



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΜΣ « ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ»

Η ΤΕΧΝΗΤΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΓΣΠ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ. ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.

ΜΠΙΡΜΠΙΛΗ ΙΛΙΑΔΑ

Α.Μ.: ΜΚΚ2318

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Ι. ΜΑΝΙΑΤΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2025



UNIVERSITY OF PIRAEUS

DEPARTMENT OF DIGITAL SYSTEMS

MASTER PROGRAM IN CLIMATE CRISIS AND INFORMATION
AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND GIS IN MONITORING CLIMATE
CHANGE: INNOVATIVE SOLUTIONS FOR DISASTER MANAGEMENT &
ENVIRONMENTAL PROTECTION

BY

BIRMPILI ILIADA

PIREAEUS, GREECE, NOVEMBER 2025

Δήλωση Πνευματικών Δικαιωμάτων

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο “Η τεχνητή νοημοσύνη και ΓΣΠ στην παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής. Καινοτόμες λύσεις για διαχείριση φυσικών καταστροφών & προστασία του περιβάλλοντος” καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και οι πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Μπιρμπίλη Ιλιάδα

Υπογραφή Φοιτητή:



Intelligence is the ability to adapt to change.

Stephen Hawking

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Γιάννη Μανιάτη, για την ευκαιρία να παρακολουθήσω το μεταπτυχιακό καθώς και για την υποστήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας εργασίας. Επίσης, την εύστοχη και άμεση επικοινωνία με την κυρία Ιωάννα Βούλγαρη που συνέβαλε ουσιαστικά στην υποστήριξη σε οποιοδήποτε ακαδημαϊκό ζήτημα. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω την οικογένεια μου, η οποία είναι πάντα υποστηρικτική. Τέλος, το Γιώργο ο οποίος πάντα με παρακινεί να δίνω τον καλύτερο μου εαυτό.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται ο ρόλος της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) στη παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής, καθώς και στη διαχείριση φυσικών καταστροφών. Αρχικά, παρουσιάζεται η κλιματική αλλαγή ως παγκόσμια πρόκληση και κρίνεται αναγκαία η ανάδειξη νέων τεχνολογιών για την διαχείριση της αλλαγής αυτής. Εξετάζονται οι βασικές αρχές της TN και των ΓΣΠ, η μεταξύ τους σύνδεση, και η συμβολή τους στην ανάλυση μεγάλων συνόλων περιβαλλοντικών δεδομένων. Μέσω συστηματικής ανασκόπησης της διεθνούς βιβλιογραφίας αναδεικνύονται εφαρμογές που βελτιώνουν την πρόβλεψη ακραίων καιρικών φαινομένων, την ανίχνευση μεταβολών στη χρήση γης και τη διαχείριση κρίσιμων περιστατικών, όπως πυρκαγιές και πλημμύρες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ενσωμάτωση TN και ΓΣΠ μπορεί να αποτελέσει ουσιαστικό εργαλείο για την προστασία του περιβάλλοντος, τη μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής κρίσης και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των κοινωνιών.

Abstract

This paper examines the role of Artificial Intelligence (AI) and Geographic Information Systems (GIS) in monitoring climate change and managing natural disasters. As a start, climate change is presented as a global challenge, and it's clear that new tech is needed to manage this change. The basic principles of AI and GIS, their interconnection, and their contribution to the analysis of large sets of environmental data are examined. Through a systematic review of the international literature, applications are highlighted that improve the prediction of extreme weather events, the detection of changes in land use, and the management of critical incidents such as fires and floods. The results show that the integration of AI and GIS can be an essential tool for protecting the environment, reducing the impact of the climate crisis, and strengthening the resilience of societies.

Περιεχόμενα

Πίνακας Περιεχομένων

Ευχαριστίες	v
Περίληψη	vi
Abstract	vii
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Η κλιματική αλλαγή ως παγκόσμιο πρόβλημα	1
1.2 Ο ρόλος της τεχνολογίας στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.....	3
1.3 Σκοπός και στόχοι της εργασίας.....	5
1.4 Δομή Εργασίας	6
2.1 Τεχνητή νοημοσύνη	7
2.1.1 Νοημοσύνη.....	7
2.1.2 Ορισμός Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) / Artificial Intelligence (AI)	8
2.1.3 Ιστορικά ορόσημα της Τεχνητής Νοημοσύνης	9
2.1.4 Κατηγορίες Τεχνητής Νοημοσύνης.....	11
2.1.4.1 Μηχανική Μάθηση (Machine Learning)	14
2.1.4.2 Βαθιά Μάθηση (Deep Learning).....	16
2.2. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ)	18
2.2.1. Ορισμός Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορικής	18
2.2.2 Συστατικά Μέρη & Οφέλη ΓΣΠ	20
2.3. Σύνδεση TN και ΓΣΠ	23
2.3.1. Συνεργασία TN και ΓΣΠ για την ανάλυση περιβαλλοντικών δεδομένων	23
2.4 Κλιματική Αλλαγή και Φυσικές Καταστροφές	25
2.4.1 Αίτια και συνέπειες της κλιματικής αλλαγής	25
2.4.1.1 Αίτια	25
2.4.1.2 Συνέπειες	32
2.4.2 Ο επηρεασμός των ατόμων από τις κλιματικές αλλαγές και η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη συχνότητα και ένταση των φυσικών καταστροφών	33
3.Μελέτες Περίπτωσης στη Διαχείριση Καταστροφών	44

3.1 1 ^η Μελέτη Περίπτωσης : Ενσωμάτωση Τεχνητής Νοημοσύνης και GIS για την Προληπτική Ανθεκτικότητα σε Φυσικές Καταστροφές	44
3.2 2 ^η Μελέτη Περίπτωσης: Ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον τεχνητής νοημοσύνης των πραγμάτων για την πρόληψη πλημμυρών ποταμών.....	53
3.3 3 ^η Μελέτη Περίπτωσης: Αξιολόγηση των επιπτώσεων των πυρκαγιών στον κίνδυνο πλημμυρών με βάση το GIS: Η περίπτωση των δασικών πυρκαγιών του καλοκαιριού του 2021 στην Ελλάδα.....	62
4.Μελέτη Περίπτωσης στη Προστασία του Περιβάλλοντος: Πρόβλεψη και κατανόηση του κινδύνου πυρκαγιάς με Deep Learning	72
5.Συμπεράσματα.....	80
Ελληνική Βιβλιογραφία	86
Ξένη Βιβλιογραφία.....	87

Εικόνες

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ 1850-1900Β ΠΗΓΗ:IPCC, Έκθεση (AR6)	
HTTPS://WWW.IPCC.CH/REPORT/AR6/WG1/DOWNLOADS/REPORT/IPCC_AR6_WGI_SPM_FINAL.PDF	2
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΠΗΓΗ: LAVENDA,D. MARSDEN, P.	11
ΕΙΚΟΝΑ 3 Ο ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΣ ΤΝ ΚΑΙ ΟΙ ΥΠΟΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗ: JEAN-CLAUDE, K.K. (2022)	
HTTPS://DOI.ORG/10.5121/CSIT.2022.122314.....	12
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΜΕΡΗ ΕΝΟΣ ΣΓΠ (ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟ ΕΥΕΛΠΙΔΟΥ Κ.Α., 2022)	20
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΠΑΓΚΟΣΜΙΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΕ ΞΗΡΑ ΚΑΙ ΩΚΕΑΝΟ – ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1880-2021 (ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ - ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ). ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΒΑΣΙΖΟΝΤΑΙ ΣΕ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΑΝΑΦΟΡΑΣ. ΠΗΓΗ: ΝΟΑΑ, (NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION)	
HTTPS://WWW.NCEI.NOAA.GOV/ACCESS/MONITORING/GLOBAL-TEMPERATURE-ANOMALIES.....	27
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΑΠΟ 1958 - 2021, ΜΕ ΒΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ ΜΑΥΝΑ ΛΟΑ ΣΤΗ ΧΑΒΑΗ. ΠΗΓΗ: ΝΟΑΑ GLOBAL MONITORING LABORATORY (2022)	
HTTPS://WWW.CLIMATE.GOV/NEWS-FEATURES/UNDERSTANDING-CLIMATE/CLIMATE-CHANGE-ATMOSPHERIC-CARBON-DIOXIDE	28
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΑΛΛΑΓΕΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ (ΜΜ) ΠΗΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ: FREDERIKSE ET AL. (2020) NASA’S GODDARD SPACE FLIGHT CENTER/PO.DAAC HTTPS://CLIMATE.NASA.GOV/VITAL-SIGNS/SEA-LEVEL/?INTENT=121	30
ΕΙΚΟΝΑ 8 ΈΚΤΑΣΗ ΠΑΓΟΥ ΣΤΗΝ ΑΡΚΤΙΚΗ: ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ NSIDC, 2023: ARCTIC SEA ICE NEWS & ANALYSIS: FALLING UP. NATIONAL SNOW & ICE DATA CENTER. HTTPS://WWW.GLOBALCHANGE.GOV/INDICATORS/ARCTIC-SEA-ICE-EXTENT	31
ΕΙΚΟΝΑ 9 ΈΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΕΤΕΠ 2024	35
ΕΙΚΟΝΑ 10 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΚΛΙΜΑ, ΤΩΝ ΟΔΩΝ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΑΥΤΟΥΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΕΥΠΑΘΕΙΑΣ. ΠΗΓΗ: WHO HTTPS://WWW.WHO.INT/NEWS-ROOM/FACT-SHEETS/DETAIL/CLIMATE-CHANGE-AND-HEALTH	36
ΕΙΚΟΝΑ 11 ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ 600 ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΗΓΗ: ΑΓΡΙΜΑΝΑΚΗ, 2025	
HTTPS://WWW.KATHIMERINI.GR/LIFE/ENVIRONMENT/563345050/ΚΑΙΡΙΚΕΣ-ΑΚΡΟΤΙΤΕΣ-ΣΤΟΝ-ΚΟΣΜΟ-ΚΑΙ-ΤΙΝ-ΕΛΛΑΔΑ/ ..	39
ΕΙΚΟΝΑ 12 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ (ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΒΗΜΑ). ΤΑ ΒΗΜΑΤΑ ΕΙΝΑΙ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΚΑΙ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΥΑΛΩΤΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ (ΟΤΤΟ,2023).....	41
ΕΙΚΟΝΑ 13 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ, ΔΙΑΛΟΓΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΛΗΨΗΣ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΔΙΕΗΡ ΕΤ ΑΛ. (2025).	46
ΕΙΚΟΝΑ 14 ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΥ ΑΝΑΔΥΟΝΤΑΙ ΩΣ ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΤΟΥ GIS ML ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΔΙΕΗΡ ΕΤ ΑΛ. (2025).....	47
ΕΙΚΟΝΑ 15 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΔΟΜΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ	56
ΕΙΚΟΝΑ 16 ΙΕΡΑΡΧΗΣΗ ΤΟΥ CBA ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ.....	57
ΕΙΚΟΝΑ 17 CONFUSION MATRIX ΤΡΙΩΝ ΚΛΑΣΕΩΝ	60
ΕΙΚΟΝΑ 18 ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΚΑΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ : ΑΤΤΙΚΗΣ, ΒΟΡΕΙΑΣ ΕΥΒΟΙΑΣ, ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ ΕΥΕΛΠΙΔΟΥ, Ν.Κ.Α. GIS-BASED ASSESSMENT OF FIRE EFFECTS ON FLASH FLOOD HAZARD: THE CASE OF THE SUMMER 2021 FOREST FIRES IN GREECE. GEOHAZARDS 2023, 4, 1–22	64
ΕΙΚΟΝΑ 19 ΚΑΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΤΗΝ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟ ΕΥΕΛΠΙΔΟΥ, Ν.Κ.Α. GIS-BASED ASSESSMENT OF FIRE EFFECTS ON FLASH FLOOD HAZARD: THE CASE OF THE SUMMER 2021 FOREST FIRES IN GREECE. GEOHAZARDS 2023, 4, 1–22	65
ΕΙΚΟΝΑ 20 ΑΤΤΙΚΗ: ΧΡΗΣΗ BOOLEAN LOGIC-BASED MODEL ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΕ ΚΑΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΥΕΛΠΙΔΟΥ, Ν.Κ.Α. GIS-BASED ASSESSMENT OF FIRE EFFECTS ON FLASH FLOOD HAZARD: THE CASE OF THE SUMMER 2021 FOREST FIRES IN GREECE. GEOHAZARDS 2023, 4, 1–22	67

ΕΙΚΟΝΑ 21 ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΒΟΙΑ: ΧΡΗΣΗ BOOLEAN LOGIC-BASED MODEL ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΕ ΚΑΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΥΕΛΡΙΔΟΥ, Ν.Κ.Α. GIS-BASED ASSESSMENT OF FIRE EFFECTS ON FLASH FLOOD HAZARD: THE CASE OF THE SUMMER 2021 FOREST FIRES IN GREECE. GEOHAZARDS 2023, 4, 1–22	68
ΕΙΚΟΝΑ 22 ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ : ΧΡΗΣΗ BOOLEAN LOGIC-BASED MODEL ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΕ ΚΑΜΕΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΥΕΛΡΙΔΟΥ, Ν.Κ.Α. GIS-BASED ASSESSMENT OF FIRE EFFECTS ON FLASH FLOOD HAZARD: THE CASE OF THE SUMMER 2021 FOREST FIRES IN GREECE. GEOHAZARDS 2023, 4, 1–22	69
ΕΙΚΟΝΑ 23 Α) ΧΑΡΤΕΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΓΙΑ 10 ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ ΗΜΕΡΕΣ ΕΤΟΣ 2020 ΑΠΟ LTSM. ΤΑ ΜΑΥΡΑ ΣΥΜΒΟΛΑ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΟΥΝ ΤΙΣ ΑΝΑΦΛΕΞΕΙΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΓΙΑ ΕΚΕΙΝΗ ΤΗΝ ΜΕΡΑ Β) ΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΓΙΑ 3 ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ ΜΕΡΕΣ ΤΟΥ 2021, ΠΟΥ ΟΔΗΓΗΣΕ ΣΕ ΑΝΑΦΛΕΞΗ ΤΡΙΩΝ ΜΕΓΑΛΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΗ ΕΛΛΑΔΑ ΣΤΙΣ 3/08/2021. Η ΜΑΥΡΗ ΓΡΑΑΜΗ ΣΤΟΥΣ ΜΕΓΕΝΘΥΜΕΝΟΥΣ ΧΑΡΤΕΣ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΚΑΜΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΘΕ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ Γ) ΧΑΡΤΕΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΕΙΠΤΟΥΝ ΑΠΟ ΤΟ LTSM ΚΑΙ FWI ΓΙΑ 3 ΜΕΡΕΣ. ΤΑ ΜΑΥΡΑ ΣΥΜΒΟΛΑ ΔΕΙΧΝΟΥΝ ΤΙΣ ΑΝΑΦΛΕΞΕΙΣ ΦΩΤΙΑΣ Δ) ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΜΕ ΤΟΝ ΜΕΣΟ ΟΡΟ ΚΑΙ ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ.....	77

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η κλιματική αλλαγή ως παγκόσμιο πρόβλημα

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα καίριο παγκόσμιο πρόβλημα που οφείλεται σε μακροχρόνιες αλλαγές της θερμοκρασίας και του καιρού ενώ πλέον οι επιπτώσεις της γίνονται όλο πιο αισθητές σε διάφορα μέρη του πλανήτη με την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων που παρατηρούνται όλο και συχνότερα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι μεγάλες περίοδοι ξηρασίας, οι έντονες πλημμύρες, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, το λιώσιμο των παγετώνων, η άνοδος της θερμοκρασίας και οι συχνότεροι και εντονότεροι καύσωνες κ.α. ([Raizada, Sharma and Srivastava, 2022](#)).

