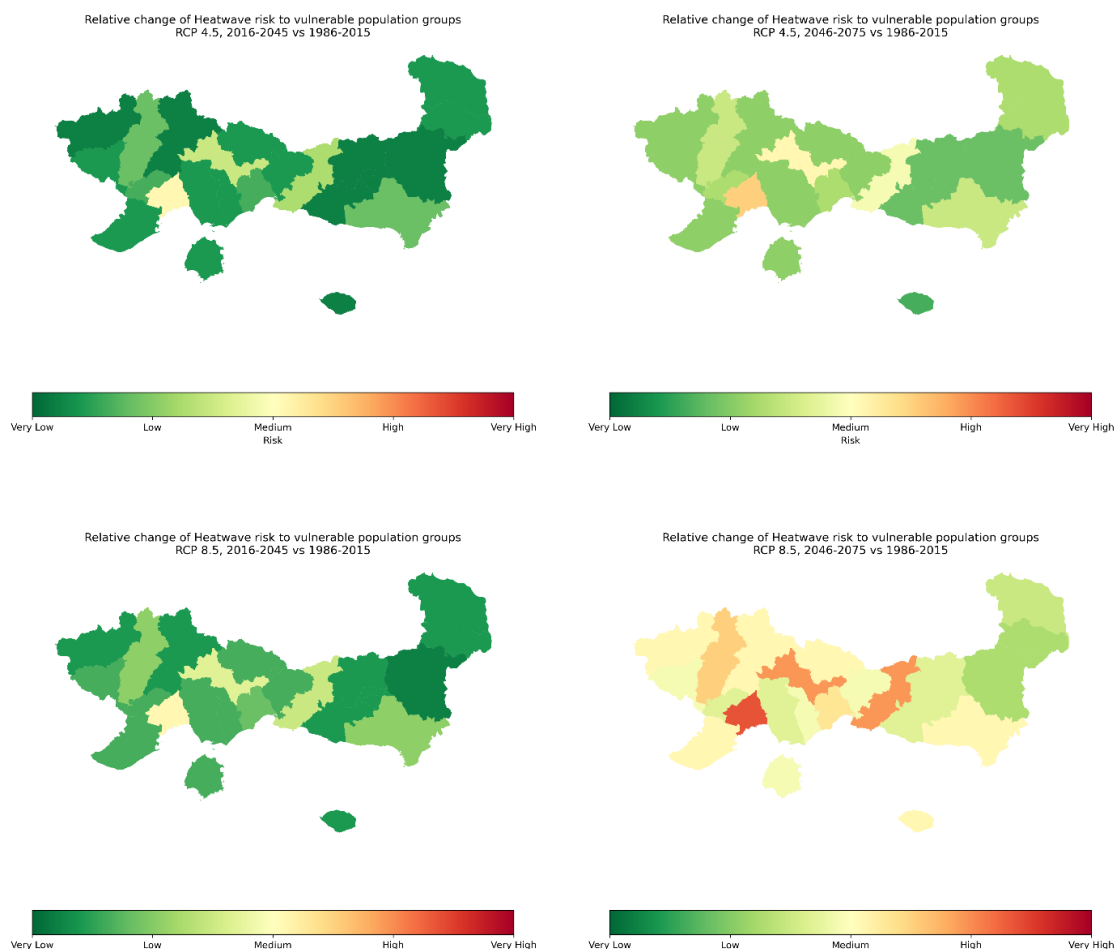
Το επίπεδο έκθεσης στον καύσωνα και η πυκνότητα των ομάδων ευάλωτου πληθυσμού συνδυάστηκαν σε έναν πίνακα διακινδύνευσης 10x10, όπως περιγράφεται στη ροή εργασιών, για την αξιολόγηση της σοβαρότητας των ενδεχόμενων κινδύνων που σχετίζονται με τον κίνδυνο του καύσωνα. Οι εκτιμήσεις αυτές, σε συνδυασμό με πληροφορίες για την τοποθεσία κρίσιμων υποδομών στην Ξάνθη, όπως νοσοκομεία, οίκους ευγηρίας και κέντρα φροντίδας ηλικιωμένων (Πίνακας S2), χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του χάρτη διακινδύνευσης καυσώνων που απεικονίζεται στο Σχήμα 2-8. Ο χάρτης διακινδύνευσης παρουσιάζει τις περιοχές με τον υψηλότερο κίνδυνο, όπου οι υψηλές θερμοκρασίες συμπίπτουν με την υψηλή πυκνότητα ευάλωτου πληθυσμού (βάσει ηλικίας), υποδεικνύοντας τον πιο σημαντικό ενδεχόμενο αντίκτυπο. Αποκαλύπτει ότι η πόλη της Ξάνθης παρουσιάζει τον υψηλότερο κίνδυνο, πιθανώς λόγω του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας και της υψηλής πυκνότητας πληθυσμού. Επιπλέον, είναι εμφανές ότι οι κρίσιμες υποδομές, συμπεριλαμβανομένου ενός Κέντρου Φροντίδας Ηλικιωμένων, ενός οίκου ευγηρίας και του Γενικού Νοσοκομείου της Ξάνθης, αντιμετωπίζουν επίπεδα κινδύνου από μέτρια έως υψηλά. Τα ευρήματα αυτά, σε συνδυασμό με την συνεχώς αυξανόμενη τάση της συχνότητας των καυσώνων, ιδιαίτερα μετά το 2040, υπογραμμίζουν την επείγουσα ανάγκη για στοχευμένες στρατηγικές μετριασμού. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η κατανομή του πληθυσμού έχει αλλάξει (καθώς τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν εδώ είναι από το 2020) και δεδομένης της προβλεπόμενης αύξησης του ποσοστού των ηλικιωμένων στην Ελλάδα (Lamnisos et al., 2021), η κατάσταση μπορεί να είναι ακόμα πιο κρίσιμη στο μέλλον από ό,τι εκτιμήθηκε εδώ..

2.3.2.3 Εκτίμηση Κινδύνου για Καύσωνες υπό την Κλιματική Αλλαγή

Ο κύριος στόχος της εκτίμησης διακινδύνευσης από καύσωνες υπό κλιματική αλλαγή είναι ο εντοπισμός των περιοχών εντός μιας επιλεγμένης ζώνης που συγκεντρώνουν το υψηλότερο ποσοστό ομάδων ευάλωτου πληθυσμού και παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες μεταβολές στη συχνότητα εμφάνισης καυσώνων, τόσο για το κοντινό μέλλον (2016–2045) όσο και για το μακρινότερο μέλλον (2046–2075) σε σύγκριση με μια περίοδο αναφοράς (1986–2015), υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5. Για το σκοπό αυτό απαιτούνται δεδομένα ημερών καυσώνων που έχουν προετοιμαστεί από το έργο EuroHEAT και δεδομένα ευάλωτου πληθυσμού για το 2020 από το σύνολο δεδομένων WorldPop (Πίνακας 2-2).

Ωστόσο, η χαμηλή χωρική ανάλυση των δεδομένων κινδύνου (12×12 χλμ) τα καθιστά ανεπαρκή για την ξεχωριστή μελέτη των διαφόρων υποπεριοχών του Δήμου Ξάνθης. Δεδομένου ότι οι χρηματοδοτήσεις και οι αποφάσεις σχετικά με μέτρα και στρατηγικές μετριασμού και προσαρμογής συχνά λαμβάνονται σε περιφερειακό επίπεδο, η ομάδα του CARE_X επέλεξε να μελετήσει τον Δήμο Ξάνθης ως μέρος της ευρύτερης Περιφέρειας ΑΜΘ. Ακολουθώντας τη ροή εργασιών του CLIMAAX, εκτιμήθηκε η σχετική μεταβολή στη συχνότητα εμφάνισης καυσώνων για όλους τους δήμους που απαρτίζουν τη ΠΑΜΘ. Επιπλέον, το μέγεθος της μεταβολής στη συχνότητα εμφάνισης καυσώνων αξιολογήθηκε με την επαναταξινόμηση των δεδομένων της σχετικής μεταβολής σε 10 ίσες κατηγορίες (1 – πολύ μικρή μεταβολή, 10 – πολύ μεγάλη μεταβολή). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που ελήφθησαν, οι σημαντικότερες διαφορές στη συχνότητα καυσώνων μεταξύ των δήμων της ΠΑΜΘ παρατηρήθηκαν κατά την περίοδο 2046–2075, υπό το σενάριο RCP8.5. Στη συνέχεια, οι υπό μελέτη δήμοι κατηγοριοποιήθηκαν σε 10 κατηγορίες (1 – πολύ χαμηλός, 10 – πολύ υψηλός) με βάση τη συγκριτική πυκνότητα του ευάλωτου πληθυσμού. Ο Δήμος Ξάνθης εμφάνισε υψηλές συγκεντρώσεις ομάδων ευάλωτου πληθυσμού σε σύγκριση με τους υπό εξέταση δήμους. Όλα τα σχετικά διαγράμματα παρουσιάζονται στο Συμπληρωματικό Υλικό (Σχήματα S8–S10).

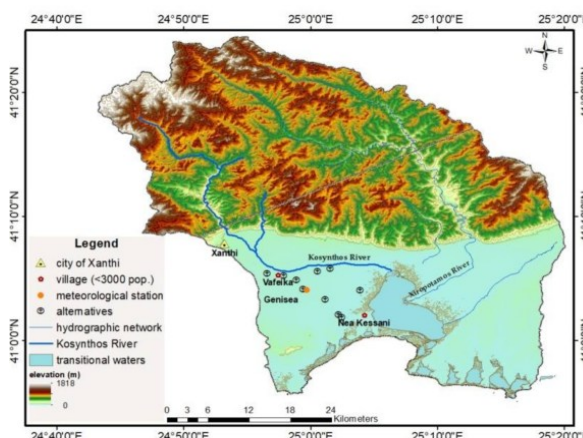
Τέλος, ο κίνδυνος καυσώνων εκτιμήθηκε συνδυάζοντας το προβλεπόμενο μέγεθος της μεταβολής στη συχνότητα εμφάνισης καυσώνων, τόσο για το κοντινό μέλλον (2016–2045) όσο και για το μακρινότερο μέλλον (2046–2075) υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5, με τη συγκέντρωση των δεδομένων του ευάλωτου πληθυσμού, όπως περιγράφεται στη ροή εργασιών. Οι εκτιμηθέντες κίνδυνοι αντικατοπτρίζουν τις προβλεπόμενες αυξήσεις στον κίνδυνο καυσώνων για τις ομάδες ευάλωτου πληθυσμού εντός της Περιφέρειας ΑΜΘ. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-9, ο Δήμος Ξάνθης παρουσιάζει υψηλότερο κίνδυνο σε σύγκριση με τους άλλους δήμους της ΠΑΜΘ, υπό όλα τα εξεταζόμενα σενάρια. Συγκεκριμένα, κατατάσσεται ως περιοχή μέτριου κινδύνου για όλες τις χρονικές περιόδους που μελετήθηκαν υπό το σενάριο RCP4.5 και για το κοντινό μέλλον υπό το σενάριο RCP8.5, ενώ για την περίοδο 2046–2075 κατατάσσεται ως περιοχή υψηλού κινδύνου. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να βοηθήσουν τις τοπικές αρχές να ιεραρχήσουν τις στρατηγικές πρόληψης, μετριασμού και προσαρμογής, εξασφαλίζοντας την κατάλληλη κατανομή πόρων.