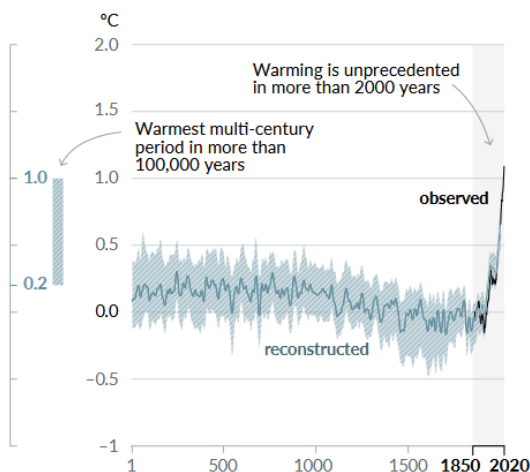
Τα ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν προκληθεί κυρίως από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων (όπως άνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο), η αποψίλωση των δασών και οι βιομηχανικές διαδικασίες μέσω των οποίων παράγεται διοξείδιο του άνθρακα και διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα αλλά και άλλα αέρια του θερμοκηπίου που συμβάλουν στην αλλαγή της θερμοκρασίας διότι παγιδεύουν τη θερμότητα εντός της ατμόσφαιρας και προκαλούν το ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Οι ενέργειες αυτές επηρεάζουν αρνητικά πολλούς και διάφορους τομείς που περιλαμβάνουν τη βιοποικιλότητα, την ανθρώπινη υγεία, την ασφάλεια των τροφίμων και του νερού και την οικονομική σταθερότητα ([Abhijeet, Singh and Shindikar, 2023](#); [Usman, Jayeoba and Kundiri, 2024](#)). Για τη δεκαετία 2011–2020, η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασία της επιφάνειας από το 1850–1900 εκτιμάται ότι είναι 1,09°C [0,95°C έως 1,20°C] με τις προβλέψεις να δείχνουν περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας εάν συνεχιστούν οι τρέχουσες τάσεις ([IPCC, 2023](#)) ([Effects - NASA Science, 2022](#)). Εάν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου δεν μειωθούν τις επόμενες δεκαετίες, οι θερμοκρασίες θα αυξηθούν περισσότερο από 1,5°C - 2°C πάνω από τα προ-βιομηχανικά επίπεδα αυτόν τον αιώνα, δηλαδή το διοξείδιο του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι σήμερα κατά 50% υψηλότερο από ό,τι ήταν πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση ([Ipcc, 2023](#)), ως αποτέλεσμα των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, που εκπέμπουν διοξείδιο του άνθρακα (Abhijeet et al., 2023- Amita Raizada et al., 2022).

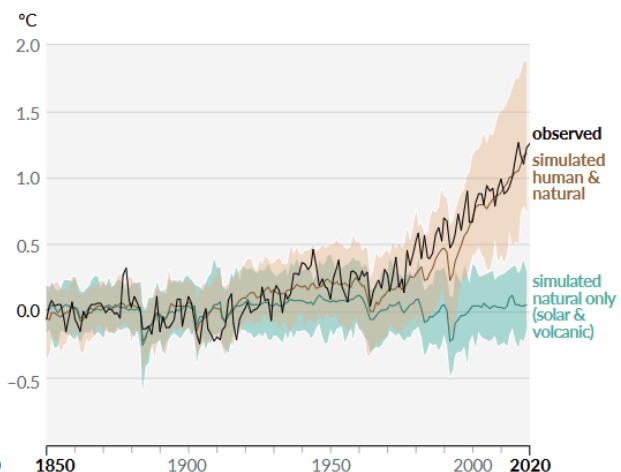
Human influence has warmed the climate at a rate that is unprecedented in at least the last 2000 years

Changes in global surface temperature relative to 1850–1900

(a) Change in global surface temperature (decadal average) as reconstructed (1–2000) and observed (1850–2020)



(b) Change in global surface temperature (annual average) as observed and simulated using human & natural and only natural factors (both 1850–2020)



Εικόνα 1 Αλλαγές στην παγκόσμια επιφανειακή θερμοκρασία 1850-1900B Πηγή:IPCC, Έκθεση (AR6) https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf

Γράφημα (a): Η παγκόσμια θερμοκρασία τα τελευταία 2000 χρόνια

Γράφημα (b): Η ανθρώπινη δραστηριότητα ως βασική αιτία της παγκόσμιας θέρμανσης από το 1850 και μετά

Το αριστερό γράφημα (Εικόνα 1) δείχνει πώς έχει αλλάξει η μέση παγκόσμια θερμοκρασία τα τελευταία 2000 χρόνια, βασισμένο σε ανακατασκευασμένα ιστορικά δεδομένα (με μπλε) και άμεσα παρατηρημένα δεδομένα από το 1850 και μετά (με μαύρο). Να τονιστεί ότι η αύξηση της θερμοκρασίας τα τελευταία 150 χρόνια είναι πολύ πιο απότομη και μεγαλύτερη σε μέγεθος από οποιαδήποτε άλλη περίοδο τα τελευταία 2000 χρόνια.

Το δεξί γράφημα (Εικόνα 1) συγκρίνει τρεις σειρές δεδομένων για την αλλαγή της παγκόσμιας θερμοκρασίας από το 1850:

1. Τι πραγματικά παρατηρήθηκε (μαύρη γραμμή),
2. Τι προέβλεπαν τα μοντέλα όταν λαμβάνουν υπόψη και ανθρωπογενείς και φυσικούς παράγοντες (καφέ),

3. Τι προέβλεπαν τα μοντέλα μόνο με φυσικούς παράγοντες, όπως η ηλιακή ακτινοβολία και οι ηφαιστειακές εκρήξεις (γαλάζιο).

Επιπλέον, όταν συμπεριληφθεί η ανθρώπινη επίδραση στα μοντέλα (όπως εκπομπές αερίων θερμοκηπίου), η προσομοίωση συμφωνεί με την πραγματική παρατηρούμενη αύξηση θερμοκρασίας. Η έντονη άνοδος της θερμοκρασίας οφείλεται ξεκάθαρα στην ανθρώπινη δραστηριότητα (εκπομπές από εργοστάσια, αυτοκίνητα κ.λπ.) και είναι ο κύριος λόγος για την κλιματική αλλαγή.

Πολλά είναι τα προβλήματα που προκαλούνται από την άνοδο της θερμοκρασίας που αποτελούν απειλή για την ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια (Bayeh & Alemayehu, 2019) ενώ παράλληλα επηρεάζεται και η γεωργική παραγωγή θέτοντας σε κίνδυνο των εφοδιασμό τροφίμων παγκοσμίως, απαιτώντας άμεσα παγκόσμια κινητοποίηση ([Svendsen, 2020](#)).

1.2 Ο ρόλος της τεχνολογίας στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής

Όπως προαναφέρθηκε προηγουμένως, η κλιματική αλλαγή ήδη προκαλεί προβλήματα σε διάφορους τομείς σε παγκόσμιο επίπεδο. Για την αντιμετώπισή της, η τεχνολογία παίζει καθοριστικό ρόλο, προσφέροντας εργαλεία για την παρακολούθηση των κλιματικών αλλαγών, τη διαχείριση των φυσικών καταστροφών και την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων για την προστασία του περιβάλλοντος τόσο μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου όσο και μέσω της προσαρμογής στις ήδη αναπόφευκτες αλλαγές.

Η χρήση της τεχνολογία μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη παρακολούθηση και τη διαχείριση των φυσικών καταστροφών. Φυσικά φαινόμενα, όπως οι σεισμοί, οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες, κ.α. μπορούν να έχουν καταστροφικές συνέπειες για τις κοινωνίες και τις οικονομίες. Συνεπώς, η κατανόηση, η παρακολούθηση, η πρόβλεψη και η αποτελεσματική διαχείριση αυτών των καταστροφών μέσω των κατάλληλων προηγμένων τεχνολογιών μπορούν να αποτρέψουν εκτεταμένες και σοβαρές επιπτώσεις στην κοινωνία, την οικονομία και το περιβάλλον.

Οι τεχνολογίες GIS (Geographic Information Systems) ή Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) και AI (Artificial Intelligence) ή Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) αποτελούν

πολύτιμα εργαλεία για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, προσφέροντας δυνατότητες για παρακολούθηση, ανάλυση και ανάπτυξη στρατηγικών μετριασμού όπως μέσω των δορυφορικών συστημάτων για τη παρακολούθηση της εξέλιξης των καιρικών φαινομένων και των δασικών πυρκαγιών, αισθητήρες IoT και τεχνικές επεξεργασίας μεγάλων δεδομένων (Big Data) επιτρέπουν τη συνεχή συλλογή και ανάλυση περιβαλλοντικών δεδομένων τα οποία μετά την συλλογή τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και για τη βελτίωση της διαχείρισης των καταστροφών. Επιπλέον, η τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση των συνεπειών των φυσικών καταστροφών μέσω της χρήσης drones για την αξιολόγηση των ζημιών και για την παροχή βοήθειας στους πληγέντες.

Ειδικότερα, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) επιτρέπουν την οπτικοποίηση και ανάλυση χωρικών δεδομένων, διευκολύνοντας τη μελέτη των αλλαγών των θερμοκρασιών, στα επίπεδα των υδάτων και στη χρήση γης. Για παράδειγμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία χαρτών που δείχνουν τις πιθανές επιπτώσεις καταστροφών που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, όπως πλημμύρες, τυφώνες και δασικές πυρκαγιές ([O'Donohue, 2023](#)).

Επιπλέον, η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) ενισχύει τη δυνατότητα ανάλυσης των δεδομένων, προσφέροντας ακριβέστερες προβλέψεις σχετικά με ακραία καιρικά φαινόμενα και κλιματικές μεταβολές. Χρησιμοποιώντας τεχνικές μηχανικής μάθησης (machine learning), οι επιστήμονες μπορούν να εντοπίσουν μοτίβα και να προβλέψουν με μεγαλύτερη ακρίβεια μελλοντικές περιβαλλοντικές αλλαγές, επιτρέποντας έτσι καλύτερη προετοιμασία και αντίδραση.

1.3 Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Στόχος της εργασίας είναι η ανάλυση και παρουσίαση του ρόλου της τεχνητής νοημοσύνης (TN) και των γεωγραφικών συστημάτων πληροφορικής (ΓΣΠ) ως εργαλεία για την παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής και την εφαρμογή καινοτόμων λύσεων στη διαχείριση φυσικών καταστροφών. Επίσης, δίνεται έμφαση στην σημασία της συνεχούς παρακολούθησης της κλιματικής αλλαγής, ως κρίσιμο παράγοντα για την προστασία του περιβάλλοντος και την αποτροπή σοβαρών κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων.

Στην εργασία αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο οι τεχνολογίες TN και ΓΣΠ μπορούν να συμβάλουν στην ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων περιβαλλοντικών δεδομένων, μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης και χωρικών αναλύσεων, με στόχο την ακριβή πρόβλεψη και παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής. Επιπρόσθετα, παρουσιάζονται παραδείγματα καινοτόμων λύσεων που έχουν αναπτυχθεί για την πρόληψη και διαχείριση φυσικών καταστροφών, όπως πλημμύρες, πυρκαγιές και τυφώνες, με τη χρήση TN και ΓΣΠ, επισημαίνοντας τη μείωση των ζημιών σε κοινωνικό, οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Επιπλέον, γίνεται αναφορά γιατί η συνεχής παρακολούθηση των περιβαλλοντικών μεταβολών είναι ουσιώδης για την πρόληψη και αντιμετώπιση των αρνητικών συνεπειών της κλιματικής αλλαγής, μέσω έγκαιρης λήψης μέτρων και στοχευμένων πολιτικών προστασίας του περιβάλλοντος. Τέλος, πώς η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών μπορεί να συμβάλει στη διαμόρφωση στρατηγικών που προωθούν τη βιώσιμη διαχείριση των φυσικών πόρων και την αποτροπή μαζικών καταστροφών, ενισχύοντας παράλληλα την κοινωνική και οικονομική ανθεκτικότητα.

1.4 Δομή Εργασίας

Η δομή της παρούσας εργασίας αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η κλιματική αλλαγή ως μια παγκόσμια πρόκληση και ταυτόχρονα δίνεται έμφαση στο ρόλο της τεχνολογίας όσον αφορά την κατανόηση και αντιμετώπιση της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται το θεωρητικό πλαίσιο, το οποίο περιλαμβάνει την ανάλυση των βασικών εννοιών της Τεχνητής Νοημοσύνης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Γίνεται αναφορά στις κατηγορίες και στα ιστορικά ορόσημα που συνδέονται με τις δύο αυτές τεχνολογίες, καθώς και στον τρόπο με τον οποίο μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά, επιτρέποντας την αξιοποίηση μεγάλων όγκων περιβαλλοντικών δεδομένων. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα αίτια και συνέπειες της κλιματικής αλλαγής.

Το τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην κλιματική αλλαγή και τις φυσικές καταστροφές. Εξετάζονται τα αίτια και οι συνέπειες του φαινομένου, με έμφαση στις δασικές πυρκαγιές, τις πλημμύρες και τα ακραία καιρικά φαινόμενα από μελέτες που έχουν γίνει στην Ελλάδα και στο εξωτερικό. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στη συμβολή των τεχνολογιών Τεχνητής Νοημοσύνης και ΓΣΠ στην κατανόηση, την πρόληψη και τη διαχείριση τέτοιων φαινομένων σε συνδυασμό με την χρήση ΓΣΠ.

Τέλος, στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας. Συνοψίζονται τα βασικά ευρήματα, αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα και τα κοινά μεταξύ των διάφορων μελετών που παρουσιάστηκαν όσον αφορά την ενσωμάτωση της ΤΝ και των ΓΣΠ στη μελέτη της κλιματικής κρίσης.

2.1 Τεχνητή νοημοσύνη

2.1.1 Νοημοσύνη

Τι είναι νοημοσύνη;

Πριν λίγα χρόνια όταν γινόταν συζήτηση περί νοημοσύνης, η πρώτη σκέψη ήταν πόσο έξυπνος είναι κάποιος άνθρωπος και κυρίως πόσο εύκολα και γρήγορα μπορεί να επεξεργαστεί πολλές ή λίγες πληροφορίες, είτε νέες είτε παλιές, σε σύντομο χρονικό διάστημα. Υπάρχει ποσοτικοποιημένη μορφή της νοημοσύνης αλλά ακόμη και αυτό δεν αποτελεί εξ ολοκλήρου απόλυτη απόδειξη την νοημοσύνης καθώς υπάρχουν και άλλες πτυχές της που είναι πιο περίπλοκο να μετρηθούν.

Στην βασική δομή της, η νοημοσύνη αναφέρεται στην ικανότητα απόκτησης, επεξεργασίας και εφαρμογής της γνώσης για την επίλυση προβλημάτων, την προσαρμογή στο περιβάλλον και την επίτευξη στόχων (Sternberg, 2020). Διαφορετικά είδη και βαθμοί νοημοσύνης εμφανίζονται στους ανθρώπους, σε πολλά ζώα και σε ορισμένες μηχανές. Είναι πολύπλευρη και αμφισβητούμενη έννοια που έχει εξελιχθεί μέσα από διεπιστημονικές συζητήσεις.

Το IQ (Intelligence Quotient) είναι τυποποιημένος τρόπος που χρησιμοποιείται ιστορικά για την ποσοτικοποίηση των ανθρώπινων γνωστικών ικανοτήτων. Στις αρχές του 20ου αιώνα, επινοήθηκε από τον Alfred Binet για να εντοπίσει τους μαθητές που χρειάζονταν εκπαιδευτική υποστήριξη. Τα τεστ IQ μετρούν δεξιότητες όπως ο λογικός συλλογισμός, η επίλυση προβλημάτων, η μνήμη και η αναγνώριση προτύπων (Nisbett et al., 2012).

Το IQ συσχετίζεται με την ακαδημαϊκή και επαγγελματική επιτυχία, αλλά είναι αμφιλεγόμενο ως ολιστικό μέτρο της νοημοσύνης. Κάποιοι υποστηρίζουν ότι δίνει έμφαση στις πρακτικές δεξιότητες, ενώ παραμελεί τη δημιουργικότητα, τη συναισθηματική νοημοσύνη και την πρακτική επίλυση προβλημάτων (Sternberg, 2020). Η θεωρία των πολλαπλών νοημοσυνών του ψυχολόγου Howard Gardner (1983) αμφισβητεί τη στενή εστίαση του IQ, προτείνοντας ποικίλες μορφές νοημοσύνης (π.χ. μουσική, διαπροσωπική) που οι τυποποιημένες δοκιμασίες αδυνατούν να συλλάβουν, δηλαδή η νοημοσύνη δεν είναι μονοδιάστατη, αλλά περιλαμβάνει διακριτούς τρόπους, συμπεριλαμβανομένων των λογικομαθηματικών, γλωσσικών, χωρικών και διαπροσωπικών δεξιοτήτων.

Ουσιαστικά, ενώ ο δείκτης νοημοσύνης αντικατοπτρίζει συγκεκριμένες γνωστικές ικανότητες, δεν περικλείει το σύνολο της ανθρώπινης νοημοσύνης, η οποία περιλαμβάνει την προσαρμοστικότητα, τη μάθηση και την ηθική συλλογιστική (Gottfredson, 1997). Πλέον ο όρος "νοημοσύνη" επεκτείνεται και στις μηχανές. Η τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται στην ικανότητα των μηχανών να μιμούνται ανθρώπινες γνωστικές λειτουργίες, όπως η λήψη αποφάσεων και η πρόβλεψη μελλοντικών καταστάσεων ([Τι είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη; | AI σε Επιχείρηση, no date](#))

Συνοπτικά, νοημοσύνη μπορεί περίπου να περιγραφεί, αλλά δεν μπορεί να αποδοθεί πλήρως ([Legg and Hutter, 2007](#)), όμως για να δοθεί μια περιγραφή, η νοημοσύνη είναι μια σύνθετη λειτουργία που καθορίζει την ικανότητα ενός οργανισμού να επιβιώνει, να μαθαίνει και να προσαρμόζεται στο περιβάλλον του μέσω της ικανότητας μάθησης από προηγούμενες εμπειρίες και εφαρμογής αυτών των γνώσεων σε νέες καταστάσεις. Επίσης, η δυνατότητα να βρίσκει κανείς λύσεις σε σύνθετα προβλήματα ή να προσαρμόζεται σε νέες συνθήκες.