Σχήμα 2-9 Χάρτης εκτίμησης διακινδύνευσης από καύσωνες για τους δήμους της Περιφέρειας Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης (Π.Α.Μ.Θ.), αποτυπώνοντας το προβλεπόμενο μέγεθος μεταβολής στη συχνότητα εμφάνισης καυσώνων υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5, σε συνδυασμό με την κατανομή των ευάλωτων πληθυσμιακών ομάδων.

2.3.3 Workflow #3: Fluvial Flooding

Ο ποταμός Κόσυνθος, με μήκος περίπου 55 χλμ, διασχίζει την πόλη της Ξάνθης και θεωρείται σημαντικό κοινωνικοοικονομικό στοιχείο για την περιοχή, καθώς περνά κοντά από πολλές αγροτικές και αγροτικές περιοχές πριν εκβάλλει στη λιμνοθάλασσα Βιστωνίδας στα βορειοδυτικά της Περιφερειακής Ενότητας Ξάνθης (Σχήμα 2-10). Στο παρελθόν, η Ξάνθη έχει βιώσει σοβαρά περιστατικά υπερχειλίσης ποταμών λόγω έντονων βροχοπτώσεων στα άνω τμήματα της πόλης, με αποτέλεσμα δομικές ζημιές σε πολλά κτίρια. Επιπλέον, ένα περιστατικό υπερχειλίσης του ποταμού Κόσυνθου που προκλήθηκε από ακραία βροχόπτωση το 1996, είχε ως αποτέλεσμα το θάνατο 3 ανθρώπων. Είναι συνεπώς επιτακτική η ανάγκη να είμαστε σε θέση να εκτιμήσουμε τον μελλοντικό κίνδυνο τέτοιων



Σχήμα 2-10 Χάρτης του ποταμού Κόσυνθου (Πηγή: Papadopoulos et al., 2022)

φαινομένων που ενδέχεται να επηρεάσουν την περιοχή της Ξάνθης και να λάβουμε προληπτικά μέτρα για την προστασία των πολιτών και των περιουσιών τους.

2.3.3.1 Αξιολόγηση Κινδύνου

Προκειμένου να εκτιμηθεί ο κίνδυνος υπερχείλισης ποταμού για την Ξάνθη, ακολουθήθηκε η ροή εργασιών από το εγχειρίδιο CLIMAAX σε συνδυασμό με τη χρήση δύο συνόλων δεδομένων πλημμύρας. Συγκεκριμένα, η αξιολόγηση του κινδύνου πραγματοποιήθηκε αναλύοντας τους χάρτες πλημμύρας υψηλής ανάλυσης του ΚΚΕρ για να εξετάσουμε την έκταση της πλημμύρας για διάφορα συμβάντα με διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (10, 50, 100, 200 και 500 χρόνια). Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν και οι χάρτες πλημμύρας χαμηλής ανάλυσης από την πλατφόρμα Aqueduct Floods για να εξετάσουμε την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στον κίνδυνο πλημμύρας από ποταμούς. Αυτά απεικονίζονται στον Πίνακα 2-3.

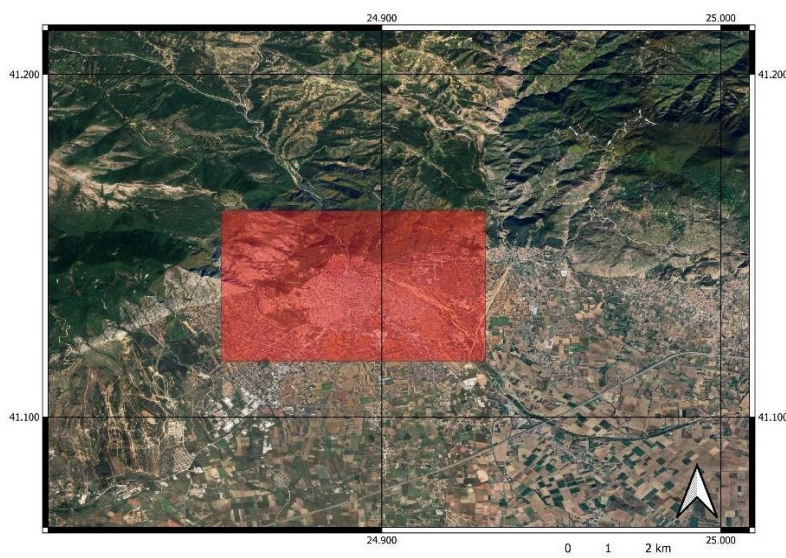
Πίνακας 2-3 Σύνοψη δεδομένων για τη ροή εργασιών #3: Υπερχείλιση Ποταμών

Δεδομένα Κινδύνου	Δεδομένα Ευπάθειας	Δεδομένα Έκθεσης	Αποτέλεσμα Κινδύνου
Χονδροειδείς χάρτες πλημμυρών Aqueduct - σύνολο δεδομένων για το μελλοντικό δυναμικό πλημμυρών ποταμών υπό την κλιματική αλλαγή / Χάρτες κινδύνου πλημμυρών υψηλής ανάλυσης JRC για την Ευρώπη σε ιστορικό κλίμα,	Καμπύλες ευπάθειας-ζημιών JRC	Βασικός Χάρτης LUISA	Χάρτες ζημιών από πλημμύρες εκφρασμένοι σε οικονομική αξία για ακραία συμβάντα με διαφορετικές περιόδους επιστροφής.

Η περιοχή μελέτης μας περιλαμβάνει την πόλη της Ξάνθης και τα προάστιά της, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2-11.

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του JRC, εκτιμήθηκε η πλημμυρική δυνατότητα του ποταμού Κόσυνθου κατά τη διάρκεια ακραίων συμβάντων για τις πέντε διαφορετικές περιόδους

επαναφοράς, λαμβάνοντας υπόψη το 2018 ως το σενάριο της παρούσας κατάστασης (Εικόνα 2-12 και Εικόνα S11 στο Συμπληρωματικό Υλικό). Για όλες τις περιόδους επαναφοράς, οι μέγιστες τιμές βάθους πλημμύρας βρέθηκαν στο ανώτερο τμήμα της πόλης (8-13 μέτρα), ενώ μικρότερες αλλά σημαντικές τιμές παρατηρήθηκαν μέσα στον αστικό ιστό και στο νότιο τμήμα της Ξάνθης. Αυτά τα αποτελέσματα αναδεικνύουν τη σημασία της μελέτης εκτίμησης κινδύνου πλημμύρας για την επιλεγμένη περιοχή.



Εικόνα 2-11 Χάρτης της υπό μελέτη περιοχής, συμπεριλαμβανομένης της πόλης της Ξάνθης και της προαστιακής της ζώνης (κόκκινο)



Figure 2-12 Ύψος πλημμύρας του ποταμού Κόσυνθου για περιόδους επαναφοράς ακραίων φαινομένων 10, 50 και 100 ετών.

Για να εξετάσουμε την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στον κίνδυνο πλημμύρας από ποταμούς, χρησιμοποιήθηκαν επίσης οι χάρτες πλημμύρας του Aqueduct ως μέσο ποιοτικής ένδειξης της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στις ακραίες εκροές ποταμών που οδηγούν σε πλημμύρες. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήσαμε τον χάρτη πλημμύρας του Aqueduct του 1980 με περίοδο επαναφοράς 1 στις 250 χρόνια. Δυστυχώς, δεν λάβαμε κανένα αποτέλεσμα (Εικόνα S12). Ο λόγος γι' αυτό είναι πιθανότατα η χαμηλή χωρική ανάλυση των δεδομένων του Aqueduct (30 δευτερόλεπτα γεωγραφικού μήκους) και η μικρή κοίτη του ποταμού Κόσυνθου. Για να διερευνήσουμε αυτό το ζήτημα, επιλέχθηκε ολόκληρη η Περιφερειακή Ενότητα Ξάνθης, ώστε να συμπεριλάβουμε δύο επιπλέον μεγάλους ποταμούς στην περιοχή, συγκεκριμένα τον ποταμό Νέστο (νοτιοδυτικά της Ξάνθης) και τον ποταμό Κορψάτο (νοτιοανατολικά της Ξάνθης) (Εικόνα S13).

Αφότου επαναλήφθηκε η προτεινόμενης μεθοδολογία, ανακτήσαμε τον χάρτη πλημμύρας του Aqueduct για το σενάριο βάσης – περίπου το 1980 – (Εικόνα S14), όπου λάβαμε αποτελέσματα για τον ποταμό Κορψάτο. Αυτό αποτέλεσε ένδειξη ότι η χαμηλή χωρική ανάλυση του συνόλου δεδομένων του Aqueduct και η μικρή κοίτη του ποταμού Κόσυνθου ήταν όντως υπεύθυνες για την έλλειψη αποτελεσμάτων στην περιοχή μας. Αυτό μας εμπόδισε να συνεχίσουμε την ποιοτική διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο η κλιματική αλλαγή επηρεάζει το βάθος πλημμύρας του ποταμού Κόσυνθου κατά τη διάρκεια ακραίων φαινομένων στην Ξάνθη, χρησιμοποιώντας τους χάρτες πλημμύρας του Aqueduct.