2.1.2 Ορισμός Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) / Artificial Intelligence (AI)

Στο τομέα της τεχνητής νοημοσύνης (TN), ο ορισμός της νοημοσύνης μεταβάλλεται από βιολογικά και ψυχολογικά πλαίσια στα υπολογιστικά συστήματα που μπορούν να μιμηθούν γνωστικές λειτουργίες. Ο John McCarthy, πρωτοπόρος της τεχνητής νοημοσύνης, την όρισε ως «την επιστήμη και τη μηχανική της κατασκευής ευφύων μηχανών, ιδίως ευφύων προγραμμάτων υπολογιστών» ([McCarthy, 2007](#)). Η κατανόηση της νοημοσύνης είναι ζωτικής σημασίας για την αποσαφήνιση της ανθρώπινης φύσης και για την πρόοδο τεχνητών συστημάτων που μπορούν να επιδείξουν έξυπνη συμπεριφορά σε διάφορους τομείς.

Ωστόσο, η νοημοσύνη συνήθως συνεπάγεται έναν πράκτορα που ασχολείται σε ένα περιβάλλον για την επιδίωξη στόχων, τονίζοντας τη σημασία της μάθησης, της προσαρμογής και της ευελιξίας στην αντιμετώπιση ενός ευρέος φάσματος δυνατοτήτων ([Legg and Hutter, 2005](#)).

Τεχνητή νοημοσύνη (TN) είναι η ικανότητα μιας μηχανής ή ενός υπολογιστικού συστήματος να προσομοιώνει και να εκτελεί εργασίες που κανονικά απαιτούν ανθρώπινη νοημοσύνη, όπως η λογική σκέψη, η μάθηση και η επίλυση προβλημάτων (Bartneck et al., 2021). Η τεχνητή

νοημοσύνη βασίζεται στη χρήση αλγορίθμων και τεχνολογιών μηχανικής μάθησης για να δώσει στις μηχανές τη δυνατότητα να ασκούν συγκεκριμένες γνωστικές ικανότητες και να εκτελούν αυτόνομα ή ημιαυτόνομα εργασίες ([Morandín-Ahuerma, 2022](#)).

Ωστόσο, είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι η νοημοσύνη σε μια μηχανή μπορεί να εκδηλώνεται με διαφορετικό τρόπο από την ανθρώπινη νοημοσύνη και μπορεί να υπάρχουν διαφορές στον τρόπο μέτρησης και αξιολόγησης της TN (Stadlmann&Zehetner, 2021).

Η τεχνητή νοημοσύνη βασίζεται στη χρήση αλγορίθμων και τεχνολογιών μηχανικής μάθησης για να δώσει στις μηχανές τη δυνατότητα να συμπεριφέρονται σαν να έχουν ορισμένες γνωστικές δεξιότητες και να εκτελούν εργασίες από μόνες τους ή με κάποια βοήθεια. Σε αντίθεση με την ανθρώπινη νοημοσύνη, η TN δεν έχει συνείδηση ή αυτογνωσία, αλλά υπερέχει στην αναγνώριση προτύπων, στην επεξεργασία δεδομένων και στην εκτέλεση προκαθορισμένων εργασιών με ταχύτητα και ακρίβεια.

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) είναι ένας κλάδος της επιστήμης των υπολογιστών που στοχεύει στην προσομοίωση και επέκταση της ανθρώπινης νοημοσύνης μέσω μηχανών και υπολογιστικών συστημάτων ([Jean-Claude, 2022](#)). Περιλαμβάνει διάφορα υποπεδία, όπως η μηχανική μάθηση, η βαθιά μάθηση και η επεξεργασία φυσικής γλώσσας. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μαθαίνουν από δεδομένα και εμπειρίες, επιτρέποντας στις μηχανές να βελτιώνουν τις επιδόσεις τους με την πάροδο του χρόνου (Morandín-Ahuerma, 2022).

2.1.3 Ιστορικά ορόσημα της Τεχνητής Νοημοσύνης

Ένα από τα γνωστότερα πλέον ορόσημα που αφορούν την TN είναι το τεστ Turing με δημιουργό τον Alan Turing όπου δημοσίευσε το 1950 μία από τις σημαντικότερες εργασίες, όπου έθεσε «Μπορούν οι μηχανές να εκφράσουν σκέψη;» Αντί να ασχολείται άμεσα με την έννοια της γνώσης, ο Τούρινγκ πρότεινε το παιχνίδι μίμησης, στο οποίο ένας άνθρωπος ανακριτής αλληλεπιδρά τόσο με μια μηχανή όσο και με έναν ανθρώπινο συνομιλητή χωρίς να έχει γνώση για το ποια οντότητα είναι ποια. Ο στόχος είναι η μηχανή να παράγει απαντήσεις που δεν διακρίνονται από αυτές που προκαλούνται από έναν ανθρώπινο συμμετέχοντα. Παρόλο τις αποδοκιμασίες που αντιμετώπισε η έρευνα, η δοκιμή Turing έχει γίνει μια θεμελιώδης ιδέα στις συζητήσεις για την τεχνητή νοημοσύνη, προκαλώντας συνεχείς

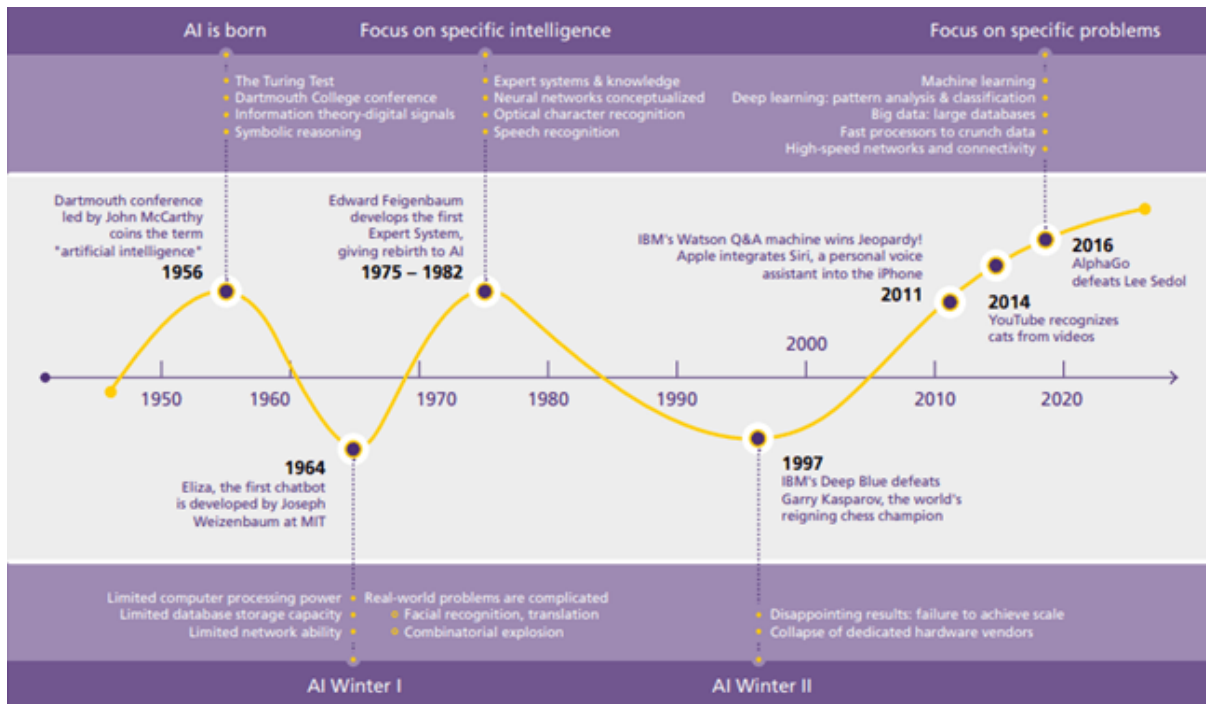
συζητήσεις σχετικά με τη φύση της νοημοσύνης και τις δυνατότητες των μηχανών ([Delgado De Molina Rius, 2023](#)).

Η απαρχή της τεχνητή νοημοσύνη (TN) αναγνωρίζεται επίσημα ότι εγκαινιάστηκε κατά τη διάρκεια του συνεδρίου του Ντάρτμουθ το 1956. Η ονομασία «τεχνητή νοημοσύνη» επινοήθηκε από τον John McCarthy και το συνέδριο προσπάθησε να διερευνήσει την υπόθεση ότι κάθε πτυχή της μάθησης ή οποιοδήποτε χαρακτηριστικό της νοημοσύνης μπορεί να διατυπωθεί με τρόπο που οι μηχανές να μπορούν να αναπαράγουν ([Cordeschi, 2007](#)).

Το έτος 1964, ο Joseph Weizenbaum σχεδίασε το ELIZA, το οποίο αποτελεί ένα από τα πρωτοποριακά προγράμματα στον τομέα της επεξεργασίας φυσικής γλώσσας (NLP). Το ELIZA χρησιμοποιούσε αναγνώριση προτύπων και προκαθορισμένες απαντήσεις για να κατασκευάσει προσομοίωση μιας συνομιλίας ενώ κατέδειξε την ικανότητα των μηχανών να συμμετέχουν σε διάλογο παρόμοιο με αυτόν των ανθρώπων. Έτσι ξεκίνησαν θεμελιώδεις έρευνες στο πεδίο της αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή και του σχεδιασμού των chatbots ([Weizenbaum, 1966](#)).

Επιπλέον, το έτος 1997, το Deep Blue της IBM αναδείχθηκε ως το πρώτο σύστημα σκακιστικού παιχνιδιού που θριάμβευσε επί του παγκόσμιου πρωταθλητή, Garry Kasparov. Το επίτευγμα αυτό αποτέλεσε μια κρίσιμη καμπή, που κατέδειξε τις δυνατότητες της τεχνητής νοημοσύνης στην αντιμετώπιση περίπλοκων σεναρίων επίλυσης προβλημάτων ([Delgado De Molina Rius, 2023](#)).

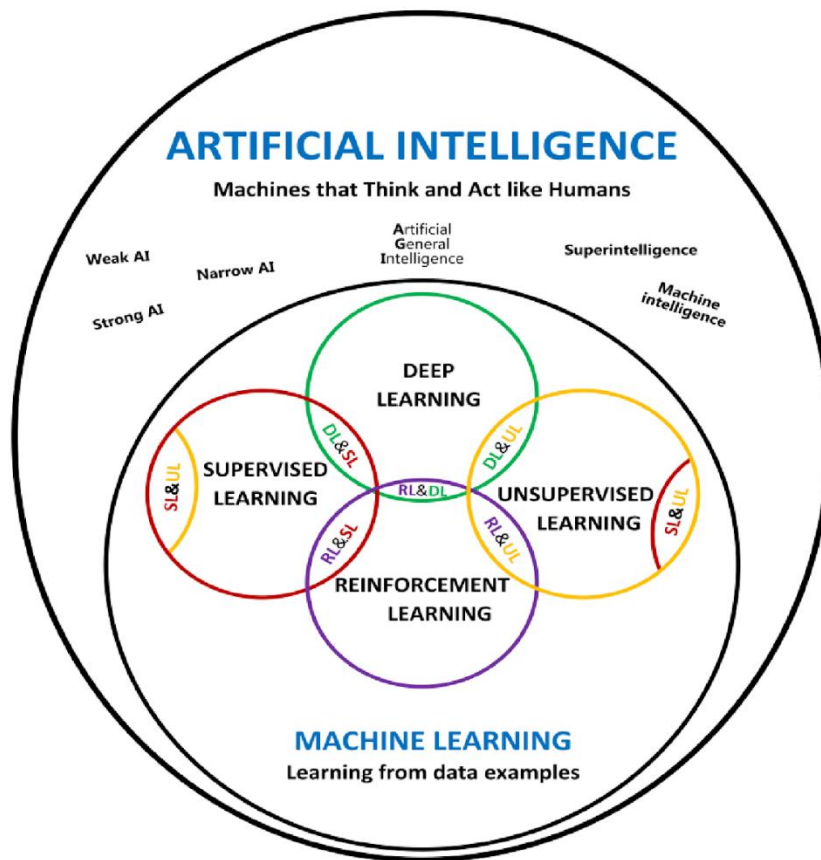
Σήμερα, η Τεχνητή Νοημοσύνη συνεχίζει να αντιμετωπίζει προκλήσεις και ευκαιρίες καθώς αναπτύσσεται και επεκτείνει τις εφαρμογές της σε διάφορους τομείς.



Εικόνα 2 Διαχρονική εξέλιξη της Τεχνητής Νοημοσύνης ΠΗΓΗ: Lavenda, D. Marsden, P.

2.1.4 Κατηγορίες Τεχνητής Νοημοσύνης

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI), η μηχανική μάθηση (ML) και η βαθιά μάθηση (DL) αντιπροσωπεύουν αλληλένδετες αλλά διακριτές έννοιες, που διαφέρουν ως προς το πεδίο εφαρμογής, τις μεθοδολογίες και τις πρακτικές εφαρμογές τους. Η τεχνητή νοημοσύνη περιλαμβάνει τον πιο εκτεταμένο ορισμό, με στόχο την επίλυση περίπλοκων προκλήσεων, μέσω των μηχανών, με τρόπο παρόμοιο με την ανθρώπινη λειτουργία, ενώ η ML αποτελεί ένα υποσύνολο της τεχνητής νοημοσύνης που δίνει έμφαση στους αλγόριθμους που επιτρέπουν στις μηχανές να αποκτήσουν γνώσεις από δεδομένα και να διατυπώνουν προβλέψεις ή αποφάσεις. Επιπλέον, το DL θεωρείται ως μέρος του ML που χρησιμοποιεί βαθιά νευρωνικά δίκτυα για την αντιμετώπιση εξελιγμένων εργασιών.



Εικόνα 3 Ο τομέας της ΤΝ και οι υποκατηγορίες της ΠΗΓΗ: Jean-Claude, K.K. (2022) <https://doi.org/10.5121/csit.2022.122314>.

Λίστα βασικότερων εννοιών Τεχνητής Νοημοσύνης:

- Τεχνητή Νοημοσύνη (ΤΝ) - Artificial Intelligence (AI)

Η Τεχνητή Νοημοσύνη αναφέρεται στη δημιουργία υπολογιστικών συστημάτων που μπορούν να εκτελούν εργασίες, να παίρνουν αποφάσεις, να μαθαίνουν, με το να μιμούνται την ανθρώπινη νοημοσύνη.

- Γενική ΤΝ - Artificial General Intelligence (AGI)

Η γενική τεχνητή νοημοσύνη αναφέρεται στην ικανότητα ενός υπολογιστικού συστήματος να αντιμετωπίζει εργασίες και προβλήματα με παρόμοιο τρόπο με τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Η AGI επιδιώκει να δημιουργήσει υπολογιστικά συστήματα που μπορούν να εφαρμόζουν γενική νοημοσύνη και να αντιμετωπίζουν ένα ευρύ φάσμα καθημερινών και πολύπλοκων εργασιών με έξυπνο τρόπο, όπως κάνει κι ο

άνθρωπος. Σκοπός της AGI είναι η δημιουργία υπολογιστικών συστημάτων που μπορούν να επιλύουν προβλήματα σε πολλούς διαφορετικούς τομείς, όχι μόνο σε ένα περιορισμένο πεδίο.

- Γεννήτρια TN - Generative AI

Πρόκειται για ένα είδος τεχνητής νοημοσύνης που αναφέρεται σε συστήματα που δημιουργούν ή παράγουν νέα περιεχόμενα, όπως εικόνες, μουσική ή κείμενα.

Χρησιμοποιεί δεδομένα εκπαίδευσης για να μάθει τα χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου είδους περιεχομένου και να τα αναπαράγει. Το βασικό της χαρακτηριστικό είναι η δημιουργία περιεχομένου που δεν υπάρχει ή δεν έχει δημιουργηθεί από ανθρώπινο χέρι. Αυτές οι τεχνολογίες χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς, όπως η δημιουργία εικόνων, η παραγωγή μουσικής ή ακόμα και η συνθετική δημιουργία κειμένων.

- Μηχανική Μάθηση (MM)-Machine Learning (ML)

Η Μηχανική Μάθηση είναι ένα υποσύνολο της Τεχνητής Νοημοσύνης που εστιάζει στη δημιουργία μηχανών που μπορούν να μαθαίνουν από δεδομένα χωρίς να χρειάζεται εξαντλητική προγραμματιστική εισαγωγή.