2.3.3.2. Εκτίμηση Διακινδύνευσης

Η εκτίμηση του κινδύνου υπερχείλισης ποταμού για την πόλη της Ξάνθης πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μεθοδολογία CLIMAAX. Ο κίνδυνος εκφράζεται σε όρους οικονομικής ζημίας στις υποδομές. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε το σύνολο δεδομένων χρήσης γης του ΚΚΕρ με χωρική ανάλυση 100 μέτρων, σε συνδυασμό με τους αντίστοιχους χάρτες πλημμύρας του ΚΚΕρ και τις καμπύλες τρωτότητας του ΚΚΕρ. Η εκτίμηση του κινδύνου εξετάστηκε για διαφορετικές περιόδους επαναφοράς (10, 50, 100, 200 και 500 χρόνια) και για το σενάριο RCP8.5 για το έτος 2050. Αρχικά, δημιουργήθηκε ένας χάρτης εδαφοκάλυψης LUISA που απεικονίζει τους διάφορους τύπους κάλυψης (Εικόνα S15). Για την εκτίμηση της δυνητικής ζημίας που προκαλείται από πλημμύρες σε διάφορα σενάρια περιόδων επαναφοράς, αποδόθηκε

μία νομισματική αξία (δυνάμει απώλεια σε €/m²) στις κατηγορίες χρήσης γης. Για τον υπολογισμό αυτό, χρησιμοποιήθηκε το ΑΕΠ ανά κάτοικο για την περιοχή μας (11.900 ευρώ) και ενημερώθηκε το αρχείο LUISA_damage_info_curves.xlsx που ήταν διαθέσιμο στο GitHub του CLIMAAX. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν οι καμπύλες τρωτότητας για τους διάφορους τύπους κατοικιών, εμπορικών και βιομηχανικών κτηρίων για το σενάριο RCP8.5 (Εικόνα S16).

Maps of flood and associated damages for extreme river water level scenarios in current climate
1 in 500 year extreme event

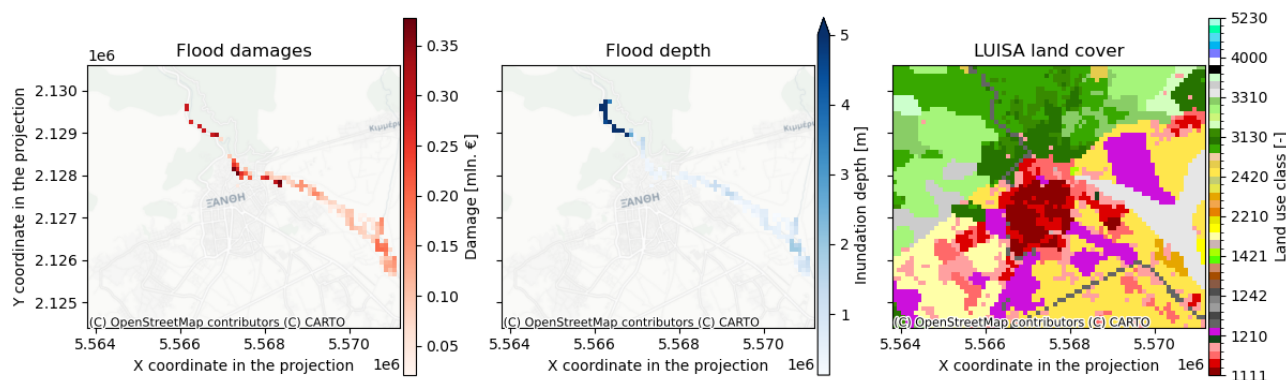


Figure 2-13 Χάρτες πλημμυρών και συναφών ζημιών στην Ξάνθη για RCP 8.5 και περίοδο επαναφοράς ακραίων γεγονότων 500 ετών.

Από την ανάλυσή μας, διαπιστώσαμε ότι οι μέγιστες οικονομικές ζημιές στην Ξάνθη παρατηρούνται για το ακραίο συμβάν με περίοδο επαναφοράς 500 ετών, καθώς το βάθος πλημμύρας καλύπτει μια ευρύτερη περιοχή του αστικού ιστού, χωρίς να παραβλέπουμε τις επιπτώσεις των πλημμυρικών φαινομένων σε άλλες περιόδους επαναφοράς. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται λογικά για την Ξάνθη. Ωστόσο, η χρήση ενός ενημερωμένου προϊόντος εδαφοκάλυψης και/ή ενός συνόλου δεδομένων πλημμύρας με υψηλότερη χωρική ανάλυση θα παρείχε πιθανώς πιο ακριβή αποτελέσματα. Στη Φάση 2 του έργου, προγραμματίζουμε να αξιοποιήσουμε αυτά τα προϊόντα, είτε εφαρμόζοντας μεθόδους στατιστικής κλιμάκωσης στα δεδομένα πλημμύρας του JRC είτε χρησιμοποιώντας ένα ενημερωμένο σύνολο δεδομένων ψηφιακού εδάφους (DEM) και εδαφοκάλυψης με υψηλότερη ανάλυση που θα παρέχει η ομάδα του CARE-X, ώστε να επιτύχουμε πιο ακριβείς προβλέψεις για τα φαινόμενα υπερχειλίσης ποταμών.

2.3.4 Ροή Εργασιών #4 Πυρκαγιές

Το μεσογειακό οικοσύστημα ξεχωρίζει ως παγκοσμίως αναγνωρισμένο κέντρο βιοποικιλότητας, διάσημο για την εξαιρετική ποικιλία φυτών και ζώων (Siachalou, et al., 2008). Ωστόσο, τα δάση του αντιμετωπίζουν αυξανόμενη απειλή από καταστροφικές πυρκαγιές, με περίπου 50.000 πυρκαγιές να ξεσπούν ετησίως, κατακαίγοντας το 1,3-1,7% της συνολικής δασικής έκτασης της περιοχής. Η Ελλάδα, ιδιαίτερα, κατατάσσεται μεταξύ των πιο πληγισών χωρών στην Ευρώπη. Το 2023, οι πυρκαγιές κατέστρεψαν πάνω από 1,8 εκατομμύρια στρέμματα ελληνικών δασών, υπογραμμίζοντας τη σοβαρότητα της κρίσης. Το ακραίο κλίμα της περιοχής –με έντονη ζέστη, ξηρό αέρα και δυνατούς ανέμους– δημιουργεί ιδανικές συνθήκες για την εκδήλωση και την ταχεία εξάπλωση των πυρκαγιών. Για να μειωθεί το αυξανόμενο οικολογικό κόστος αυτών των πυρκαγιών, οι εθνικές πολιτικές για τα δάση απαιτούν επείγουσα αναθεώρηση, με έμφαση στην πρόληψη πυρκαγιών, ιδιαίτερα σε οικολογικά σημαντικά δάση. Η βάση αυτής της προσπάθειας έγκειται στην ενσωμάτωση ενός ισχυρού συστήματος διαχείρισης πυρκαγιών στον προγραμματισμό χρήσης γης, βασισμένου σε

τέσσερις βασικές αρχές: πρόβλεψη, διατήρηση, ανταπόκριση και αποκατάσταση (Siachalou, et al., 2008). Η εντοπισμός περιοχών υψηλού κινδύνου είναι κρίσιμος για την πρόβλεψη πιθανών εκρήξεων πυρκαγιάς, ενώ η διατήρηση βασίζεται στη χρήση προηγμένων εργαλείων και τεχνικών, όπως αυτά που προσφέρονται από το πλαίσιο Climaax. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Περιφερειακή Ενότητα Ξάνθης στην Ελλάδα, όπου η μεθοδολογία, τα εργαλεία και τα δεδομένα του Climaax έχουν εφαρμοστεί στην περιοχή που φαίνεται στην Εικόνα 2-14. Αυτή η περιοχή, γνωστή για τα πυκνά της δάση και τους διάσπαρτους οικισμούς, αναδεικνύει τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει. Οι τοπικές κοινότητες εξαρτώνται από αυτά τα δάση για τη ζωή τους και προσελκύουν τουρίστες με ποικίλες δραστηριότητες αναψυχής, με αποτέλεσμα την συχνή ανθρώπινη παρουσία που εντείνει τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Εστιάζοντας στις στρατηγικές διαχείρισης πυρκαγιών σε περιοχές όπως η Ξάνθη, όπου η οικολογική αξία και η ανθρώπινη δραστηριότητα συγκλίνουν, οι προσπάθειες προστασίας των ευάλωτων δασών μπορούν να είναι στοχευμένες και αποτελεσματικές, προσφέροντας ένα μοντέλο για ευρύτερη συντήρηση της Μεσογείου.



Σχήμα 2-14 Περιοχή μελέτης πυρκαγιών.

Το πλαίσιο Climaax ενσωματώνει δύο προηγμένες στρατηγικές για τη διαχείριση πυρκαγιών: τη χαρτογράφηση κινδύνου βάσει μηχανικής μάθησης και τον Μετεωρολογικό Δείκτη Πυρκαγιάς (FWI). Η πρώτη στρατηγική χρησιμοποιεί αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για να εντοπίσει περιοχές υψηλού κινδύνου, αναλύοντας σύνθετα σύνολα δεδομένων, όπως η βλάστηση, η τοπογραφία και τα ιστορικά πρότυπα πυρκαγιών, ενώ η δεύτερη αξιολογεί μετεωρολογικούς παράγοντες —τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου και την ξηρότητα— για να παρέχει έναν καθημερινό δείκτη κινδύνου πυρκαγιάς, βασισμένο

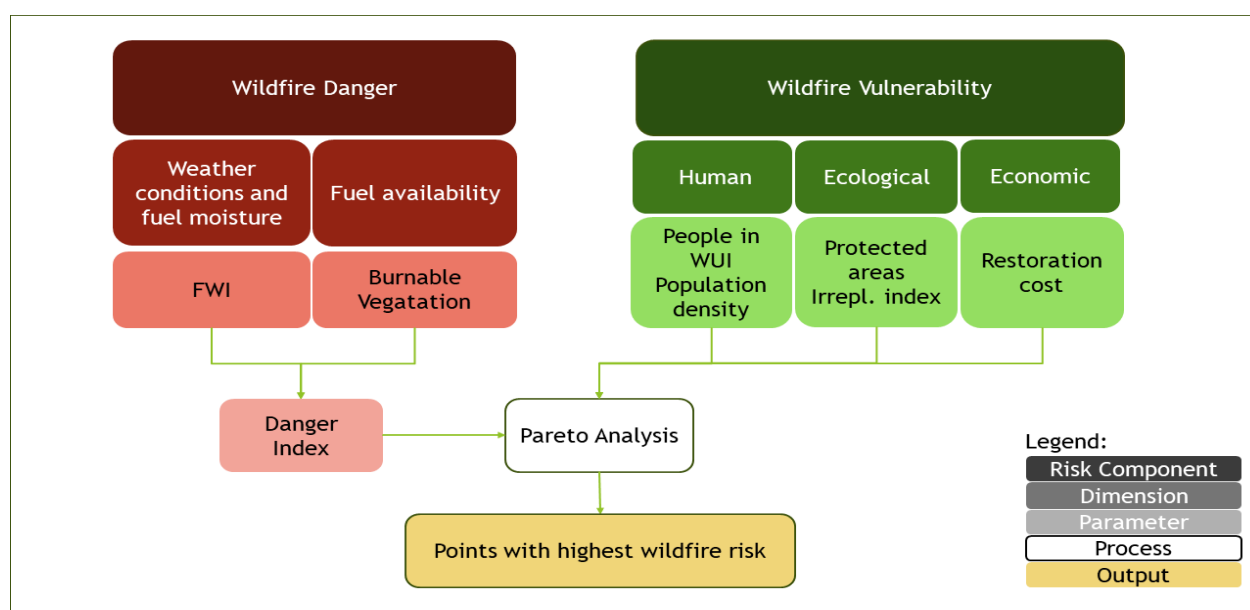
σε συνθήκες που ευνοούν την εκδήλωση και την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Ωστόσο, η ακρίβεια της προσέγγισης μηχανικής μάθησης εξαρτάται από την ποιότητα και τον όγκο των δεδομένων εκπαίδευσης (Barbierato et al., 2024) και στην περίπτωση μας, η έλλειψη δεδομένων πυρκαγιών οδήγησε σε προκαταρκτικά αποτελέσματα που υποεκτίμησαν τον πραγματικό κίνδυνο πυρκαγιάς. Για να αντιμετωπίσουμε αυτή την πρόκληση, συνεργαζόμαστε με τον Δήμο Ξάνθης για να αναπτύξουμε ένα προληπτικό σχέδιο, χρησιμοποιώντας drones για συνεχιζόμενη παρακολούθηση των δασών κατά τους μήνες υψηλού κινδύνου. Αυτή η πρωτοβουλία δεν θα εμπλουτίσει μόνο το κρίσιμο σύνολο δεδομένων που απαιτείται για τη βελτίωση της μεθοδολογίας μηχανικής μάθησης, αλλά θα επιτρέψει και την πραγματική επικύρωση των μοντέλων του Climaax, ενισχύοντας την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητά τους.

2.3.4.1. Αξιολόγηση κινδύνου

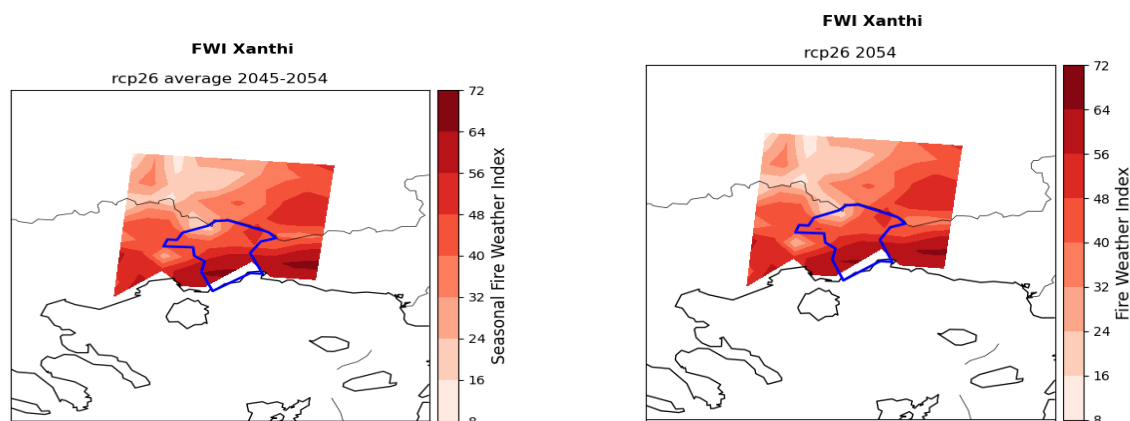
Η μεθοδολογία Climaax για την περιγραφή του κινδύνου δασικών πυρκαγιών, όπως αναλύεται στη ροή εργασιών περιγραφής κινδύνου του Μετεωρολογικού Δείκτη Πυρκαγιάς (FWI), επικεντρώνεται στην αξιολόγηση και επικοινωνία του κινδύνου πυρκαγιών μέσω μιας συστηματικής, βασισμένης σε δεδομένα προσέγγισης. Ξεκινά με τη συλλογή και επεξεργασία βασικών συνόλων δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των μετεωρολογικών συνθηκών, των τύπων βλάστησης και των τοπογραφικών χαρακτηριστικών, ώστε να οικοδομηθεί μια ισχυρή βάση για την ανάλυση του κινδύνου. Κεντρικό στοιχείο αυτής της διαδικασίας είναι ο

Μετεωρολογικός Δείκτης Πυρκαγιάς (FWI), ο οποίος ποσοτικοποιεί τον καθημερινό κίνδυνο πυρκαγιών βασιζόμενος σε μετεωρολογικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και η ξηρότητα, παρέχοντας ένα δυναμικό μέτρο του δυναμικού ανάφλεξης και της συμπεριφοράς της φωτιάς. Στη συνέχεια, η μεθοδολογία αξιολογεί τον κίνδυνο ενσωματώνοντας τα αποτελέσματα του Μετεωρολογικού Δείκτη Πυρκαγιάς με πρόσθετους παράγοντες όπως η ανθρώπινη παρουσία, τα πρότυπα χρήσης γης και η οικολογική ευαισθησία, παράγοντας ένα ολοκληρωμένο προφίλ κινδύνου. Αυτό το προφίλ οπτικοποιείται μέσω χωρικών χαρτών κινδύνου και εμπλουτίζεται με περιγραφική στατιστική, επισημαίνοντας περιοχές αυξημένης τρωτότητας. Σχεδιασμένη να είναι συγκεκριμένη για την περιοχή, όπως για το Νομό Ξάνθης, αυτή η προσέγγιση όχι μόνο εντοπίζει πού και πότε είναι πιο πιθανό να προκύψουν πυρκαγιές, αλλά και ενημερώνει τους ενδιαφερόμενους για τους υποκείμενους παράγοντες, επιτρέποντας στοχευμένες στρατηγικές πρόληψης και διαχείρισης χωρίς την ανάγκη πολύπλοκων υλοποιήσεων κώδικα. Η σχηματική απεικόνιση της μεθοδολογίας, μαζί με τα δεδομένα κινδύνου, αξιολόγησης κινδύνου και τρωτότητας που χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2-15.

Τα εποχιακά δεδομένα του Μετεωρολογικού Δείκτη Πυρκαγιάς (FWI), που προέρχονται από το Copernicus Climate Data Store, αντικατοπτρίζουν τον μέσο όρο του δείκτη πυρκαγιών κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς στην Ευρώπη, από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο. Αυτή η τιμή προκύπτει από το άθροισμα των ημερήσιων τιμών του Μετεωρολογικού Δείκτη Πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, διαιρεμένο με τον συνολικό αριθμό ημερών του διαστήματος. Διαθέσιμα σε πενταετή διαστήματα, τα εποχιακά δεδομένα στον μελετημένο μας χώρο περιλαμβάνουν τις περιόδους 2046-2050 και 2051-2055. Ανάμεσα στα τέσσερα σενάρια εκπομπών που προσφέρονται – ιστορικό, RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5 – επιλέξαμε το RCP2.6. Για να διασφαλιστεί η μέγιστη αξιοπιστία, επιλέξαμε τον μέσο όρο πολλαπλών μοντέλων ως πηγή προβολής. Για μια ολοκληρωμένη ανάλυση (βλ. Σχήμα 2-16 και Σχήμα S21 στο συμπληρωματικό υλικό).

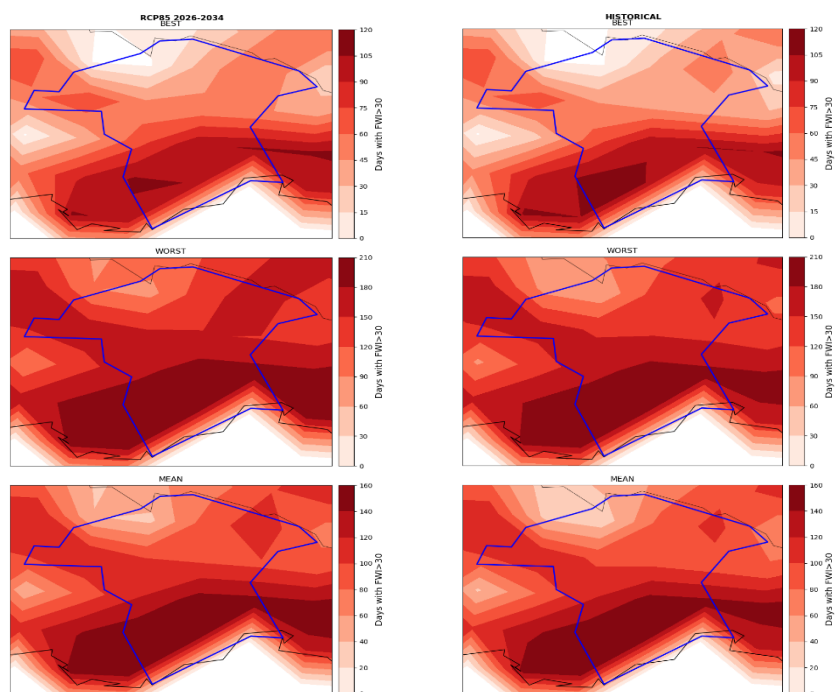


Σχήμα 2-15 Σχηματική αναπαράσταση της μεθοδολογίας



Σχήμα 2-16 Εποχιακός Μετεωρολογικός Δείκτης Πυρκαγιάς (FWI) για το σενάριο RCP2.6 (Αριστερή εικόνα: μέσος όρος ετών 2045–2054, Δεξιά εικόνα: έτος 2054.)