- Βαθιά Μάθηση - Deep Learning

Υποσύνολο της ML, η Βαθιά Μάθηση αφορά τη χρήση νευρωνικών δικτύων για την ανάλυση και την επίλυση προβλημάτων που απαιτούν υψηλό επίπεδο εκπαίδευσης ή μάθηση.

- Επιβλεπόμενη Μάθηση - Supervised Learning

Ένας τύπος Μηχανικής Μάθησης όπου τα μοντέλα είναι εκπαιδευμένα πάνω σε χαρακτηρισμένα δεδομένα. Ο στόχος είναι η εκμάθηση μιας απεικόνισης από τις εισόδους στις εξόδους.

- Μη Επιβλεπόμενη Μάθηση - Unsupervised Learning

Μέθοδος ML για την εύρεση κρυμμένων μοτίβων σε μη χαρακτηρισμένα δεδομένα, όπως η ομαδοποίηση σε τμήματα με βάση την συμπεριφορά.

- Ενυσχυτική Μάθηση - Reinforcement Learning

Μέρος της ML όπου οι πράκτορες μαθαίνουν να λαμβάνουν αποφάσεις μέσω της

αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον τους, μέσω της δοκιμής και λάθους, λαμβάνοντας ανταμοιβές/τιμωρίες (π.χ. εκπαίδευση ενός ρομπότ να περπατάει).

- Νευρωνικά δίκτυα - Neural Networks

Είναι μια δομή εμπνευσμένη από τη λειτουργία του εγκεφάλου-*Υπολογιστικά μοντέλα* - που χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύσει τις διασυνδέσεις των νευρώνων μέσω ενός δικτύου. Χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές ΤΝ, όπως η αναγνώριση προτύπων.

- Επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας Natural Language Processing (NLP)

Η επεξεργασία Φυσικής Γλώσσας εστιάζει στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-υπολογιστή μέσω ανθρώπινης γλώσσας, επιτρέποντας στις μηχανές να κατανοήσουν, να ερμηνεύσουν και να αποκρίνονται σε φυσική γλώσσα.

[*\(DESIGNMAG.gr, 2023\)*](https://designmag.gr/2023/)

2.1.4.1 Μηχανική Μάθηση (Machine Learning)

Το 1959, ο Άρθουρ Σάμουελ το όρισε τη μηχανική μάθηση ως "Πεδίο μελέτης που δίνει στους υπολογιστές την ικανότητα να μαθαίνουν, χωρίς να έχουν αυστηρά προγραμματιστεί" και εδώ υπάρχει η ειδοποιός διαφορά από την παραδοσιακή προσέγγιση προγραμματισμού, όπου οι προγραμματιστές καθορίζουν με σαφήνεια κάθε βήμα που πρέπει να ακολουθήσει ο υπολογιστής. Αντίθετα, στη μηχανική μάθηση, οι αλγόριθμοι μαθαίνουν από τα δεδομένα και βελτιώνονται με την εμπειρία και προσαρμόζονται με την πάροδο του χρόνου (Samuel, 1959).

Η ML είναι ένας βασικός πυλώνας της ΤΝ, που επιτρέπει στους υπολογιστές να αποκτούν νοημοσύνη αναλύοντας και κατανοώντας δεδομένα. Ενώ η ΤΝ περιλαμβάνει την ευρύτερη έννοια της προσομοίωσης της ανθρώπινης νοημοσύνης, η ML παρέχει τα εργαλεία και τις τεχνικές για την επίτευξη αυτού του στόχου. Οι αλγόριθμοι της ML, μέσω της μάθησης από τα δεδομένα, δίνουν τη δυνατότητα στα συστήματα ΤΝ να προσαρμόζονται και να βελτιώνουν την απόδοσή τους με την πάροδο του χρόνου. Περιλαμβάνουν τρία βασικά στοιχεία: **δεδομένα, μοντέλα και εκπαίδευση** [*\(Cui and Hung, 2025\)*](#):

- Τα δεδομένα χρησιμεύουν ως βάση για τους αλγορίθμους ML.

Μπορούν να έρθουν σε διάφορες μορφές, συμπεριλαμβανομένων δομημένων δεδομένων (οργανωμένων σε προκαθορισμένη μορφή, όπως πίνακες) και μη δομημένων δεδομένων (μη οργανωμένων σε προκαθορισμένη μορφή, όπως κείμενο, εικόνες ή ήχος). Τα υψηλής ποιότητας και ποικίλα δεδομένα είναι απαραίτητα για την αποτελεσματική εκπαίδευση των μοντέλων ML.

- Τα **μοντέλα** ML χρησιμεύουν ως το πλαίσιο μέσω του οποίου ο αλγόριθμος μαθαίνει και γενικεύει τις γνώσεις του για να κάνει προβλέψεις σε νέα δεδομένα.

Τα μοντέλα ML είναι μαθηματικές αναπαραστάσεις που αποτυπώνουν τα μοτίβα και τις σχέσεις εντός των δεδομένων. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να λάβουν διάφορες μορφές, όπως δέντρα αποφάσεων (Myles et al., 2004- Song & Lu, 2015), μηχανές διανυσμάτων υποστήριξης (Hearst et al., 1998- Steinwart & Christmann, 2008) ή νευρωνικά δίκτυα (Choi et al., 2020: Mehlig, 2021). Κάθε μοντέλο έχει τα δυνατά και τα αδύνατα σημεία του και η επιλογή του μοντέλου εξαρτάται από το συγκεκριμένο πρόβλημα και τα χαρακτηριστικά των δεδομένων.

- **Εκπαίδευση** είναι η διαδικασία με την οποία ένας αλγόριθμος ML μαθαίνει από τα παρεχόμενα δεδομένα για τη δημιουργία ενός μοντέλου.

Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης, ο αλγόριθμος προσαρμόζει επαναληπτικά τις παραμέτρους του μοντέλου ώστε να ελαχιστοποιήσει τη διαφορά μεταξύ των προβλέψεών του και των πραγματικών αποτελεσμάτων στα δεδομένα εκπαίδευσης. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τεχνικές όπως αλγόριθμους βελτιστοποίησης (Chong et al., 2023; Sun al., 2019), συναρτήσεις απώλειας (Wang et al., 2020) και backpropagation (στην περίπτωση των νευρωνικών δικτύων) (Hecht-Nielsen, 1992) ([Cui and Hung, 2025](#)).

Οι τεχνικές μηχανικής μάθησης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- μάθηση **με** επίβλεψη,
- μάθηση **χωρίς** επίβλεψη και
- ενισχυτική μάθηση.

Η μάθηση **με επίβλεψη** περιλαμβάνει την εκπαίδευση ενός μοντέλου σε κατηγοριοποιημένα δεδομένα για να κάνει προβλέψεις ή να ταξινομήσει νέα, μη κατηγοριοποιημένα δεδομένα. Υπάρχουν δύο τύποι εργασιών μάθησης με επίβλεψη: η **ταξινόμηση** όπου οι αλγόριθμοι ταξινόμησης κατηγοριοποιούν τα δεδομένα σε προκαθορισμένες κλάσεις, επιτρέποντας την

ακριβή λήψη αποφάσεων και η **παλινδρόμηση** όπου οι αλγόριθμοι παλινδρόμησης εκτιμούν αριθμητικές τιμές, διευκολύνοντας τις προβλέψεις ([Cui and Hung, 2025](#)).

Η **μάθηση χωρίς επίβλεψη** ασχολείται με την εύρεση προτύπων ή δομών σε μη κατηγοριοποιημένα δεδομένα. Ο αλγόριθμος εξερευνά τα δεδομένα από μόνος του για να ανακαλύψει εγγενή μοτίβα, σχέσεις ή ομαδοποιήσεις χωρίς ρητή καθοδήγηση. Η μάθηση χωρίς επίβλεψη είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμα παραδείγματα με ετικέτες και μπορεί να προσφέρει πολύτιμες γνώσεις και κατανόηση πολύπλοκων συνόλων δεδομένων. Τρεις τυπικές εργασίες μάθησης χωρίς επίβλεψη είναι η **ομαδοποίηση, η μείωση διαστάσεων και η ανίχνευση ανωμαλιών**. Η ομαδοποίηση είναι μία από τις πρωταρχικές εργασίες στη μάθηση χωρίς επίβλεψη. Περιλαμβάνει την ομαδοποίηση παρόμοιων σημείων δεδομένων με βάση τις εγγενείς ομοιότητές τους ή την εγγύτητά τους (Xu & Wunsch, 2005). Η μάθηση χωρίς επίβλεψη μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ανωμαλιών, η οποία περιλαμβάνει τον εντοπισμό σπάνιων ή ασυνήθιστων προτύπων στα δεδομένα ([Cui and Hung, 2025](#)).

Η **ενισχυτική μάθηση** περιλαμβάνει την εκπαίδευση ενός πράκτορα ώστε να αλληλεπιδρά με ένα περιβάλλον και να μαθαίνει μέσω δοκιμής και σφάλματος μεγιστοποιώντας τις ανταμοιβές. Χρησιμοποιεί μια προσέγγιση δοκιμής και λάθους, όπου ο πράκτορας μαθαίνει από την ανατροφοδότηση με τη μορφή ανταμοιβών ή τιμωριών που λαμβάνει μετά από κάθε ενέργεια που πραγματοποιεί ([Cui and Hung, 2025](#)).

2.1.4.2 Βαθιά Μάθηση (Deep Learning)

Η DL είναι υποκατηγορία της ML που χρησιμοποιεί ειδικά βαθιά νευρωνικά δίκτυα για σύνθετες εργασίες. Η τεχνητή νοημοσύνη, και ειδικότερα οι μέθοδοι βαθιάς μάθησης, αποτελούν τεχνικές ικανές να αξιολογούν και να διαχειρίζονται μεγάλες ποσότητες δεδομένων. Η βαθιά μάθηση έχει σημειώσει εντυπωσιακή πρόοδο τα τελευταία χρόνια, ξεπερνώντας τις ανθρώπινες ικανότητες σε τομείς όπως η αναγνώριση, ο εντοπισμός και η μετάφραση ([Mohan and M.V.S.S, 2022](#)). Η DL επικεντρώνεται στην εκπαίδευση τεχνητών νευρωνικών δικτύων (ANN), εμπνευσμένων από τη δομή και τη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου. Οι αλγόριθμοι DL αποτελούνται από διασυνδεδεμένα στρώματα κόμβων, που ονομάζονται

νευρώνες. Κάθε νευρώνας επεξεργάζεται εισόδους τις μεταβιβάζει στο επόμενο επίπεδο, επιτρέποντας στο δίκτυο να μάθει ιεραρχικές αναπαραστάσεις των δεδομένων. Το DL υπερέχει στην επεξεργασία και την εξαγωγή χαρακτηριστικών από μεγάλες ποσότητες ακατέργαστων δεδομένων, όπως εικόνες. Τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα, συμπεριλαμβανομένων των συνελκτικών νευρωνικών δικτύων (CNNs) και των επαναλαμβανόμενων νευρωνικών δικτύων (RNNs), έχουν επιτύχει αξιοσημείωτη επιτυχία σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της όρασης υπολογιστών, της NLP -αποτελεί μια αξιοσημείωτη εφαρμογή - η επεξεργασία φυσικής γλώσσας (NLP), που επιτρέπει σε μηχανές να αποκωδικοποιούν ανθρώπινη ομιλία ή κείμενο και εργαλεία όπως το Google Assistant και η Siri ενσαρκώνουν αυτήν τη δυνατότητα για να απαντούν σε ερωτήσεις, να παρέχουν πληροφορίες και να εκτελούν εργασίες με βάση φωνητικές εντολές και της αναγνώρισης ομιλίας ([Cui and Hung, 2025](#)).

2.2. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ)

2.2.1. Ορισμός Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορικής

Πολλά ζητήματα που απασχολούν την καθημερινότητα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, βασίζονται σε γεωγραφικές πληροφορίες δηλαδή η γνώση το που βρίσκεται ή συμβαίνει κάτι. Η γνώση της τοποθεσίας δηλαδή της γεωγραφικής θέσης είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς μπορεί να επηρεάσει τις αποφάσεις που λαμβάνονται και αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό των δραστηριοτήτων, των στρατηγικών και των σχεδιασμών.

Η ανάγκη του ανθρώπου για συστηματική καταγραφή και ταξινόμηση των ιδιαίτερων στοιχείων της γήινης επιφάνειας, καθώς και η αναγκαιότητα διάθεσης ειδικών πληροφοριών που αφορούσαν στη γήινη επιφάνεια, ήταν οι αιτίες που οδήγησαν στην κατασκευή των πρώτων χαρτών, που απετέλεσαν την πρόιμη μορφή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) (Χαλκιάς, 2006).

Όσον αφορά τα GIS ένας ορισμός που δίνει έμφαση κυρίως στον σκοπό είναι ο εξής: *είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιεί τους υπολογιστές για την επίλυση γεωγραφικών προβλημάτων* ή θα μπορούσε επίσης να ειπωθεί πώς *τα GIS είναι εργαλεία που αποκαλύπτουν αόρατες πτυχές των γεωγραφικών πληροφοριών* αλλά και άλλοι ορισμοί είναι αποδεκτοί καθώς υπάρχει ευρεία χρήση των GIS καθώς υπάρχει πληθώρα χρηστών που τα χρησιμοποιούν (Longley et al., 2005).

Σύμφωνα με τον ορισμό του Burrough (1986), ΓΣΠ καλείται ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάκτηση, μετατροπή και εμφάνιση χωρικών δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο.

Η πλέον γνωστότερη εταιρεία και παγκόσμιος ηγέτης της αγοράς στο λογισμικό των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS), αναφέρει τα GIS ως «Η τεχνολογία χαρτογράφησης και ανάλυσης δεδομένων που ενισχύει τις επιχειρηματικές αποφάσεις, υποστηρίζει τις κυβερνητικές λειτουργίες και αλλάζει αθόρυβα τον κόσμο.» (ESRI, 2025).

Ένας άλλος ορισμός «Σύστημα Γεωγραφικών πληροφοριών είναι μια οργανωμένη συλλογή μηχανολογικού εξοπλισμού, λογισμικού, χωρικών και περιγραφικών δεδομένων με στόχο τη συλλογή, αποθήκευση, ενημέρωση διαχείριση, ανάλυση και παρουσίαση κάθε μορφής πληροφορίας που αφορά το γεωγραφικό περιβάλλον» (Ζήσου, 2007).

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) αποτελούν σύγχρονα τεχνολογικά εργαλεία που επιτρέπουν τη συλλογή, διαχείριση, ανάλυση και οπτικοποίηση γεωχωρικών δεδομένων. Σύμφωνα με τους Longley et al. (2015), τα ΓΣΠ είναι «ένα σύστημα που έχει σχεδιαστεί για τη λήψη, αποθήκευση, χειρισμό, ανάλυση, διαχείριση και παρουσίαση όλων των τύπων γεωγραφικών δεδομένων». Μέσω αυτών, οι χρήστες μπορούν να ενσωματώνουν διαφορετικά σύνολα δεδομένων, να τα αναλύουν χωρικά και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σε διάφορους τομείς.

Η επιστήμη της Γεωπληροφορικής (Geoinformatics), είναι η επιστήμη η οποία αξιοποιεί τη γεωγραφική πληροφορία και τις σύγχρονες τεχνολογίες που αναπτύσσει ο τομέας της πληροφορικής, έτσι ώστε να συγκεντρώσει, να αποθηκεύσει, να ενημερώσει, να διαχειριστεί, να επεξεργαστεί, να αναλύσει, να οπτικοποιήσει και να παρουσιάσει προτάσεις σε προβλήματα που αφορούν τις επιστήμες του χώρου και συναφών κλάδων» (Τζωρτζάκης, 2016).

Ακόμη, τα ΣΠΠ είναι πληροφοριακά συστήματα με δυνατότητες συλλογής, διαχείρισης, αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης των δεδομένων που σχετίζονται με το χώρο. Αυτά τα δεδομένα είναι κατά βάση γεωγραφικά ή χωρικά και σχετίζονται με περιγραφικά δεδομένα τα οποία χαρακτηρίζονται μοναδικά ([Yuan, 2008](#)).

Διαθέτοντας όλα αυτά τα σημαντικά και έξυπνα εργαλεία διαχείρισης χωρικών και περιγραφικών δεδομένων, ταυτόχρονα με τον φιλικό προς τον χρήστη σχεδιασμό τους, η Γεωπληροφορική παρέχει ποιοτικές λύσεις σε χωρικά προβλήματα, με τρόπο τάχιστο, κατανοητό και εύκολα προσβάσιμο από το ευρύ κοινό (Τζωρτζάκης, 2016).