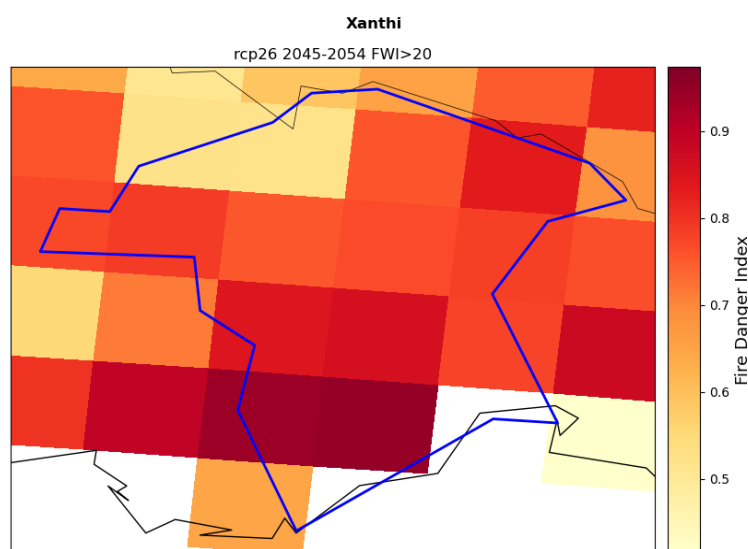
Για να διερευνήσουμε την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις δασικές πυρκαγιές, επιλέξαμε τα σενάρια “καλύτερης”, “χειρότερης” και “μέσης” περίπτωσης τόσο για τα ιστορικά δεδομένα όσο και για το RCP8.5, επιτρέποντας μια λεπτομερή σύγκριση των αποτελεσμάτων του κινδύνου πυρκαγιών σε διάφορες πορείες εκπομπών και επίπεδα σοβαρότητας. (Κατώφλι Μετεωρολογικού Δείκτη Πυρκαγιάς >30). Τα σενάρια χειρότερης και καλύτερης περίπτωσης προκύπτουν, αντίστοιχα, από το άθροισμα και την αφαίρεση των τυπικών αποκλίσεων μεταξύ των μοντέλων και μεταξύ των ετών της περιόδου καιρού πυρκαγιάς από τη μέση τιμή (Σχήμα 2-17).



Σχήμα 2-17 Μετεωρολογικός Δείκτης Πυρκαγιάς (FWI) για χειρότερο, μέσο και καλύτερο σενάριο (Αριστερή στήλη: RCP8.5 για τα έτη 2026-2035, Δεξιά στήλη: ιστορικά δεδομένα)

2.3.4.2 Εκτίμηση Διακινδύνευσης

Ο κίνδυνος πυρκαγιάς ορίζεται ακολουθώντας την προσέγγιση του Ευρωπαϊκού Συστήματος Πληροφόρησης για τις Δασικές Πυρκαγιές (EFFIS), χαρακτηρίζοντάς τον ως τον συνδυασμό του κινδύνου πυρκαγιάς και της τρωτότητας (Jacome Felix Oom et al., 2022). Ο κίνδυνος πυρκαγιάς υπολογίζεται αρχικά ως ο συνδυασμός του κλιματικού κινδύνου Koks, ο οποίος εκπροσωπείται εδώ από τα εποχιακά δεδομένα του Μετεωρολογικού Δείκτη Πυρκαγιάς (FWI), και της διαθεσιμότητας καυσίμου, η οποία προσδιορίζεται από την αφθονία της καύσιμης βλάστησης. Τα δεδομένα του Μετεωρολογικού Δείκτη Πυρκαγιάς βελτιώθηκαν αρχικά με τον αποκλεισμό μη καυσίμων περιοχών, όπως ορίζονται από το EFFIS, χρησιμοποιώντας το σύνολο δεδομένων



Σχήμα 2-18 Δείκτης διακινδύνευσης πυρκαγιάς για το σενάριο RCP2.6

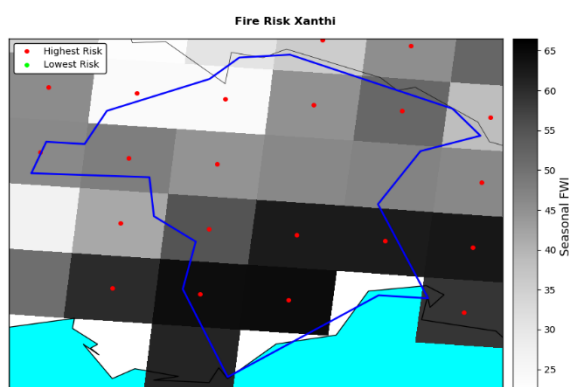
εδαφικάλυψης ESA-CCI για την εξάλειψη των γυμνών περιοχών. Στη συνέχεια, η διαθεσιμότητα καυσίμου αξιολογείται μέσω του ποσοστού της καύσιμης βλάστησης ως δείκτη, όπου ένα υψηλότερο ποσοστό υποδηλώνει αυξημένη διαθεσιμότητα καυσίμου, γεγονός που ενισχύει τον κίνδυνο ανάφλεξης και εξάπλωσης της φωτιάς. Το σύνολο δεδομένων για την καύσιμη έκταση, το οποίο προέρχεται από το EFFIS, καλύπτει ολόκληρο το ευρωπαϊκό πεδίο και επαναπροβάλλεται και παρεμβάλλεται για να

ευθυγραμμιστεί με το σύστημα συντεταγμένων και την ανάλυση του συνόλου δεδομένων του Μετεωρολογικού Δείκτη Πυρκαγιάς για απρόσκοπτη ενσωμάτωση. Έπειτα, συνδυάζοντας τα κλιματικά δεδομένα και τα δεδομένα διαθεσιμότητας καυσίμου, παράγεται ένας δείκτης κινδύνου πυρκαγιάς.

Η αξιολόγηση της τρωτότητας στις πυρκαγιές που παρουσιάζεται στην έκθεση του JRC (Jacome Felix Oom et al., 2022) χρησιμοποιεί ένα σύνολο προσεκτικά επιλεγμένων δεικτών για την εκτίμηση του κινδύνου σε ευρωπαϊκές περιοχές. Σε αυτούς περιλαμβάνονται ο πληθυσμός που διαμένει στις Ζώνες Μίξης Δασών-Οικισμών (WUI), ο οποίος μετρά το ποσοστό των ανθρώπων που ζουν σε προαστιακές ζώνες δίπλα σε δάση ή βλαστούς χώρους, επισημαίνοντας την ανθρώπινη έκθεση σε περιοχές με προδιάθεση για πυρκαγιές, ο δείκτης κατανομής των προστατευόμενων περιοχών που ποσοτικοποιεί το ποσοστό κάθε εικονοστοιχείου του χάρτη που καλύπτεται από προστατευμένες φυσικές περιοχές και αντικατοπτρίζει την ευπάθειά τους σε οικολογικές ζημιές, ο Δείκτης Κόστους Αποκατάστασης Οικοσυστημάτων που καταγράφει την μοναδική και εγγενή αξία των οικοσυστημάτων εντός κάθε εικονοστοιχείου, τονίζοντας περιοχές όπου η απώλεια της βιοποικιλότητας θα ήταν ιδιαίτερα μη αναστρέψιμη, η πυκνότητα πληθυσμού που παρέχει πληροφορίες για τη συγκέντρωση των ανθρώπων που ενδεχομένως επηρεάζονται από τις πυρκαγιές, και ο Δείκτης Κόστους Αποκατάστασης Οικοσυστημάτων (Ecosystem Restoration Cost Index) που εκτιμά το σχετικό κόστος αποκατάστασης των εδαφών που έχουν υποστεί ζημιές από τη φωτιά, προσφέροντας μια οικονομική οπτική για την τρωτότητα. Μαζί, αυτοί οι δείκτες σχηματίζουν ένα πολυδιάστατο

πλαίσιο για την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς και την ενημέρωση στοχευμένων στρατηγικών μετριασμού (Σχήμα S23).

Ο δείκτης κινδύνου ενσωματώνεται με τις παραμέτρους τρωτότητας χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο ανάλυσης Pareto, ο οποίος εντοπίζει περιοχές εντός της μελέτης που παρουσιάζουν τις υψηλότερες βαθμολογίες τόσο για τον κίνδυνο όσο και για την τρωτότητα (βλ. Σχήμα 2-18). Αυτή η μέθοδος εισάγει μια βασική καινοτομία, δίνοντας τη δυνατότητα στους χρήστες να επιλέγουν ανεξάρτητα ποιες παράμετροι τρωτότητας θα συμπεριληφθούν στην εκτίμηση διακινδύνευσης, ώστε να επικεντρωθούν στους πιο σχετικούς κινδύνους – είτε αυτοί είναι ανθρώπινοι, είτε οικολογικοί, είτε οικονομικοί. Επιπλέον, αυτή η ευέλικτη προσέγγιση επιτρέπει την ενσωμάτωση επιπλέον δεικτών τρωτότητας προσαρμοσμένων στις περιφερειακές ανάγκες, χωρίς διακοπή στη διαδικασία αξιολόγησης.



Σχήμα 2-18 Διακινδύνευση πυρκαγιάς

Στις επόμενες φάσεις της έρευνας, δίνεται προτεραιότητα στην επικύρωση του μοντέλου με τη χρήση πραγματικών δεδομένων από προηγούμενες πυρκαγιές, διασφαλίζοντας την ακρίβεια και αξιοπιστία των προβλέψεών του. Ταυτόχρονα, σχεδιάζεται η συλλογή νέων δεδομένων. Αυτά θα εμπλουτίσουν το σύνολο δεδομένων, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα της περιοχής μελέτης. Στη συνέχεια, θα εφαρμοστεί το μοντέλο μηχανικής μάθησης, το οποίο θα επανεκπαιδευτεί με τα νέα δεδομένα για

να ενισχύσει την ικανότητά του στην πρόβλεψη του κινδύνου πυρκαγιάς. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη συνεργασία με ενδιαφερόμενους φορείς, όπως ο δήμος, η πυροσβεστική και η πολιτική προστασία, μέσω προγραμματισμένων συναντήσεων, οι οποίες είναι ουσιώδεις για τον καθορισμό του βαθμού συμμετοχής και του βάρους κάθε παράγοντα στον τελικό χάρτη κινδύνου, αξιοποιώντας τις τοπικές γνώσεις και εμπειρίες για τη βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων.

2.4 Βασικά Προκαταρκτικά Πορίσματα Εκτίμησης Κινδύνων

2.4.1 Σοβαρότητα

Η ανάλυση διακινδύνευσης που διεξήχθη κατά τη διάρκεια της Φάσης 1 αποκάλυψε σημαντική έκθεση και τρωτότητα σε τέσσερις κλιματικά συναφείς κινδύνους στον Δήμο Ξάνθης: ανεμοθύελλες, υπερχείλιση ποταμού, καύσωνα και πυρκαγιές.

- **Ο καύσωνας** προβλέπεται να αυξηθεί σημαντικά σε συχνότητα και ένταση τόσο στα σενάρια RCP4.5 όσο και RCP8.5, με τις αστικές ζώνες – ιδιαιτέρως το κέντρο της πόλης – να εμφανίζουν υψηλές θερμοκρασίες επιφανείας και πυκνή συγκέντρωση εύαλwtου πληθυσμού. Το φαινόμενο της Αστικής Νησίδας Θερμότητας επιδεινώνει αυτόν τον κίνδυνο.
- **Η υπερχείλιση του ποταμού Κόσυνθου**, ιδιαίτερα σε φαινόμενα επαναφοράς 100- και 500-ετών περιόδου, παρουσιάζει τη δυναμική για μεγάλες βάθους πλημμύρας (έως 13 μέτρα σε ορισμένες περιοχές), απειλώντας υποδομές και κατοικημένες περιοχές στα

βόρεια του Δήμου Ξάνθης.

- **Οι ανεμοθύελλες**, αν και ιστορικά σπάνιες, παρουσιάζουν τοπικά υψηλή ένταση. Το φαινόμενο "Ifestionas" του 2020 ξεπέρασε τα όρια ζημιών, επισημαίνοντας τις ευπάθειες του αστικού περιβάλλοντος υπό πιο ακραίες συνθήκες καταιγίδων.
- **Οι πυρκαγιές** αποτελούν αυξανόμενη απειλή λόγω της αυξημένης ξηρασίας και της εγγύτητας των δασικών εκτάσεων με τους οικισμούς. Οι ζώνες υψηλού κινδύνου εντοπίστηκαν χρησιμοποιώντας τον Μετεωρολογικό Δείκτη Πυρκαγιάς (FWI), ιδιαίτερα σε προαστιακές περιοχές.

Συνολικά, η σοβαρότητα του κινδύνου είναι υψηλότερη για τον καύσωνα και τις πλημμύρες λόγω του ευρύτερου χωρικού τους αντίκτυπου, της επαναλαμβανόμενης φύσης τους και της αλληλεπίδρασής τους με κέντρα ευάλωτου πληθυσμού. Οι πυρκαγιές και οι ανεμοθύελλες αντιπροσωπεύουν περισσότερο τοπικούς αλλά και πάλι κρίσιμους κινδύνους.

2.4.2 Επείγουσα Ανάγκη Δράσης

- **Οι καύσωνες** απαιτούν **άμεση δράση**, ιδιαίτερα λόγω της προβλεπόμενης απότομης αύξησής τους μετά το 2040 και των παρατηρούμενων ευπαθειών στην αστική έκθεση στη θερμότητα. Πρόκειται για κινδύνους με αργή έναρξη, που επιτρέπουν σταδιακές παρεμβάσεις, αλλά απαιτούν προληπτικό σχεδιασμό.
- **Η υπερχειλίσεις ποταμών**, που προκαλούνται από τις κλιματικές αλλαγές στις βροχοπτώσεις και στην υδρολογική συμπεριφορά, **απαιτούν μεσοπρόθεσμες παρεμβάσεις**, με τον αναγκαίο σχεδιασμό να ξεκινά άμεσα για την αντιμετώπιση μελλοντικών ακραίων γεγονότων. Πρόκειται για κινδύνους με ξαφνική έναρξη και δυνητικά καταστροφικές συνέπειες.
- **Οι ανεμοθύελλες** παραμένουν λιγότερο συχνές, αλλά παρουσιάζουν υψηλή επίδραση κατά τη διάρκεια σπάνιων φαινομένων. Ως κινδύνους με ξαφνική έναρξη, **απαιτούν ετοιμότητα** με σύντομη ειδοποίηση, συμπεριλαμβανομένων ενημερώσεων στους κωδικούς οικοδόμησης και του συντονισμού των πρωτοβουλιών αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών.
- **Οι πυρκαγιές** αναμένεται να γίνουν πιο συχνές και σοβαρές στο εγγύς έως μεσοπρόθεσμο μέλλον, ιδιαίτερα σε ξηρές καλοκαιρινές περιόδους. Ως κινδύνους με ταχεία έναρξη, **απαιτούν προ-εποχική προληπτική σχεδίαση, ευαισθητοποίηση της κοινότητας και ετοιμότητα** για έκτακτες ανάγκες.

2.4.3 Ικανότητα Ανταπόκρισης

Η τρέχουσα ικανότητα διαχείρισης του κλιματικού κινδύνου στον Δήμο Ξάνθη παρουσιάζει ανάμεικτα επίπεδα ετοιμότητας:

- **Θεσμική και ανθρώπινη ικανότητα:** Το Γραφείο Πολιτικής Προστασίας, σε συνεργασία με το ΚΕΔΙΑΚ, επιδεικνύει ισχυρή τεχνική εμπειρία και ικανότητα στον προγραμματισμό. Ωστόσο, οι διαθέσιμοι πόροι και το προσωπικό του δήμου είναι περιορισμένα σε σχέση με την πολυπλοκότητα των κινδύνων.
- **Φυσική ικανότητα:** Οι υπάρχουσες υποδομές (π.χ., άμυνες κατά των πλημμυρών, καταφύγια έκτακτης ανάγκης) δεν έχουν προσαρμοστεί επαρκώς για τα μελλοντικά

επίπεδα κινδύνου. Επιπλέον, τα κέντρα ψύξης και οι ζώνες διακοπής της πυρκαγιάς είναι είτε περιορισμένα είτε ανύπαρκτα.

Οι ευκαιρίες που αναδεικνύονται από αυτή τη διαδικασία περιλαμβάνουν:

- Την πρόσβαση σε χρηματοδότηση και τεχνική υποστήριξη σε επίπεδο ΕΕ για την αναβάθμιση των υποδομών.
- Την ενίσχυση της συμμετοχής και της ενημέρωσης του κοινού σχετικά με τους κλιματικούς κινδύνους.
- Την ενδυνάμωση της συνεργασίας μεταξύ ακαδημαϊκών ιδρυμάτων, δημοτικών αρχών και φορέων της κοινωνίας των πολιτών.
- Την προώθηση λύσεων βασισμένων στη φύση, όπως ο αστικός περιβαλλοντικός προσανατολισμός και η βιώσιμη διαχείριση των δασών.

2.5 Προκαταρκτική Παρακολούθηση και Αξιολόγηση

Από τη Φάση 1 της εκτίμησης κλιματικού κινδύνου, προέκυψαν αρκετά σημαντικά διδάγματα:

- Οι ροές εργασιών του CLIMAAX απέδειξαν την αποτελεσματικότητά τους στην υποστήριξη τυποποιημένων αξιολογήσεων του κινδύνου, της έκθεσης και της τρωτότητας.
- Οι πιο σημαντικές προκλήσεις περιλάμβαναν τον περιορισμένο χωρικό προσδιορισμό ορισμένων συνόλων δεδομένων (π.χ., χάρτες πλημμύρας του Aqueduct για μικρά ρεύματα) και την έλλειψη ενημερωμένων τοπικών δεδομένων εδαφοκάλυψης και κοινωνικοοικονομικών στοιχείων.
- Η ενσωμάτωση δεδομένων για τις πυρκαγιές περιορίστηκε λόγω της χαμηλής διαθεσιμότητας αρχείων προηγούμενων συμβάντων, γεγονός που μείωσε την αποτελεσματικότητα της χαρτογράφησης που βασίζεται στη μηχανική μάθηση.

Οι παρατηρήσεις των ενδιαφερομένων τόνισαν την ανάγκη για πιο σαφή εργαλεία απεικόνισης και τοπικά αποτελέσματα. Η εμπλοκή επιπλέον ενδιαφερομένων, ιδιαίτερα από τον τομέα της υγείας, της εκπαίδευσης και των τοπικών ΜΚΟ, θα δοθεί προτεραιότητα στη επόμενη φάση για να διευρυνθεί η κοινωνική εμβέλεια και να ενισχυθεί η επικύρωση.

Τα νέα σύνολα δεδομένων που αναμένονται στη Φάση 2 περιλαμβάνουν:

- Υψηλής ανάλυσης ψηφιακά μοντέλα υψομέτρου (DEMs) και χάρτες χρήσης γης.
- Δικτυωμένες μετεωρολογικές παρατηρήσεις για πιο ακριβή τοπική αξιολόγηση του κινδύνου ανέμου και πυρκαγιάς.
- Ενημερωμένα δημογραφικά δεδομένα και δεδομένα τρωτότητας στον τομέα της υγείας για την ενίσχυση του μοντέλου κοινωνικών επιπτώσεων.

Η συνεχής τεχνική υποστήριξη από το ΚΕΔΙΑΚ και η ευρύτερη συμμετοχή των ενδιαφερομένων θα αποτελέσουν κρίσιμα στοιχεία για την περαιτέρω βελτίωση και εφαρμογή των αποτελεσμάτων της εκτίμησης κλιματικού κινδύνου στις επερχόμενες φάσεις.

3 Συμπεράσματα Φάσης 1- Εκτίμηση Κλιματικού Κινδύνου

Η Φάση 1 του έργου CARE_X επικεντρώθηκε σε τέσσερις βασικούς κινδύνους – καύσωνες, υπερχειλίσσεις ποταμού, ανεμοθύελλες και πυρκαγιές – χρησιμοποιώντας τις τυποποιημένες ροές εργασιών που παρέχονται στην Εργαλειοθήκη CLIMAAX. Τα ευρήματα αποτελούν ένα κρίσιμο σημείο εκκίνησης για περαιτέρω αναλύσεις και διαμορφώνουν μια ισχυρή βάση για τις επόμενες φάσεις του έργου. Η παρούσα ενότητα συνοψίζει τα κύρια συμπεράσματα, επισημαίνει τις προκλήσεις που έχουν ήδη αντιμετωπιστεί και τονίζει τα κενά που απομένουν για επίλυση.

3.1 Κύρια Ευρήματα

1. Καύσωνες

- Η αξιολόγηση ανέδειξε μια έντονη ανοδική τάση στη συχνότητα και στη σοβαρότητα των καυσώνων, ιδιαίτερα υπό σενάρια υψηλών εκπομπών, όπως το RCP8.5.
- Το φαινόμενο της Αστικής Νησίδας Θερμότητας εντείνει τις επιπτώσεις του καύσωνα στο κέντρο του Δήμου Ξάνθη, προκαλώντας ανησυχίες για τη δημόσια υγεία, ιδιαίτερα μεταξύ των ηλικιωμένων και των μικρών παιδιών.
- Η αρχική ανάλυση υποδεικνύει την ανάγκη για στοχευμένα μέτρα προσαρμογής, όπως η βελτίωση της ψυκτικής υποδομής και η ενημέρωση των ευάλωτων πληθυσμών.