Τέλος, το σύστημα GIS χρησιμοποιεί χάρτες σε ψηφιακή μορφή, οι οποίοι είναι δυναμικοί και αλληλεπιδραστικοί. Παράλληλα, αυτοί οι χάρτες συνδέονται με άλλα δεδομένα αλλά και με γραφήματα, βάσεις δεδομένων και πολυμέσα.

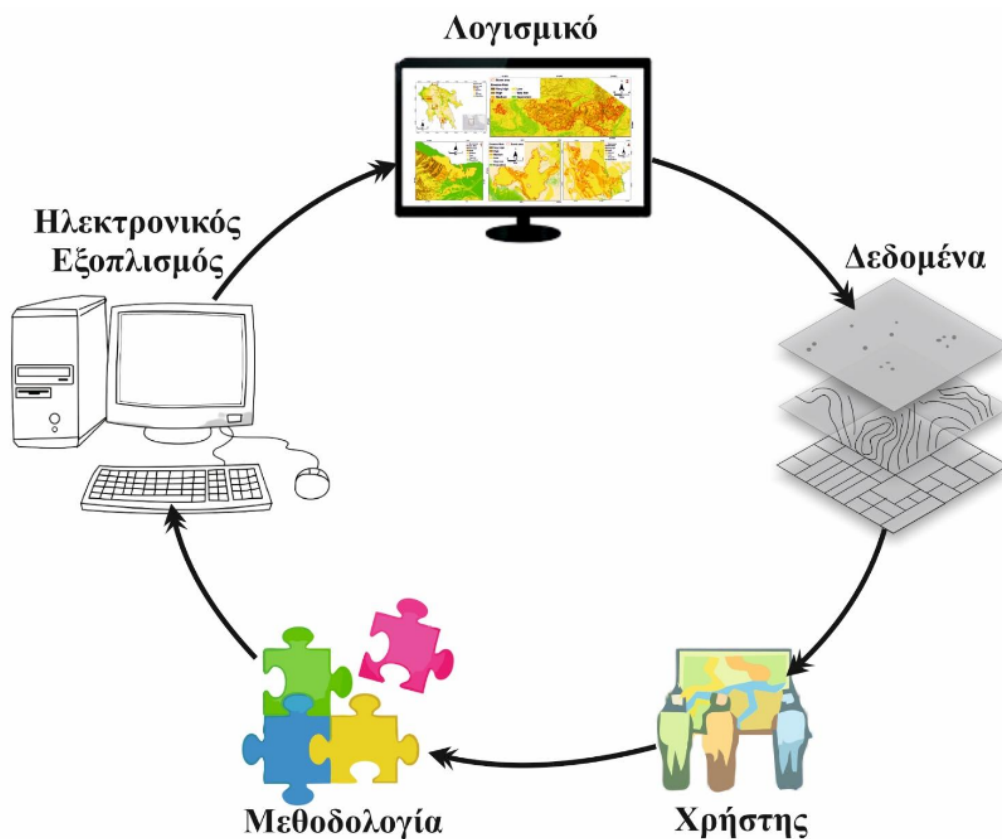
Γενικότερα, ένα G.I.S. εμπεριέχει τους όρους (Μανιάτης, 1996):

- Γεωγραφία: τόσο η χρήση του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών, καθώς και τα δεδομένα που διαχειρίζεται, έχουν άμεση σύνδεση με τη γεωγραφία και συνδέονται μέσω κάποιου συστήματος συντεταγμένων με συγκεκριμένες θέσεις στη γη.
- Σύστημα: αποτελεί ένα περιβάλλον εργασίας μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να διαχειρίζεται, να αναλύει και να παρουσιάζει τα περιγραφικά και τα γεωγραφικά δεδομένα.

- Πληροφορία: το σύστημα αποτελεί ένα λογισμικό διαχείρισης γεωγραφικών και περιγραφικών πληροφοριών.

2.2.2 Συστατικά Μέρη & Οφέλη ΓΣΠ

Τα συστατικά μέρη είναι ενός ΓΣΠ αποτελούν: το υλικό δηλαδή ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός, το λογισμικό, τα δεδομένα, ο χρήστης και το διαδίκτυο. Τα συστατικά μέρη πρέπει να έχουν ομαλή λειτουργία μεταξύ τους ώστε να υπάρχουν τα βέλτιστα επιθυμητά αποτελέσματα.



Εικόνα 4 Συστατικά μέρη ενός ΣΓΠ (τροποποίηση από Ευελπίδου κ.α., 2022)

Σύμφωνα με τους Ευελπίδου, Τζουξανιώτη & Καρκάνη (2023):

- Ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός περιλαμβάνει έναν υπολογιστή ικανό να υποστηρίξει λογισμικά και να διαχειρίζεται μεγάλους όγκους δεδομένων. Διαθέτει σύστημα

απεικόνισης ώστε να γίνεται η προβολή έγχρωμων γραφικών υψηλής ανάλυσης και κειμένου. Επιπλέον, περιλαμβάνει αποθηκευτικό σύστημα μεγάλης χωρητικότητας, όπως σκληρούς ή οπτικούς δίσκους, καθώς και σύστημα εισαγωγής δεδομένων. Τέλος, περιλαμβάνει εξοπλισμό για την εκτύπωση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων, όπως εκτυπωτές και σχεδιαστές.

- Το **λογισμικό** πρέπει να προσφέρει ένα εκτεταμένο σύνολο λειτουργιών. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να υποστηρίζει τη διαδικασία ψηφιοποίησης καθώς και την αποθήκευση πληροφοριών, συμπεριλαμβανομένης της διαχείρισης πολλαπλών χαρακτηριστικών ανά οντότητα και του συσχετισμού αριθμητικών και γραφικών δεδομένων. Παράλληλα, το λογισμικό πρέπει να προσφέρει δυνατότητες επεξεργασίας, όπως τον εντοπισμό σφαλμάτων, τη συνδυαστική διαχείριση δεδομένων και την οργάνωσή τους στη βάση δεδομένων. Επιπλέον, να είναι δυνατή η εξαγωγή δεδομένων σε μορφές κατάλληλες για εκτυπωτές, σχεδιαστές ή ψηφιακή χρήση. Τέλος, εκτός από τις προαναφερθείσες λειτουργίες, κάθε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ) θα πρέπει να διαθέτει εργαλεία για την επεξεργασία και ανάλυση δορυφορικών δεδομένων.
- Τα **δεδομένα** αποτελούν το βασικό πυλώνα του συστήματος. Η μέθοδος εισαγωγής και η επιλογή τους εξαρτώνται από τον τύπο των διαθέσιμων δεδομένων. Ανάλογα με τη φύση και το περιεχόμενό τους, ταξινομούνται σε δύο βασικές κατηγορίες: χωρικά και μη χωρικά δεδομένα.
- Ο πλέον σημαντικός παράγοντας, δουλεύοντας με ένα ΓΣΠ, είναι ο **χειριστής** αυτού, καθώς πρέπει να έχει τη γνώση και την εμπειρία ώστε να αξιολογήσει την πληροφορία που διατίθεται και να αποφασίσει το είδος, το μέγεθος, τον τρόπο συλλογής, όπως επίσης και τον τρόπο καταχώρισής της. Επιπλέον, στις αρμοδιότητές του περιλαμβάνεται η επιλογή των εργαλείων και της μεθοδολογίας που θα χρησιμοποιηθεί.
- Πλέον, το διαδίκτυο αποτελεί σημαντικό μέρος της λειτουργίας καθώς υπάρχει άμεση ανάγκη για επικοινωνία μεταξύ των ατόμων όσο και η κοινή χρήση δεδομένων και η ανταλλαγή πληροφοριών. Επίσης δίνεται η δυνατότητα της πρόσβασης, προβολής και επεξεργασίας Σ.Γ.Π. μέσω απομακρυσμένης σύνδεσης (Longley, et al., 2010).

Σύμφωνα με τον Obermeyer (2005), η υιοθέτηση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) προσφέρει πολλαπλά οικονομικά και λειτουργικά οφέλη, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα των οργανισμών και αυξάνοντας τα έσοδα τους με :

- **Μείωση κόστους:** Τα GIS συμβάλλουν στη μείωση των λειτουργικών εξόδων το οποίο σημαίνει τη μείωση των λειτουργικών δαπανών ενός οργανισμού καθώς οι εργαζόμενοι εκτελούν τις εργασίες τους πιο αποτελεσματικά, εξοικονομώντας χρόνο και πόρους καθώς μέτρηση της μείωσης του κόστους συνδέεται με την εξοικονόμηση χρόνου από τα μέλη του προσωπικού. Επιπλέον, αποτρέπουν την ανάγκη πρόσληψης επιπλέον προσωπικού συνεπάγοντας την αύξηση των εξόδων. Ένας άλλος παράγοντας που συμβάλλει στη μείωση του κόστους αποτελεί και η βελτιωμένη παραγωγικότητα. Η αυξημένη παραγωγικότητα των μελών του προσωπικού αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για τη μέτρηση της μείωσης του κόστους. Καθώς οι εργαζόμενοι γίνονται πιο αποτελεσματικοί στους ρόλους τους λόγω των δυνατοτήτων που παρέχονται από τα ΓΣΠ, ο οργανισμός βιώνει μείωση των πόρων που απαιτούνται για την επίτευξη των ίδιων ή καλύτερων αποτελεσμάτων. Η σωρευτική επίδραση αυτών των εξοικονομήσεων χρόνου και των βελτιώσεων της παραγωγικότητας οδηγεί σε σημαντική μείωση των συνολικών λειτουργικών δαπανών. Συνοπτικά, η μείωση του κόστους στα ΓΣΠ μετράται μέσω της αξιολόγησης της εξοικονόμησης χρόνου και της βελτιωμένης παραγωγικότητας, οι οποίες οδηγούν συλλογικά σε μειωμένες λειτουργικές δαπάνες για τους οργανισμούς
- **Αύξηση εσόδων:** Η αξιοποίηση των GIS μπορεί να οδηγήσει σε νέα έσοδα μέσω της πώλησης γεωγραφικών δεδομένων και χαρτών, της βελτιστοποίησης των φορολογικών εισπράξεων και της ενίσχυσης των αιτήσεων για χρηματοδοτήσεις, χάρη στην ακριβέστερη και πιο έγκαιρη παροχή πληροφοριών.
- **Βελτίωση αποδοτικότητας:** Τα GIS επιτρέπουν τη δημιουργία πιο λεπτομερών και ποικίλων πληροφοριακών προϊόντων, αυξάνοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα των οργανισμών. Παράλληλα, η δυνατότητα ανάλυσης και συνδυασμού δεδομένων με νέους τρόπους επιτρέπει την ανάπτυξη καινοτόμων υπηρεσιών που μπορούν να αξιοποιηθούν εμπορικά.
- **Καλύτερη λήψη αποφάσεων:** Παρόλο που η ποσοτικοποίηση της αξίας της βελτιωμένης λήψης αποφάσεων είναι δύσκολη, τα GIS προσφέρουν ακριβέστερες

πληροφορίες και ταχύτερη ανάλυση δεδομένων, οδηγώντας σε πιο αποτελεσματικές στρατηγικές και βελτιωμένα αποτελέσματα.

Συνολικά, τα GIS συμβάλλουν στη μείωση του κόστους, στην αύξηση των εσόδων και στην ενίσχυση της αποδοτικότητας, αναδεικνύοντας τη σημασία τους στη σύγχρονη διαχείριση δεδομένων και τη στρατηγική λήψη αποφάσεων.

2.3. Σύνδεση TN και ΓΣΠ

2.3.1. Συνεργασία TN και ΓΣΠ για την ανάλυση περιβαλλοντικών δεδομένων

Σε παγκόσμια κλίμακα, η κλιματική αλλαγή και οι φυσικές καταστροφές αποτελούν δύο από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η ανθρωπότητα. Παρ'όλα αυτά, χάρις τη βοήθεια των νέων τεχνολογιών η αντιμετώπιση τους μπορεί να γίνει πιο αποτελεσματικά. Η Τεχνητή Νοημοσύνη (TN) και τα Γεωπληροφοριακά Συστήματα (ΓΣΠ) είναι δύο εργαλεία που μπορούν να προσφέρουν καινοτόμες λύσεις για την παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής, τη διαχείριση των φυσικών καταστροφών και την προστασία του περιβάλλοντος.

Από τη μια μεριά, η TN μπορεί να επεξεργάζεται τεράστιες ποσότητες δεδομένων και να εντοπίζει μοτίβα που δεν είναι εύκολα αντιληπτά από τον άνθρωπο, ενώ τα ΓΣΠ επιτρέπουν τη χωρική ανάλυση και την οπτικοποίηση δεδομένων σε χάρτες. Ο συνδυασμός τους προσφέρει καινοτόμες λύσεις για την προστασία του περιβάλλοντος και τη διαχείριση φυσικών καταστροφών και γενικότερα βοηθούν στην αντιμετώπιση πολύπλοκων περιβαλλοντικών ζητημάτων καθώς ο τρόπος με τον οποίο παρακολουθούνται έχει αλλάξει καθοριστικά λόγω της ενσωμάτωσης των προαναφερμένων τεχνολογιών.

Για παράδειγμα, η τηλεπισκόπηση αποτελεί μια τεχνολογία που επηρεάζει ποικιλότροπα τις επιστήμες περιβάλλοντος και την ανάπτυξη. Οι ερευνητές μέσω της χρήσης δορυφόρων, αεροσκαφών ή μη επανδρωμένων αεροσκαφών, μπορούν να συλλέξουν δεδομένα από μεγάλες αποστάσεις και με αυτό το τρόπο γίνεται εύκολα η συνεχή παρακολούθηση των περιβαλλοντικών αλλαγών, όπως η μεταβολή της χρήσης γης και οι κλιματικές μεταβολές, προσφέροντας κρίσιμες πληροφορίες για την κατανόηση της κατάστασης του πλανήτη, αλλά και για τη λήψη αποφάσεων που αφορούν τη βιωσιμότητα ([C. Sudha et al., 2024](#))

Όσον αφορά τη τεχνητή νοημοσύνη που χρησιμοποιείται για την αυτόματη ανάλυση των τεράστιων όγκων δεδομένων που συλλέγονται από τα ΓΣΠ και συνδυαστικά με τα GIS, βοηθά στην ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων, βελτιώνοντας την περιβαλλοντική παρακολούθηση με την αναγνώριση μοτίβων και την πραγματοποίηση προβλέψεων χρησιμοποιώντας αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, όπως ο εντοπισμός παράνομης υλοτομίας ή η πρόβλεψη πυρκαγιών με τη χρήση δορυφορικών εικόνων. Συνδυάζοντας αυτές τις τεχνολογίες, μπορούμε να δημιουργήσουμε ένα σύστημα που είναι πιο δυναμικό και ανταποκρίνεται. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να προσαρμόζεται γρήγορα στις νέες πληροφορίες και να παρέχει έγκαιρες πληροφορίες.

Επιπλέον, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) βοηθούν στην περιβαλλοντική ανάλυση συνδυάζοντας διάφορες πηγές δεδομένων σε μια εκτεταμένη χωρική βάση δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων στοιχείων από ερευνών πεδίου, δορυφορικών φωτογραφιών και δημογραφικών πληροφοριών, βοηθώντας στη λήψη αποφάσεων μέσω της χαρτογράφησης και την ανάλυση των περιβαλλοντικών δεδομένων που καθίστανται εφικτό από τα ΓΣΠ για έργα όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ο αστικός σχεδιασμός ([C. Sudha et al., 2024](#))

Ένα άλλο παράδειγμα είναι πώς η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τη βιοποικιλότητα, σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες γίνονται αντιληπτές οι αλλαγές στις χρήσεις γης, με τη μηχανική μάθηση για να προβλέψουμε τις μελλοντικές αλλαγές και τα ΓΣΠ για να χαρτογραφήσουμε αυτές τις αλλαγές, μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα πώς να προστατεύσουμε τα απειλούμενα είδη και τα ενδιαυτήματά τους.

Συνοψίζοντας, η ενσωμάτωση της τηλεπισκόπησης, της τεχνητής νοημοσύνης και των ΓΣΠ δημιουργεί ένα ισχυρό εργαλείο για την περιβαλλοντική παρακολούθηση. Μέσω της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων γρήγορα, επιτρέποντάς την αποτελεσματική ανταπόκριση στις αλλαγές στο περιβάλλον. Η συγχώνευση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) με το Deep Learning (DL) έχει αποδείξει τη σημαντική χρησιμότητά της, ειδικά στους τομείς της τρισδιάστατης μοντελοποίησης, της παραγωγής χαρτών και της βελτιστοποίησης διαδρομών. Όταν τα δεδομένα τηλεπισκόπησης ενσωματώνονται παράλληλα με διάφορες γεωγραφικές παραμέτρους που οργανώνονται στο πλαίσιο ενός GIS, η αναλυτική ικανότητα του συστήματος αυξάνεται σημαντικά χάρη σε αυτή την ενσωμάτωση, συμπεριλαμβανομένης της κατηγοριοποίησης εικόνων τηλεπισκόπησης (RS) και της ανάλυσης δεδομένων

χαρακτηριστικών και η συγχώνευση μιας βάσης δεδομένων GIS με ισχυρές αρχιτεκτονικές DL θα διευκολύνει την χαρτογράφηση του περιβάλλοντος και την αναγνώριση και ανίχνευση αντικειμένων σε μια ολοκληρωμένη βάση δεδομένων (Mohan and M.V.S.S, 2022).