2. Υπερχειλίσσεις Ποταμών (Ποταμός Κόσυνθος)

- Χάρτες κινδύνου πλημμύρας, που προέκυψαν από δεδομένα υψηλής ανάλυσης (π.χ., χάρτες πλημμύρας του JRC), έδειξαν πιθανούς τομείς πλημμύρας εντός του δήμου, ιδιαίτερα σε σενάρια επιστροφής 100 έως 500 ετών.
- Τα μεγαλύτερα βάθη κατάκλυσης παρατηρούνται σε περιοχές κοντά στο βόρειο τμήμα της πόλης και σε συγκεκριμένα τμήματα του ποταμού Κόσυνθου, επισημαίνοντας την ανάγκη για ενισχυμένα μέτρα άμυνας κατά των πλημμυρών και αποτελεσματικό σχεδιασμό χρήσης γης.
- Επιβεβαιώθηκε πως κρίσιμες υποδομές, όπως δρόμοι και δημόσια κτίρια εκτίθενται στον κίνδυνο πλημμύρας.

3. Ανεμοθύελλες

- Ιστορικά καταγεγραμμένες ανεμοθύελλες (προκαθορισμένες στη βάση δεδομένων CDS) που διατρέχουν τη Νότια Ευρώπη έδειξαν ελάχιστη απειλή για το Ξάνθη. Ωστόσο, ένα τοπικό σενάριο ανεμοθύελλας, προκύπτοντας από δεδομένα ERA5 χαμηλής ανάλυσης, αποκάλυψε τοπικές περιοχές υψηλής τρωτότητας, ιδιαίτερα για υποδομές και χρήσεις γης με μειωμένη ανθεκτικότητα.
- Παρόλο που ο συνολικός κίνδυνος φαίνεται συγκριτικά χαμηλότερος από άλλους κινδύνους, απρόβλεπτα τοπικά γεγονότα – όπως σύντομοι ανεμοστρόβιλοι – ενδέχεται

να απαιτήσουν σχεδιασμό έκτακτης ανάγκης για τη διασφάλιση της δομικής ακεραιότητας και την οργάνωση απαντητικών μέτρων..

4. Πυρκαγιές

- Η ροή εργασιών κινδύνου πυρκαγιάς συνδύασε κλιματικές προβλέψεις με δεδομένα εδαφοκάλυψης (διαθεσιμότητα καυσίμου) για τον εντοπισμό περιοχών υψηλού κινδύνου σε δασικές ζώνες, ιδιαίτερα στη διασύνδεση αστικού και δασικού περιβάλλοντος.
- Οι προβλεπόμενες αυξήσεις στην εποχιακή ξηρότητα και τη θερμοκρασία μπορούν να εντείνουν την πιθανότητα ανάφλεξης, υπογραμμίζοντας τη σημασία των συστημάτων έγκαιρης ανίχνευσης και των προληπτικών μέτρων για την αποτροπή καταστροφικών εκδηλώσεων πυρκαγιάς.

3.2 Αντιμετωπισθείσες Προκλήσεις

Αρχική ιεράρχηση πολλαπλών κινδύνων: Η φάση αυτή καθιέρωσε με επιτυχία ποιοι κίνδυνοι, από το ευρύτερο φάσμα, απαιτούν περαιτέρω εστίαση βάσει τοπικών και περιφερειακών συνθηκών.

Μεθοδολογική συνέπεια: Με την αυστηρή εφαρμογή των ρών εργασιών CRA του CLIMAAX και τη χρήση τυποποιημένων συνόλων δεδομένων, η ανάλυση της Φάσης 1 στο Ξάνθη είναι πλήρως συμβατή με το γενικό πλαίσιο του CLIMAAX, θέτοντας μια συνεπή βάση για τις μελλοντικές φάσεις.

3.3 Εκκρεμή Ζητήματα και Επόμενα Βήματα

Η Φάση 1 έθεσε τα θεμέλια για μια βαθύτερη κατανόηση των κλιματικών κινδύνων στο Ξάνθη, επιτρέποντας στοχευμένες προσπάθειες μείωσης των ευπαθειών και προετοιμασίας για τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Ενώ η προσέγγιση με χαμηλή ανάλυση της αρχικής αξιολόγησης αφήνει ορισμένα κενά γνώσης, οι επόμενες φάσεις θα αντιμετωπίσουν αυτά τα κενά αξιοποιώντας πιο λεπτομερή δεδομένα, εξελιγμένα μοντέλα και διευρυμένη συμμετοχή των ενδιαφερομένων. Τα επόμενα βήματα περιλαμβάνουν:

- Τοπικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης: Η έλλειψη τοπικών, υψηλής ανάλυσης δεδομένων (π.χ., λεπτομερείς τοπογραφικοί χάρτες, ευπάθειες συγκεκριμένων κτιρίων) περιορίζει την ακρίβεια ορισμένων εκτιμήσεων κινδύνου. Στη Φάση 2 θα ενσωματωθούν βελτιωμένα σύνολα δεδομένων για τη βελτίωση της ακρίβειας των μοντέλων και των μέτρων προσαρμογής.
- Ολοκληρωμένες κοινωνικοοικονομικές και δημογραφικές αναλύσεις: Αν και το έργο εντόπισε ευάλωτες ομάδες, απαιτείται ένα πιο λεπτομερές κοινωνικοοικονομικό και δημογραφικό προφίλ των επηρεαζόμενων γειτονιών για την ενίσχυση των στρατηγικών παρέμβασης σε επίπεδο κοινότητας.
- Διατομεακή συνεργασία: Οι επόμενες φάσεις θα πρέπει να ενισχύσουν τη συνεργασία μεταξύ δημοτικών αρχών, ιδιωτικού τομέα και της κοινωνίας των πολιτών,

προκειμένου να αναπτυχθούν στοχευμένες δράσεις μείωσης κινδύνου και να διασφαλιστεί η ευρεία υποστήριξη των μέτρων προσαρμογής.

- Πλαίσιο Παρακολούθησης και Αξιολόγησης: Η πόλη στερείται επί του παρόντος ενός επίσημου μηχανισμού για την παρακολούθηση της προόδου και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων προσαρμογής στον κλιματικό κίνδυνο με την πάροδο του χρόνου. Οι μελλοντικές φάσεις πρέπει να θεσπίσουν δείκτες απόδοσης και διαδικασίες αναθεώρησης.

4 Αξιολόγηση Προόδου και Συνεισφορά στις Μελλοντικές Φάσεις

Η Φάση 1 επικεντρώθηκε στην ολοκληρωμένη εφαρμογή της μεθοδολογίας CLIMAAX για την Κλιματική Εκτίμηση Διακινδύνευσης (CRA), παρέχοντας μια προκαταρκτική γραμμή κινδύνου για τον Δήμο Ξάνθης. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, επιτεύχθηκαν δύο κρίσιμα ορόσημα, όπως ορίστηκαν στη Συμφωνία Υπο-επιχορήγησης μεταξύ της Κοινοπραξίας CLIMAAX και του Δήμου Ξάνθης (βλ. Πίνακα 4-1).

Πίνακας 4-1 Επισκόπηση των Οροσήμων

Ορόσημο	Πρόοδος
01: Διεξαγωγή αρχικού εργαστηρίου ενδιαφερόμενων μερών (Φάση 1)	Επιτεύχθηκε τον Δεκέμβριο του 2024
02: Εγκαθιδρυμένες και προσαρμοσμένες ροές εργασιών για όλους τους σχετικούς κινδύνους (Φάση 1)	Επιτεύχθηκε στο τέλος της Φάσης 1
03: Ολοκληρωμένη ανάλυση διακινδύνευσης για κάθε κίνδυνο (Φάση 2)	-
04: Διεξαγωγή συνεδριών μεταφοράς γνώσης μεταξύ του Ερευνητικού Κέντρου και του Γραφείου Πολιτικής Προστασίας (Φάση 2)	-
05: Ενημέρωση των υφιστάμενων σχεδίων διαχείρισης κινδύνου (Φάση 3)	-
06: Διεξαγωγή άσκησης ετοιμότητας για κλιματικά φαινόμενα πολλαπλών κινδύνων (Φάση 3)	-
07: Συμμετοχή στο εργαστήριο CLIMAAX που διεξήχθη στη Βαρκελώνη (Μάιος 2025)	-
08: Συμμετοχή στο εργαστήριο CLIMAAX που διεξήχθη στις Βρυξέλλες (Δεκέμβριος 2026)	-

• **01: Εργαστήριο ενδιαφερόμενων φορέων:** Το εργαστήριο διεξήχθη στις 16 Δεκεμβρίου 2024. Συγκέντρωσε τοπικές αρχές, εκπροσώπους πολιτικής προστασίας και ακαδημαϊκούς ειδικούς για τη συζήτηση του πεδίου εφαρμογής, των απαιτήσεων δεδομένων και των αναμενόμενων αποτελεσμάτων της εκτίμησης διακινδύνευσης. Το εργαστήριο όχι μόνο προώθησε τη συνεργασία και διασφάλισε την καταγραφή των τοπικών αναγκών, αλλά επίσης καθιέρωσε σαφή κανάλια για συνεχή εμπλοκή των ενδιαφερόμενων μερών.

• **02: Προσαρμοσμένες ροές εργασιών για όλους τους σχετικούς κινδύνους:** Η ομάδα του έργου εφάρμοσε και προσαρμοσε επιτυχώς τις μεθοδολογίες CLIMAAX για τους τέσσερις στοχευμένους κινδύνους (ανεμοθύελλες, καύσωνες, υπερχειλίσεις ποταμών και πυρκαγιές) χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό δεδομένων βάσει CDS και προϊόντων επανάλυσης ERA5. Οι προσαρμοσμένες αυτές ροές εργασιών έχουν παραγάγει αρχικούς

χάρτες κινδύνου, αξιολογήσεις ευπάθειας και εκτιμήσεις ζημιών που χρησιμεύουν ως βάση του έργου.

Εκτός από τα παραπάνω ορόσημα, η Φάση 1 πέτυχε έναν κρίσιμο δείκτη απόδοσης (KPI) που αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της συνολικής επιτυχίας του έργου: την ολοκλήρωση των εκτιμήσεων διακινδύνευσης για δύο εντοπισμένους κινδύνους. Επιπλέον, συνέβαλε στην μερική ολοκλήρωση των ακόλουθων KPI, όπως ορίστηκαν στη συμφωνητικό επιχορήγησης μεταξύ της κοινοπραξίας CLIMAAX και του Δήμου Ξάνθης, δηλαδή 3 εργαστήρια με τους ενδιαφερόμενους φορείς καθ' όλη τη διάρκεια του έργου (κατά τη Φάση 1 οργανώθηκε ένα εργαστήριο). Επίτευξη τουλάχιστον 3 αναφορών στα τοπικά μέσα ενημέρωσης για το έργο και τα πορίσματά του (απεστάλη ένα δελτίο τύπου στα μέσα ενημέρωσης που ενημέρωνε για το CLIMAAX και το έργο με τον Δήμο Ξάνθης σε διάφορα μέσα ενημέρωσης) και επιτυχής εφαρμογή και των 5 βημάτων του πλαισίου CLIMAAX (οριοθέτηση πεδίου, διερεύνηση κινδύνων, ανάλυση κινδύνων, αξιολόγηση βασικών κινδύνων, παρακολούθηση και αξιολόγηση). (Βλέπε πίνακα 4-2).

Πίνακας 4-2 Επισκόπηση των κρίσιμων δεικτών απόδοσης

Κρίσιμοι Δείκτες Απόδοσης	Πρόοδος
Ολοκλήρωση εκτιμήσεων διακινδύνευσης για 2 εντοπισμένους κινδύνους.	Ολοκληρώθηκε
Διεξαγωγή τουλάχιστον 3 εργαστηρίων ενδιαφερόμενων φορέων καθ' όλη τη διάρκεια του έργου.	Ένα διεξήχθη τον Δεκέμβριο 2024 μεταξύ του ΚΕΔΙΑΚ, του Δημάρχου του Δήμου Ξάνθης και εκπροσώπων του Γραφείου Πολιτικής Προστασίας, με τον Αντιδήμαρχο της Πολιτικής Προστασίας.
Συμμετοχή τουλάχιστον 10 τοπικών ενδιαφερόμενων φορέων που εκπροσωπούν διάφορους τομείς (π.χ., κυβέρνηση, ακαδημαϊκός χώρος, κοινωνία των πολιτών, ευπαθείς ομάδες).	-
Επιτυχής ενσωμάτωση τουλάχιστον 4 τοπικών συνόλων δεδομένων στη διαδικασία εκτίμησης διακινδύνευσης.	-
Δημιουργία τουλάχιστον 1 ολοκληρωμένου χάρτη κινδύνου για κάθε αξιολογημένο κίνδυνο.	-
Εντοπισμός τουλάχιστον 5 πιθανών μέτρων προσαρμογής ή συστάσεων πολιτικής βάσει των αποτελεσμάτων της εκτίμησης διακινδύνευσης.	-
Εκπαίδευση τουλάχιστον 10 τοπικών αξιωματούχων ή ενδιαφερόμενων μερών στη χρήση και ερμηνεία εργαλείων εκτίμησης διακινδύνευσης και των αποτελεσμάτων τους.	-
Οργάνωση τουλάχιστον 1 δημόσιας εκδήλωσης για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων του έργου στην ευρύτερη κοινότητα..	-
Επίτευξη τουλάχιστον 3 αναφορών σε τοπικά μέσα ενημέρωσης για το έργο και τα ευρήματά του.	Ένα δελτίο τύπου στάλθηκε στα μέσα μαζικής ενημέρωσης για να ενημερωθεί το κοινό για την εφαρμογή των εργαλείων Climaax στην πόλη της Ξάνθης

Κρίσιμοι Δείκτες Απόδοσης	Πρόοδος
	και για τα αναμενόμενα οφέλη. Το δελτίο τύπου δημοσιεύθηκε σε διάφορα μέσα ενημέρωσης της περιοχής.
Επιτυχής υλοποίηση όλων των 5 βημάτων του πλαισίου CLIMAAX (Καθορισμός Ορίων, Εξερεύνηση Κινδύνου, Ανάλυση Κινδύνου, Βασική Εκτίμηση Διακινδύνευσης, Παρακολούθηση & Αξιολόγηση).	Καταφέραμε να υλοποιήσουμε τα αρχικά βήματα του πλαισίου CLIMAAX που αντιστοιχούν στην 1η Φάση του έργου.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα της Φάσης 1 καθοδηγούν άμεσα τις προγραμματισμένες δραστηριότητες για τις επόμενες φάσεις. Στη Φάση 2, η έμφαση θα μετατοπιστεί στη βελτίωση των εκτιμήσεων διακινδύνευσης, ενσωματώνοντας τοπικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης και ενημερώνοντας τα μοντέλα ευπάθειας ώστε να αντικατοπτρίζουν τις τοπικές συνθήκες.

Συγκεκριμένα, το ορόσημο για τη Φάση 2 (O3) είναι η ολοκλήρωση των βελτιωμένων αναλύσεων διακινδύνευσης για κάθε κίνδυνο, ενώ το O4 αφορά τη διεξαγωγή συνεδριών μεταφοράς γνώσης μεταξύ του ΚΕΔΙΑΚ και του Γραφείου Πολιτικής Προστασίας. Αυτές οι δραστηριότητες θα ενισχύσουν την ακρίβεια της μοντελοποίησης κινδύνου και θα διασφαλίσουν ότι οι τοπικοί φορείς λήψης αποφάσεων είναι πλήρως εξοπλισμένοι για την ερμηνεία και αξιοποίηση των δεδομένων διακινδύνευσης.

Ενόψει της Φάσης 3, οι βελτιωμένες εκτιμήσεις διακινδύνευσης θα αποτελέσουν τη βάση για τη διαμόρφωση και την ενημέρωση των υφιστάμενων σχεδίων διαχείρισης κινδύνου (O5). Επιπλέον, θα διεξαχθεί μια άσκηση ετοιμότητας για κλιματικά φαινόμενα πολλαπλών κινδύνων (O6) με σκοπό τη δοκιμή και επικύρωση των στρατηγικών ανθεκτικότητας. Οι επόμενες φάσεις θα περιλαμβάνουν επίσης διεθνή εμπλοκή, με προγραμματισμένη συμμετοχή στα εργαστήρια CLIMAAX στη Βαρκελώνη (O7, Μάιος 2025) και στις Βρυξέλλες (O8, Δεκέμβριος 2026), διασφαλίζοντας ότι το έργο ευθυγραμμίζεται με τις ευρύτερες ευρωπαϊκές βέλτιστες πρακτικές και αξιοποιεί τη διεθνή εμπειρία.

Συνοψίζοντας, η Φάση 1 έχει καθιερώσει μια ισχυρή επιστημονική και επιχειρησιακή βάση για το έργο CARE_X. Τα επιτευχθέντα ορόσημα (O1 και O2) και οι δείκτες απόδοσης που πληρούνται κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης επιβεβαιώνουν ότι οι αρχικές εκτιμήσεις διακινδύνευσης είναι αξιόπιστες και εφαρμόσιμες. Αυτά τα αποτελέσματα παρέχουν την απαραίτητη βάση για την περαιτέρω βελτίωση των δεδομένων στη Φάση 2 και τον στρατηγικό σχεδιασμό προσαρμογής της Φάσης 3, διασφαλίζοντας μια ομαλή μετάβαση στον κύκλο ζωής του έργου και μια σημαντική ενίσχυση της κλιματικής ανθεκτικότητας του Δήμου Ξάνθης.

5 Συμπληρωματικό υλικό

1. Κύρια Αναφορά
2. Συμπληρωματικό υλικό για τις ροές εργασιών
 - a. Συμπληρωματικό υλικό για τη ροή εργασιών του Καύσωνα
 - b. Συμπληρωματικό υλικό για τη ροή εργασιών της Υπερχείλισης Ποταμού
 - c. Συμπληρωματικό υλικό για τη ροή εργασιών των Πυρκαγιών
3. Επικοινωνιακό Υλικό

6 Βιβλιογραφικές αναφορές

- 1 Barbierato, E., & Gatti, A. (2024). The Challenges of Machine Learning: A Critical Review. *Electronics*, 13, 416. <https://doi.org/10.3390/electronics13020416>
- 2 Conti, A., Valente, M., Paganini, M., Farsoni, M., Ragazzoni, L., & Barone-Adesi, F. (2022). Knowledge Gaps and Research Priorities on the Health Effects of Heatwaves: A Systematic Review of Reviews. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10), 5887. <https://doi.org/10.3390/ijerph19105887>
- 3 Feuerstein, B., Groenemeijer, P., Dirksen, E., Hubrig, M., Holzer, A., & Dotzek, N. (2011). Towards an improved wind speed scale and damage description adapted for Central Europe. *Atmospheric Research*, 100, 547–564.
- 4 Founda, D., & Santamouris, M. (2017). Synergies between Urban Heat Island and Heat Waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer (2012). *Scientific Reports*, 7, 10973. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11407-6>
- 5 Founda, D., Pierros, F., Katavoutas, G., & Keramitsoglou, I. (2019). Observed Trends in Thermal Stress at European Cities with Different Background Climates. *Atmosphere*, 10(8), 436. <https://doi.org/10.3390/atmos10080436>
- 6 Jacome Felix Oom, D., De Rigo, D., Pfeiffer, H., Branco, A., Ferrari, D., Grecchi, R., Artes Vivancos, T., Durrant, T., Boca, R., Maianti, P., Liberta`, G., & San-Miguel-Ayanz, J. (2022). *Pan-European wildfire risk assessment* (EUR 31160 EN). Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/437309>
- 7 Koks, E.E., & Haer, T. (2020). A high-resolution wind damage model for Europe. *Scientific Reports*, 10, 6866. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63619-7>
- 8 Lamnisos, D., Giannakou, K., & Jakovljevic, M. (2021). Demographic forecasting of population aging in Greece and Cyprus: one big challenge for the Mediterranean health and social system long-term sustainability. *Health Research Policy and Systems*, 19, 21. <https://doi.org/10.1186/s12961-020-00666-x>
- 9 Ntislidou, C., Basdeki, A., Papacharalampou, C., Albanakis, K., Lazaridou, M., & Voudouris, K. (2012). Ecological Water Quality and Management at a River Basin Level: A Case Study from River Basin Kosynthos in June 2011. In: *Ecological Water Quality-Water Treatment and Reuse*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/32753>
- 10 Papadopoulos, C., Spiliotis, M., Pliakas, F., Gkioukhis, I., Kazakis, N., & Papadopoulos, B. (2022). Hybrid fuzzy multi-criteria analysis for selecting discrete preferable groundwater recharge sites. *Water*, 14(1), 107. <https://doi.org/10.3390/w14010107>
- 11 Siachalou, S., Doxani, G., & Tsakiri-Strati, M. (2008). Integrating Remote Sensing Processing and GIS to Fire Risk Zone Mapping: A Case Study for the Seih-Sou Forest of Thessaloniki. *Ph.D. thesis*, Aristotle University of Thessaloniki.