2.4 Κλιματική Αλλαγή και Φυσικές Καταστροφές

2.4.1 Αίτια και συνέπειες της κλιματικής αλλαγής

2.4.1.1 Αίτια

Με τη πάροδο των χρόνων, η κλιματική αλλαγή έχει αποτελέσει ζήτημα έντονης συζήτησης και αντιπαράθεσεων καθώς δεν αποτελεί μόνο ένα θέμα επιστημονικής μελέτης αλλά και πολιτικής και γεωπολιτικής διότι μπορεί να επηρεάσει και να διαμορφώσει ακόμη και πολιτικές ολόκληρων κρατών και χωρών. Δεν αποτελεί ένα τοπικό πρόβλημα αλλά παγκόσμιο και απαιτείται παγκόσμια συνεργασία για να αντιμετωπιστεί αλλά ο τρόπος που κάθε χώρα μπορεί να ανταποκριθεί είναι διαφορετικός από μέρος σε μέρος. Η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκαλεί την υπερθέρμανση του πλανήτη δεν μένει σε μία χώρα, αλλά εξαπλώνεται σε όλο τον κόσμο. Συνεπώς, καμία χώρα δεν μπορεί να το αντιμετωπίσει μόνη της και χρειάζεται συνεργασία (π.χ. Συμφωνία του Παρισιού για το Κλίμα).

Ενώ το φαινόμενο είναι παγκοσμίως αναγνωρισμένο, οι επιπτώσεις της παρουσιάζουν σημαντική γεωγραφική μεταβλητότητα. Για παράδειγμα, μια νησιωτική περιοχή μπορεί να αντιμετωπίσει προκλήσεις που σχετίζονται με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, ενώ μια βόρεια χώρα θα μπορούσε να βιώσει συγκριτικά πιο ήπιους χειμώνες από αυτούς που καταγράφηκαν τα προηγούμενα χρόνια. Η κλιματική αλλαγή είναι ένα παγκόσμιο ζήτημα όμως οι λύσεις και οι επιπτώσεις κατανέμονται δυσανάλογα καθώς και η αντιμετώπιση της δεν είναι ίση από όλες τις χώρες λόγω οικονομικών παραγόντων. Συνοπτικά, το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής έχει παγκόσμιο χαρακτήρα, ωστόσο οι αντιδράσεις και οι επιπτώσεις είναι σημαντικά άνισες. Συνεπώς αποτελεί ανάγκη τόσο η διεθνής συνεργασία όσο και οι δίκαιες λύσεις που όχι μόνο αναγνωρίζουν τις αποκλίσεις μεταξύ των χωρών, αλλά και εντοπίζουν όλες τις αιτίες για την αποφυγή καταστροφικών αποτελεσμάτων ([Bosnjakovic, 2012](#)).

Αιτία της κλιματικής αλλαγής αναφέρεται στο γεγονός ότι έχει ως κύριο παράγοντα τις αλλαγές των ατμοσφαιρικών συνθηκών όπως της θερμοκρασία που γίνονται σε βάθος πολλών

ετών (δεκαετιών ή αιώνων ή και παραπάνω). Η διερεύνηση των παραγόντων της αστάθειας του κλίματος των τελευταίων ετών, είναι περίπλοκη καθώς και η εκτίμηση της χωρικής κατανομής των επιπτώσεων, λόγω των μεγάλων βαθμών ελευθερίας του συστήματος. Η επάρκεια υδάτινων πόρων, η διαθεσιμότητα καλλιεργήσιμων εκτάσεων (ερημοποίηση), η τρωτότητα των υποδομών και στην ποσότητα και ποιότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελούν εμφανή αποτελέσματα της χωρικής διάστασης των επιπτώσεων ([Κατσαφάδος and Πληθάρας, 2010](#)).

Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel for Climate Change-IPCC) οι μεταβολές του κλίματος οφείλονται κυρίως στην αύξηση της συγκέντρωσης των θερμοκηπιακών αερίων διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου στην ατμόσφαιρα.

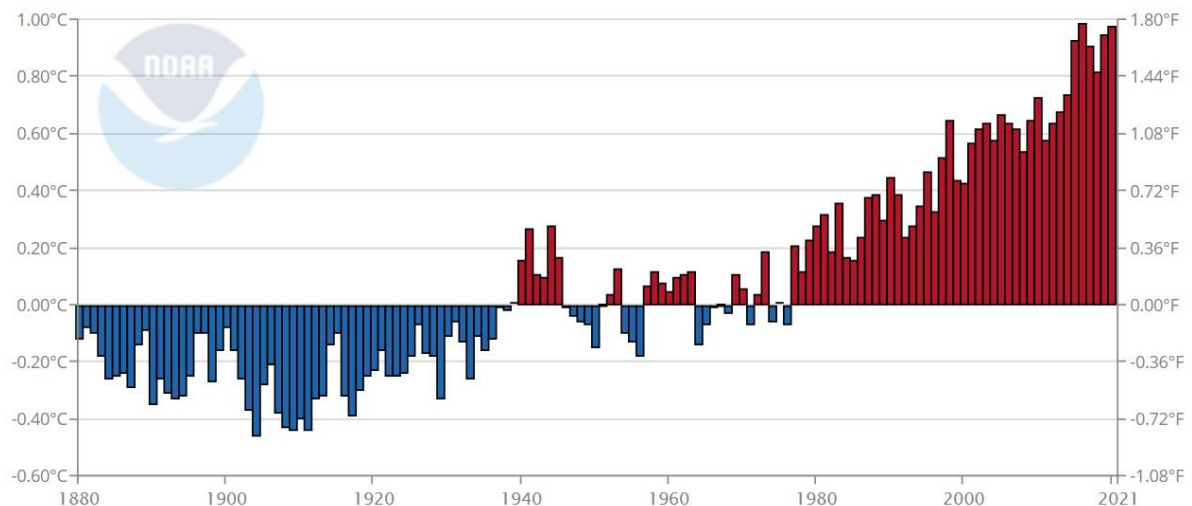
Το κλίμα του πλανήτη μεταβάλλεται από φυσικά αίτια, ανθρωπογενή αίτια και από την εσωτερική κλιματική μεταβλητότητα, δηλαδή τις αλλαγές του κλίματος χωρίς την παρουσία των παραπάνω αιτιών. Αρκεί μόνο ένας παράγοντας ώστε να αποσταθεροποιηθεί ένα μη γραμμικό δυναμικό σύστημα όπως το κλιματικό. Το θερμοκρασιακό σήμα δεν αποτελεί την αιτία αλλά την απόκριση του συστήματος στη μεταβολή του ενεργειακού ισοζυγίου που έχει προέλθει από την αλλαγή στη σύσταση της ατμόσφαιρας (ενισχυμένο φαινόμενο θερμοκηπίου) ([Κατσαφάδος and Πληθάρας, 2010](#)). Η αύξηση της συγκέντρωσης των θερμοκηπιακών αερίων στην ατμόσφαιρα, όπως του CO₂ και του CH₄, επιφέρει αύξηση της απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας και τελικά θέρμανση των κατώτερων ατμοσφαιρικών στρωμάτων ([Κατσαφάδος and Πληθάρας, 2010](#)).

Οι αλλαγές του ενεργειακού ισοζυγίου της ατμόσφαιρας δεν προέρχεται μόνο από την αλλαγή στη σύσταση της ατμόσφαιρας. Οι μεταβολές στις χρήσεις γης που προκαλούνται από την εντατική καλλιέργεια, την υλοτομία, τις δασικές πυρκαγιές και την επέκταση των πόλεων αποτελούν για την IPCC παράγοντες ανάλογης επίδρασης στην κλιματική αλλαγή.

Το βασικό συμπέρασμα από τους περισσότερους επιστήμονες είναι ότι ο άνθρωπος παρεμβαίνει στο κλιματικό σύστημα του πλανήτη λόγω της διοχέτευσης στην ατμόσφαιρα τεράστιων ποσοτήτων αερίων θερμοκηπίου ([Κατσαφάδος and Πληθάρας, 2010](#)).

Τα προαναφερόμενα γίνονται ολοένα και περισσότερο αντιληπτά με την πληθώρα δεδομένων, στοιχείων και μελετών που διεξάγονται παγκοσμίως. Το παρακάτω γράφημα αποδεικνύει τα αποτελέσματα των αλλαγών της θερμοκρασίας.

Global Land and Ocean
January–December Temperature Anomalies



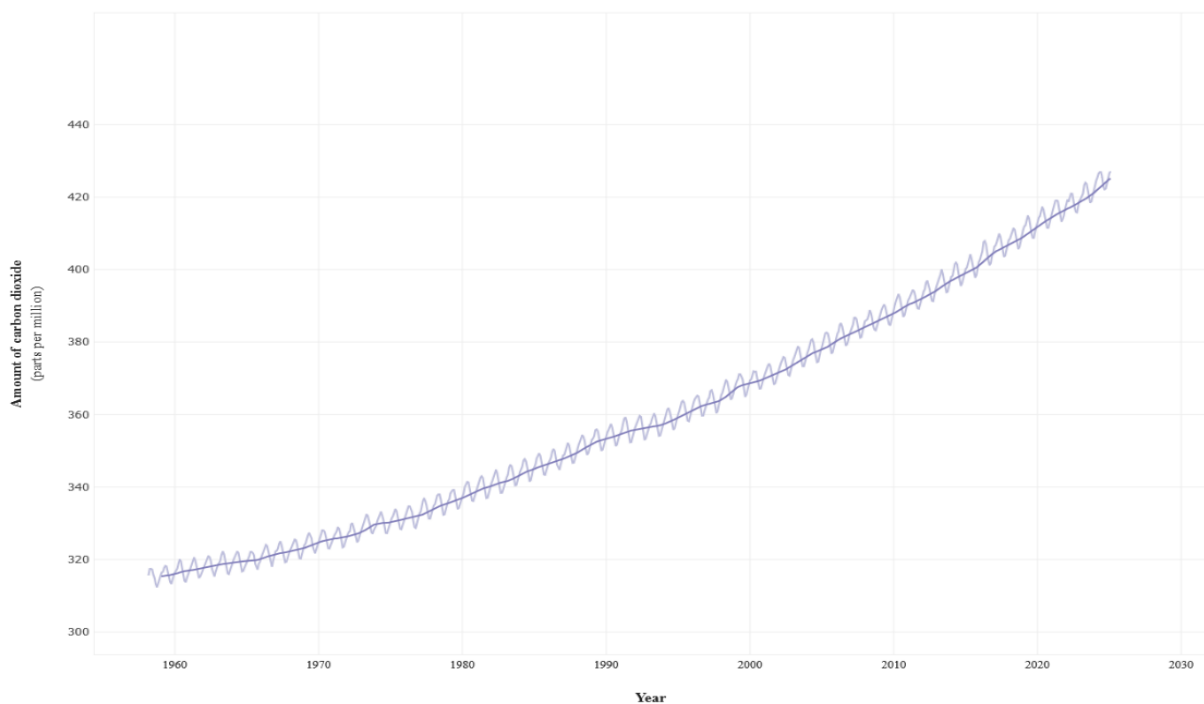
Εικόνα 5 Παγκόσμιες ανωμαλίες θερμοκρασίας σε ξηρά και ωκεανό – χρονική περίοδος 1880-2021 (Ιανουάριος -Δεκέμβριος). Τα δεδομένα βασίζονται σε αποκλίσεις από τη μέση θερμοκρασία της περιόδου αναφοράς. ΠΗΓΗ: NOAA, (National Centers for Environmental Information) <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/global-temperature-anomalies>

Το γράφημα από NOAA, με δεδομένα θερμοκρασίας που προέρχονται από χειροκίνητους και αυτοματοποιημένους μετεωρολογικούς σταθμούς, παρουσιάζει τις ετήσιες ανωμαλίες θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης και των ωκεανών σε παγκόσμια κλίμακα, όσο **ψηλότερη ή χαμηλότερη** ήταν η μέση θερμοκρασία ενός έτους από το 1880 έως το 2022, σε σύγκριση με το μέσο όρο του 20ου αιώνα, δηλαδή αναφέρονται στη διαφορά κάθε έτους από τον μέσο όρο της θερμοκρασίας της περιόδου βάσης. Την περίοδο των ετών **1880-1930**, οι περισσότερες μπάρες είναι μπλε – δηλαδή ψυχρότερα έτη από τον μέσο όρο. Μεταξύ των ετών **1930-1970**, υπήρχαν μικρές διακυμάνσεις, με μερικά έτη πιο ζεστά και άλλα πιο ψυχρά. Μετά το **1980** υπάρχει σαφής τάση αύξησης της θερμοκρασίας. Οι μπάρες είναι μόνο κόκκινες, και μάλιστα όλο και ψηλότερες, ειδικά από τη δεκαετία του 2000 και μετά.

Τα τελευταία χρόνια **2010-2021**, καταγράφονται οι υψηλότερες θετικές ανωμαλίες – δηλαδή τα πιο ζεστά έτη (με την πιο πρόσφατη δεκαετία να είναι η θερμότερη που έχει καταγραφεί ποτέ)

Συνοπτικά, παρατηρείται σαφής τάση αύξησης της μέσης θερμοκρασίας μετά τη δεκαετία του 1980, η οποία κορυφώνεται τις τελευταίες δεκαετίες, υποδεικνύοντας την ένταση του φαινομένου της παγκόσμιας υπερθέρμανσης. Η θερμοκρασιακή αυτή μεταβολή επηρεάζει έντονα το κλίμα, τα οικοσυστήματα και τη συχνότητα φυσικών καταστροφών.

ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE



Εικόνα 6 Συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα από 1958 - 2021, με βάση μετρήσεις από τον σταθμό Mauna Loa στη Χαβάη. ΠΗΓΗ: NOAA Global Monitoring Laboratory (2022) <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>

Το παραπάνω γράφημα παρουσιάζει την εξέλιξη της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα από το 1958 έως 2022. Το CO₂ είναι ένα από τα βασικότερα αέρια του θερμοκηπίου και η συγκέντρωσή του αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους δείκτες της ανθρώπινης επίδρασης στο κλίμα. Όπως φαίνεται, η συγκέντρωση CO₂ αυξάνεται σταθερά, από περίπου 315 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) το 1958, καταγράφοντας τη ραγδαία αύξησή

του κατά την εποχή της βιομηχανικής ανάπτυξης, σε πάνω από 420 ppm σήμερα. Οι περιοδικές διακυμάνσεις οφείλονται σε εποχιακές μεταβολές της απορρόφησης CO₂ από τη βλάστηση, ωστόσο η συνολική τάση είναι καθαρά αυξητική. Η εξέλιξη αυτή αποτελεί απόδειξη της εντατικοποίησης των ανθρωπογενών εκπομπών και σχετίζεται άμεσα με την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας.

Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω σημαντικό να σημειωθεί είναι πως το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας είναι σήμερα κατά 50% υψηλότερο από ό,τι ήταν πριν από τη Βιομηχανική Επανάσταση και ο ετήσιος ρυθμός αύξησης του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα τα τελευταία 60 χρόνια είναι περίπου 100 φορές ταχύτερος από προηγούμενες φυσικές αυξήσεις, όπως αυτές που σημειώθηκαν στο τέλος της τελευταίας εποχής των παγετώνων πριν από 11.000-17.000 χρόνια. Επιπλέον, ο ωκεανός έχει απορροφήσει αρκετό διοξείδιο του άνθρακα με αποτέλεσμα να μειώσει το pH του κατά 0,1 μονάδες, το οποίο σημαίνει 30% αύξηση της οξύτητας ([Lindsey, 2024](#)). Τα παραπάνω προκύπτουν επειδή οι ετήσιες εκπομπές από την καύση ορυκτών καυσίμων αυξάνονται κάθε δεκαετία, από σχεδόν 11 δισεκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα ετησίως τη δεκαετία του 1960 σε περίπου 36,6 δισεκατομμύρια τόνους το 2023, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Προϋπολογισμό Άνθρακα 2023 και επειδή διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα από ό,τι μπορούν να απομακρύνουν οι φυσικές καταβόθρες, η συνολική ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα αυξάνεται κάθε χρόνο. Όσο υπερβαίνεται αυτό που μπορούν να απομακρύνουν οι φυσικές διεργασίες σε ένα δεδομένο έτος, τόσο πιο γρήγορα αυξάνεται η ατμοσφαιρική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες ενισχύουν το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, προκαλώντας αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας με τη προσθήκη περισσότερου διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

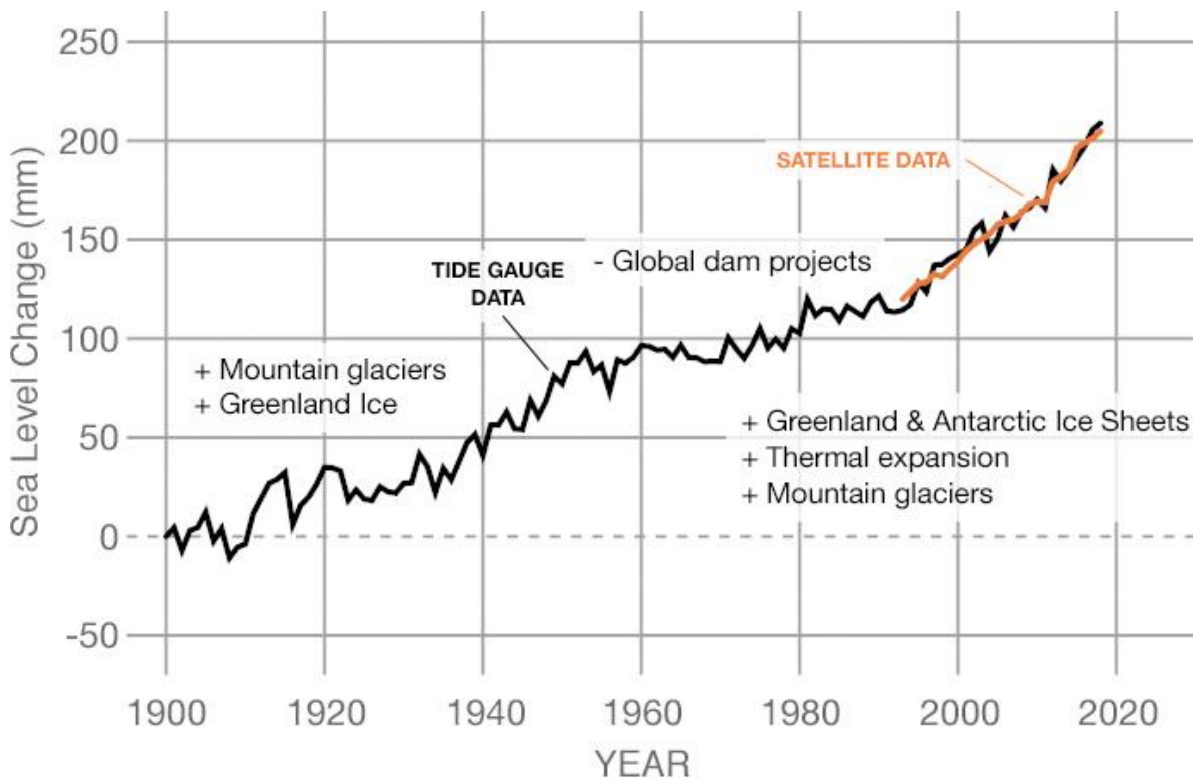
Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις του Εργαστηρίου Παγκόσμιας Παρακολούθησης της NOAA, το 2021 το διοξείδιο του άνθρακα και μόνο ήταν υπεύθυνο για τα 2/3 περίπου της συνολικής θερμαντικής επίδρασης όλων των αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται από τον άνθρωπο ([Lindsey, 2024](#)).

Ένα άλλο ζήτημα που προκύπτει από τη κλιματική αλλαγή είναι οι αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας. Το παρακάτω γράφημα δείχνει τη μέση παγκόσμια στάθμη της θάλασσας με στοιχεία που προέρχονται από παράκτιους παλιρροιογράφους και δορυφορικά δεδομένα και δείχνει πόσο άλλαξε η στάθμη της θάλασσας από το 1900 περίπου έως το 2018. Υπάρχουν δύο

συντελεστές που προκαλούν την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και που σχετίζονται με την υπερθέρμανση του πλανήτη:

- το νερό που προστίθεται από το λιώσιμο των πάγων και
- των παγετώνων και η διαστολή του θαλασσινού νερού καθώς θερμαίνεται.

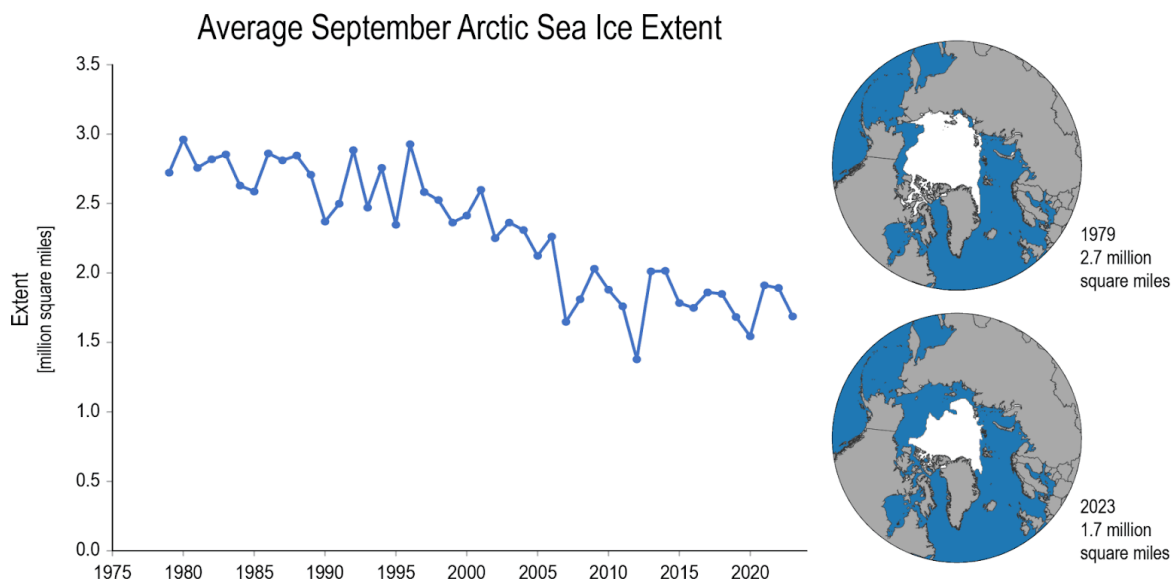
Τα στοιχεία με συν (+) είναι παράγοντες που προκαλούν αύξηση της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας (βουνά παγετώνων, παγετός Γροιλανδίας, θερμική επέκταση παγωμένα στρώματα Γροιλανδίας και Ανταρκτικής), ενώ τα μείον (-) είναι αυτά που προκαλούν μείωση της στάθμης της θάλασσας (παγκόσμια έργα φραγμάτων). Το γράφημα δείχνει ότι η στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί σημαντικά τον τελευταίο αιώνα, με την πιο πρόσφατη δεκαετία να είναι η υψηλότερη που έχει καταγραφεί ποτέ.



Εικόνα 7 Αλλαγές θαλάσσιας στάθμης (mm) Πηγή δεδομένων: Frederikse et al. (2020) NASA's Goddard Space Flight Center/PO.DAAC <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level/?intent=121>

Ο θαλάσσιος πάγος που κάποτε κάλυπτε τεράστιες εκτάσεις του ωκεανού και πλέον συρρικνώνεται δραματικά - όχι μόνο το χειμώνα, αλλά χρόνο με το χρόνο. Στην ουσία αυτό επιταχύνει την υπερθέρμανση του πλανήτη, διαταράσσει τα καιρικά φαινόμενα και αυξάνει ακόμη και τη στάθμη της θάλασσας παγκοσμίως. Το παρακάτω γράφημα δείχνει την έκταση

των θαλάσσιων πάγων της Αρκτικής από το 1979 έως το 2022. Το γράφημα δείχνει ότι η έκταση των θαλάσσιων πάγων της Αρκτικής έχει μειωθεί δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες, φτάνοντας σε χαμηλό ρεκόρ το 2022. Οι αυξήσεις στις θερμοκρασίες του αέρα και των ωκεανών μειώνουν την έκταση του θαλάσσιου πάγου- με τη σειρά της, η προκύπτουσα πιο σκοτεινή επιφάνεια των ωκεανών απορροφά περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία και αυξάνει τη θέρμανση της Αρκτικής. Η ελάχιστη έκταση του θαλάσσιου πάγου τον Σεπτέμβριο στην Αρκτική συνέχισε να μειώνεται τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες. Ορισμένες προβλέψεις υποδηλώνουν ότι η Αρκτική θα είναι σχεδόν απαλλαγμένη από πάγους τα καλοκαίρια μέχρι τα μέσα του αιώνα. Καθώς η κάλυψη των θαλάσσιων πάγων μειώνεται και η ατμόσφαιρα της Αρκτικής θερμαίνεται, τα πρότυπα των ανέμων στο βόρειο ημισφαίριο ενδέχεται να μεταβληθούν. Η απώλεια των πάγων αυξάνει τον κίνδυνο διάβρωσης κατά μήκος των ακτογραμμών και μεταβάλλει την παρουσία θαλάσσιων ειδών σε ορισμένες περιοχές, επηρεάζοντας τα εμπορικά αποθέματα ψαριών και τις οικονομίες ορισμένων παράκτιων πόλεων. Οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων μπορούν να χρησιμοποιήσουν αυτόν τον δείκτη για να κατανοήσουν το μέγεθος και τον ρυθμό της απώλειας του θαλάσσιου πάγου και να προετοιμαστούν για τις σχετικές επιπτώσεις στις ακτές και τις εμπορικές βιομηχανίες.



Εικόνα 8 Έκταση πάγου στην Αρκτική: Χρονοσειρά Σεπτεμβρίου NSIDC, 2023: Arctic Sea Ice News & Analysis: Falling up. National Snow & Ice Data Center. <https://www.globalchange.gov/indicators/arctic-sea-ice-extent>

Αυτά τα γραφήματα συγκροτούν την προσοχή, επειδή δείχνουν τις ακραίες αλλαγές που συμβαίνουν στον πλανήτη ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής και της υπερθέρμανσης του

πλανήτη. Οι αλλαγές αυτές έχουν ήδη σημαντικές επιπτώσεις στον πλανήτη και θα γίνουν ακόμη πιο σοβαρές στο μέλλον. Γι' αυτό το λόγο είναι σημαντικό να γίνει κατανοητή η επιστήμη πίσω από την κλιματική αλλαγή, ώστε να ληφθούν οι κατάλληλες και απαραίτητες αποφάσεις για τον μετριασμό των ακραίων φαινομένων και για ένα πιο βιώσιμο μέλλον μέσω νέων τεχνολογιών.

Οι επιστήμονες αρκετά χρόνια πριν προσπαθούσαν να αναδείξουν το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής αλλά τις τελευταίες δεκαετίες δίνεται έμφαση όχι μόνο από επιστήμονες που προειδοποιούσαν αλλά και από τους απλούς πολίτες που διαμαρτύρονται και έχουν πλέον επίγνωση της κατάστασης.

2.4.1.2 Συνέπειες

Εφόσον γίνουν αντιληπτά τα αίτια της κλιματικής αλλαγής επακόλουθο αυτής είναι και οι συνέπειες που επηρεάζουν πολλούς και διάφορους τομείς. Οι συνέπειες είναι πολύπλευρες και αυτές επηρεάζουν το τομέα της γεωργίας, της οικονομίας, της ανθρώπινης υγείας και την βιοποικιλότητα και το φυσικό περιβάλλον με τις συνέπειες να διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή.

Σύμφωνα με κλιματικό μοντέλο, το έτος 2080, 250.000 έως 400.000 άνθρωποι θα μπορούσαν να πληγούν από πλημμυρικά φαινόμενα και συχνότητα και η σοβαρότητα των ποτάμιων πλημμυρών προβλέπεται να αυξηθούν. Εάν το κλίμα της δεκαετίας του 2080 επικρατούσε σήμερα, η ετήσια ζημία της κλιματικής αλλαγής στην οικονομία της ΕΕ σε όρους απώλειας του ΑΕΠ εκτιμάται ότι θα κυμαινόταν μεταξύ 20 δισεκατομμυρίων ευρώ για το σενάριο των 2,5 °C και 65 δισεκατομμυρίων ευρώ για το σενάριο των 5,4 °C ([Ciscar et al., 2011](#)).

Ο γεωργικός τομέας είναι ιδιαίτερα ευάλωτος στην κλιματική αλλαγή, με αναμενόμενες πιθανές μειώσεις των αποδόσεων, ιδίως στη Νότια Ευρώπη. Οι αποδόσεις των καλλιεργειών ενδέχεται να μειωθούν έως και κατά 10%, ενώ η Βόρεια Ευρώπη ενδέχεται να επωφεληθεί από την άνοδο της θερμοκρασίας ([Ciscar et al., 2011](#)).

Από την άλλη μεριά, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας αποτελεί σημαντική απειλή για τα παράκτια συστήματα, επηρεάζοντας δυνητικά εκατομμύρια ανθρώπους και υποδομές.

Χωρίς μέτρα προσαρμογής, οι επιπτώσεις των παράκτιων πλημμυρών θα μπορούσαν να είναι σοβαρές, οδηγώντας σε σημαντικές οικονομικές απώλειες και εκτοπισμό πληθυσμών.

Τέλος, κλιματική αλλαγή αναμένεται να αυξήσει τη θνησιμότητα που σχετίζεται με τη ζέστη και την εξάπλωση ασθενειών.

Συμπερασματικά, η έγκαιρη πρόβλεψη των συνεπειών και η κατάλληλη λήψη μέτρων με τη συμβολή νέων τεχνολογιών αποτελεί επιτακτική για την αποτροπή των δυσμενέστερων σεναρίων και την προστασία της ζωής, της οικονομίας και του περιβάλλοντος.

2.4.2 Ο επηρεασμός των ατόμων από τις κλιματικές αλλαγές και η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη συχνότητα και ένταση των φυσικών καταστροφών

Επίδραση στον πληθυσμό

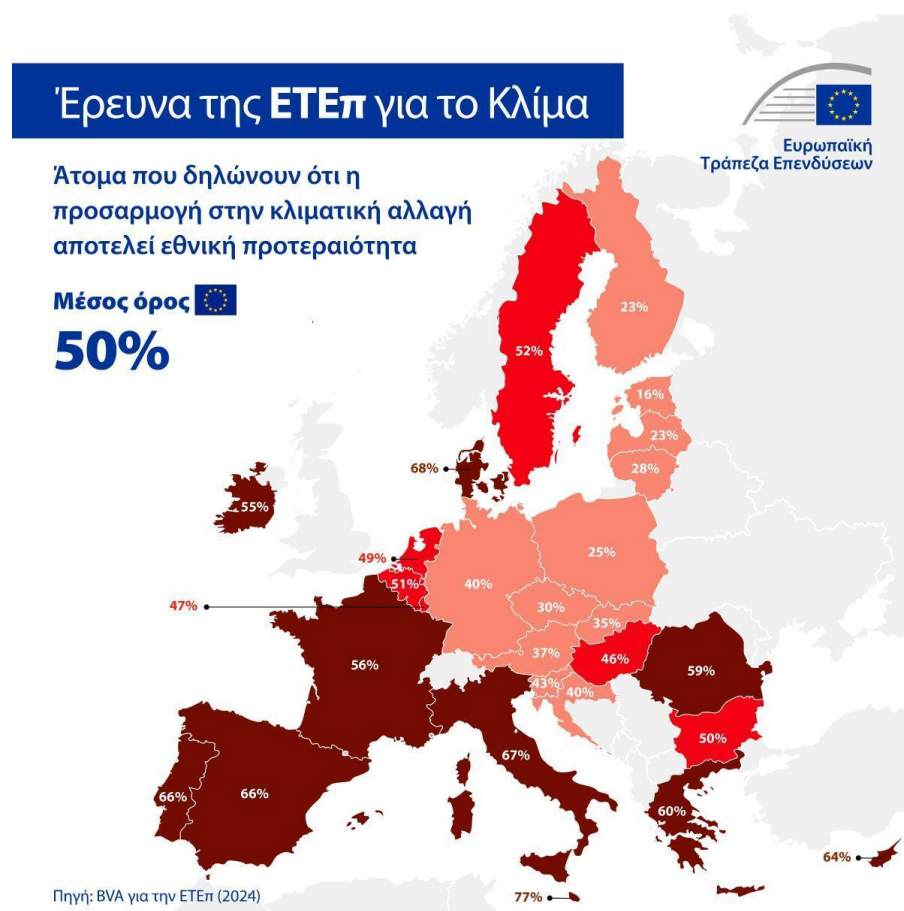
Με τα χρόνια γίνεται περισσότερο αντιληπτό πως τα έντονα καιρικά φαινόμενα όπως οι πλημμύρες, οι πυρκαγιές και οι ξηρασίες έχουν μεγαλύτερη συχνότητα και ένταση από ότι παλαιότερα και η κλιματική αλλαγή αναγνωρίζεται ως σημαντικός παράγοντας. Τα φαινόμενα αυτά συνδέονται μεταξύ τους και συχνά επιδεινώνονται από την κλιματική αλλαγή, θέτοντας σημαντικές απειλές για τα οικοσυστήματα, την ανθρώπινη υγεία και την οικονομική σταθερότητα. Κάθε κλάσμα του βαθμού αύξησης της θερμοκρασίας έχει σημασία. Με κάθε πρόσθετη αύξηση της θερμοκρασίας έστω και κλασματική, οι μεταβολές στα ακραία φαινόμενα και οι σχετικοί κίνδυνοι εντείνονται. Για παράδειγμα, κάθε πρόσθετη αύξηση κατά 0,1° C στις παγκόσμιες θερμοκρασίες έχει ως αποτέλεσμα αισθητές αυξήσεις στην ένταση και τη συχνότητα των ακραίων θερμοκρασιών και των βροχοπτώσεων, μαζί με αυξημένες εμφανίσεις γεωργικών και οικολογικών ξηρασιών σε συγκεκριμένες περιοχές (IPCC,2021). Είναι πλέον καθοριστικής σημασίας η κατανόηση της σχέσης μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της συχνότητας έντονων καιρικών φαινομένων και καταστροφών ώστε να δημιουργηθούν αποτελεσματικές στρατηγικές μετριασμού και ενίσχυσης της ανεκτικότητας των κοινοτήτων.

Τα φαινόμενα αυτά τα έχουν διαπιστώσει και οι Έλληνες όπου σύμφωνα με έρευνα του 2024, που διενεργήθηκε από την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων (ΕΤΕπ) και συμμετείχαν 1.000 άτομα από την Ελλάδα, η κλιματική αλλαγή κατατάχθηκε στη δεύτερη θέση μεταξύ των

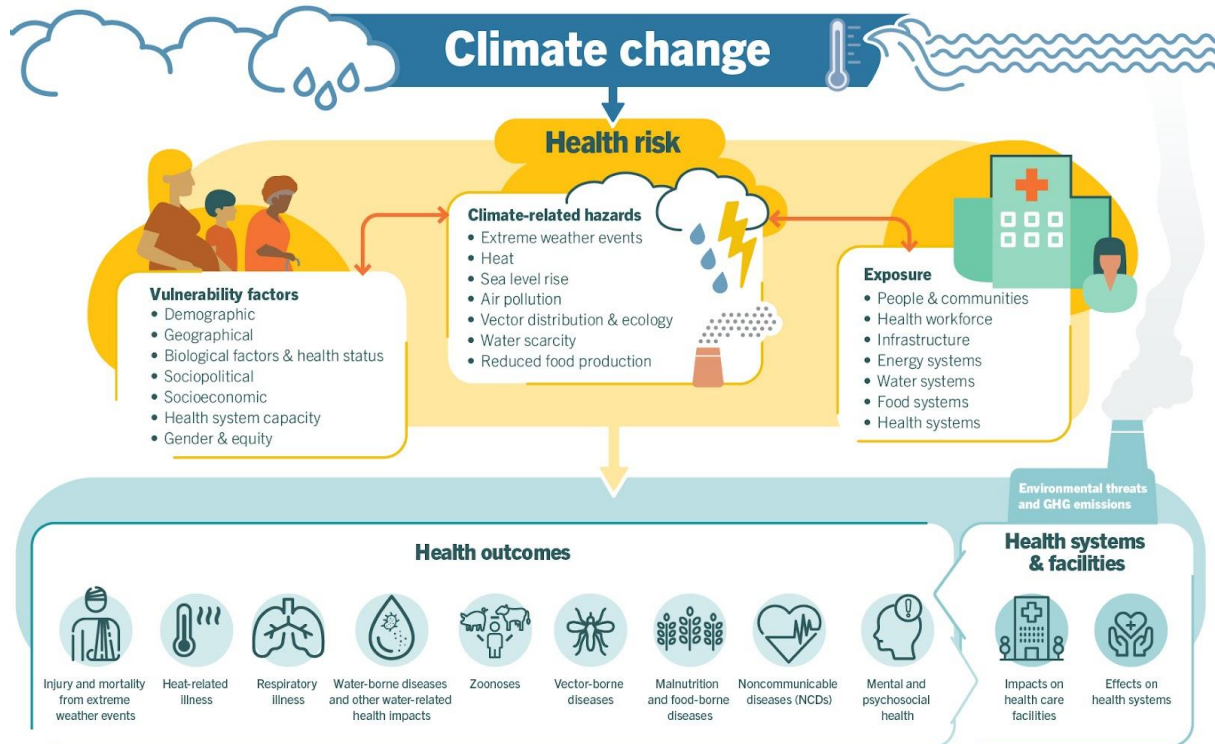
προκλήσεων που αντιμετωπίζει η χώρα τους, πίσω μόνο από το κόστος ζωής. Το 98% αυτών αναγνωρίζει την ανάγκη προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή (σε σύγκριση με τον μέσο όρο 94% της ΕΕ). Συγκεκριμένα, το 60% (10 μονάδες πάνω από τον μέσο όρο 50% της ΕΕ) θεωρεί ότι η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή αποτελεί προτεραιότητα στην Ελλάδα για τα επόμενα χρόνια ([European Investment Bank, 2024](#)).

Οι Έλληνες έχουν συνειδητοποιήσει την ανάγκη προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, καθώς τα τελευταία πέντε χρόνια, το 94% τους έχει βιώσει τουλάχιστον ένα ακραίο καιρικό φαινόμενο, ποσοστό 14 μονάδες υψηλότερο από τον μέσο όρο της ΕΕ. Συγκεκριμένα, το 61% έχει επηρεαστεί από υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες και καύσωνες, 6 μονάδες πάνω από τον μέσο όρο της ΕΕ, το 46% έχει αντιμετωπίσει ανεξέλεγκτες πυρκαγιές, 25 μονάδες υψηλότερα από τον μέσο όρο της ΕΕ, και το 34% έχει βιώσει ξηρασία, ποσοστό παρόμοιο με τον μέσο όρο της ΕΕ (European Investment Bank, 2024).

Οι συνέπειες των ακραίων καιρικών φαινομένων είναι ιδιαίτερα σοβαρές, όπως προκύπτει από τα παραπάνω στοιχεία. Συγκεκριμένα, το 86% των Ελλήνων που συμμετείχαν στην έρευνα δήλωσαν ότι έχουν βιώσει τουλάχιστον μία άμεση συνέπεια από αυτά τα φαινόμενα, ποσοστό που είναι 18 μονάδες υψηλότερο από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο του 68%. Ειδικότερα, το 36% των ερωτηθέντων αντιμετώπισε διακοπές ρεύματος ή προβλήματα στον ενεργειακό εφοδιασμό, ποσοστό 16 μονάδες πάνω από τον μέσο όρο της ΕΕ. Επιπλέον, το 32% υπέστη ζημιές σε δάση ή φυσικούς χώρους κοντά στην κατοικία του, 13 μονάδες πάνω από τον ευρωπαϊκό μέσο όρο, ενώ το 27% βίωσε διαταραχές στις μεταφορές, όπως κλείσιμο δρόμων, καταστροφή γεφυρών ή καθυστερήσεις στις δημόσιες συγκοινωνίες, 6 μονάδες πάνω από τον μέσο όρο της ΕΕ (European Investment Bank, 2024).



Εικόνα 9 Έρευνα για το κλίμα της ΕΤΕΠ 2024



Εικόνα 10 Επισκόπηση των κινδύνων για την υγεία που επηρεάζονται από το κλίμα, των οδών έκθεσης σε αυτούς και των παραγόντων ευπάθειας. ΠΗΓΗ: WHO <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί πρωταρχικό κίνδυνο για την υγεία της ανθρωπότητας. Οι τρόποι με τους οποίους επηρεάζει την υγεία μέσω:

- της ατμοσφαιρικής ρύπανσης
- του πολλαπλασιασμού των ασθενειών
- των ακραίων καιρικών φαινομένων
- του εκτοπισμού πληθυσμών
- της λειψυδρίας και της επισιτιστικής ασφάλειας και
- των πιέσεων της ψυχικής υγείας.

Ετησίως, περίπου 13 εκατομμύρια ζωές χάνονται λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων. Επιπλέον, πάνω από το 90% των ατόμων εκτίθενται σε επιβλαβείς συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που οφείλονται κυρίως στην καύση ορυκτών καυσίμων. Το 2018, η ατμοσφαιρική ρύπανση που προκλήθηκε από την καύση ορυκτών καυσίμων προκάλεσε

περίπου 2,9 τρισεκατομμύρια δολάρια σε υγειονομικές και οικονομικές δαπάνες, που ισοδυναμούν με περίπου 8 δισεκατομμύρια δολάρια ανά ημέρα. Παρόλο που ένας σημαντικός αριθμός κρατών αναγνωρίζει την υγεία ως ζωτικό τομέα που επηρεάζεται έντονα από τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής εξακολουθεί να υφίσταται σημαντικό οικονομικό έλλειμμα. Ένα μικρό ποσοστό, κάτω του 2%, της πολυμερούς χρηματοδότησης που διατίθεται για πρωτοβουλίες για το κλίμα διατίθεται σε έργα που σχετίζονται με την υγεία ([World Health Organization, 2021](#)). Τα συστήματα υγείας χρησιμεύουν ως η κύρια γραμμή άμυνας για πληθυσμούς που αντιμετωπίζουν αναδυόμενες απειλές για την υγεία, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή. Προκειμένου να προστατευθεί η δημόσια υγεία και να αποφευχθεί η επιδείνωση των ανισοτήτων στον τομέα της υγείας, είναι απαραίτητο για τις χώρες να δημιουργήσουν συστήματα υγείας που μπορούν να αντέξουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ([World Health Organization, 2021](#)).

Πρόσφατη έρευνα συνδέει το 37% των θανάτων που σχετίζονται με τη θερμότητα με την κλιματική αλλαγή που προκαλείται από τον άνθρωπο. Η συχνότητα θανάτων που σχετίζονται με τη ζέστη μεταξύ ατόμων ηλικίας 65 ετών και άνω έχει κλιμακωθεί κατά 70% τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Το 2020, εκτιμάται ότι επιπλέον 98 εκατομμύρια άτομα αναμένεται να αντιμετωπίσουν την επισιτιστική ανασφάλεια σε σύγκριση με τον μέσο όρο από το 1981 έως το 2010. Μέχρι τη δεκαετία του 2030, προβλέπεται αύξηση 250.000 επιπλέον θανάτων ετησίως, που οφείλεται στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε ασθένειες όπως η ελονοσία και οι επιπτώσεις των παράκτιων πλημμυρών σύμφωνα με τον ΠΟΥ. Ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν εμπόδια στον τομέα της μοντελοποίησης, ιδιαίτερα όσον αφορά την τεκμηρίωση των κινδύνων που προκαλούνται από την ξηρασία και των μεταναστευτικών πιέσεων. Μελλοντικά, η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στη δημόσια υγεία θα εξαρτηθεί κυρίως από την ευαισθησία των διαφόρων πληθυσμών, την ικανότητά τους να αντέξουν τον τρέχοντα ρυθμό κλιματικής αλλαγής και την έκταση και την ταχύτητα των προσαρμοστικών τους μέτρων ([World Health Organization, 2023](#)).

Καταγραφή των ακραίων καιρικών φαινομένων

Για να υπάρχει επιστημονική ενημέρωση περί των τελευταίων δεδομένων που αφορούν την επίδραση της κλιματικής αλλαγής, η Carbon Brief για να παρακολουθεί το νέο πεδίο μελέτης «extreme event attribution» δηλαδή της «απόδοσης ακραίων καιρικών φαινομένων» δημιούργησε χάρτη με κάθε δημοσιευμένη μελέτη σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο η κλιματική αλλαγή έχει επηρεάσει τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Οι μελέτες καταλογισμού υπολογίζουν αν και κατά πόσο η κλιματική αλλαγή επηρέασε την ένταση, τη συχνότητα ή τον αντίκτυπο των ακραίων φαινομένων. Έχουν χαρτογραφηθεί πάνω από εξακόσιες (600) μελέτες που καλύπτουν σχεδόν επτακόσια πενήντα (750) ακραία καιρικά φαινόμενα και τάσεις ([McSweeney and Tandon, 2024](#)).

Από αυτές τις περιπτώσεις, το 74% έχει γίνει πιο πιθανό ή πιο σοβαρό εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Σε πολλές περιπτώσεις, οι επιστήμονες έχουν διαπιστώσει ότι ορισμένα ακραία φαινόμενα θα ήταν σχεδόν αδύνατο να συμβούν χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση στις παγκόσμιες θερμοκρασίες.

Από την άλλη, περίπου το 9% των συμβάντων και των τάσεων στο χάρτη έχουν γίνει λιγότερο πιθανά ή σοβαρά λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Συνολικά, αυτό σημαίνει ότι το 83% των γεγονότων και των τάσεων που περιλαμβάνονται στο χάρτη έχουν επηρεαστεί από την ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή.

Στο υπόλοιπο 17% των περιπτώσεων, οι μελέτες είτε δεν εντόπισαν καμία ανθρώπινη επιρροή (10%) είτε τα αποτελέσματα ήταν ασαφή (7%), συχνά λόγω ανεπαρκών δεδομένων ([McSweeney and Tandon, 2024](#)).



Η χαρτογράφηση των 615 από τα 744 ακραία καιρικά φαινόμενα τα οποία αξιολόγησαν οι 600 περίπου μελέτες

Εικόνα 11 Χαρτογράφηση ακραίων καιρικών φαινομένων από 600 μελέτες ΠΗΓΗ: Αγριμανάκη, 2025

<https://www.kathimerini.gr/life/environment/563345050/kairikes-akrotites-ston-kosmo-kai-tin-ellada/>

Οι κύκλοι σε κάθε περιοχή απεικονίζουν πόσα γεγονότα και τάσεις έχουν γίνει πιο σοβαρά (κόκκινο) ή λιγότερο σοβαρά (μπλε) εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Το κίτρινο χρώμα υποδηλώνει ακραία φαινόμενα για τα οποία δεν έχει διαπιστωθεί ανθρώπινη επίδραση, ενώ το γκρι χρώμα αναφέρεται σε μελέτες που δεν είχαν απόλυτα δεδομένα (Αγριμανάκη, 2025).

Σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν, το 74% διαπιστώθηκε ότι επηρεάστηκε ή επιδεινώθηκε από την κλιματική αλλαγή. Πάνω από το ένα τρίτο αυτών των περιπτώσεων αφορούν ακραία θερμικά φαινόμενα, τα οποία είναι συνήθως τα πιο άμεσα περιστατικά που σχετίζονται με την υπερθέρμανση του πλανήτη. Περίπου το 9% των περιστατικών που απεικονίζονται στον χάρτη έχουν παρουσιάσει μείωση της πιθανότητας ή της έντασης ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής και αφορά κυρίως χιονοθύελλες και φαινόμενα ψύχους. Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις δεν βρίσκεται σημάδι ανθρώπινης επίδρασης (10%) είτε τα αποτελέσματα να είναι διφορούμενα (7%) (McSweeney and Tandon, 2024).

Στο χάρτη παρατηρείται μια δυσανάλογη κατανομή των ερευνητικών ακραίων γεγονότων παγκοσμίως, κυρίως συγκεντρωμένων στο βόρειο ημισφαίριο. Τα ακραία γεγονότα παρατηρούνται κυρίως στην Ευρώπη (22%), την Ανατολική και Νοτιοανατολική Ασία (22%)

και τη Βόρεια Αμερική (19%). Αντίθετα, ένα σημαντικά μικρότερο ποσοστό των ακραίων γεγονότων που εξετάστηκαν παρατηρείται στην Κεντρική και Νότια Ασία (5%), την Ωκεανία (1%), καθώς και τη Βόρεια Αφρική και τη Δυτική Ασία (1%). Πολλοί παράγοντες συμβάλλουν σε αυτό, συμπεριλαμβανομένων των ανεπαρκών μετεωρολογικών δεδομένων και της ανεπαρκούς παρακολούθησης ακραίων γεγονότων σε πολλές αναπτυσσόμενες χώρες.

Επιπλέον, οι ερευνητές και τα ιδρύματα που ασχολούνται με την απόδοση τέτοιων φαινομένων βρίσκονται συχνά σε χώρες του παγκόσμιου βορρά. Δεν είναι ακόμη πλήρως διαπιστωμένο πώς αλλάζουν αυτά τα φαινόμενα λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Ακόμη και αν γνωρίζουμε ότι ένα φαινόμενο γίνεται πιο συχνό ή έντονο, η ακριβής έκταση της αλλαγής μπορεί να διαφέρει σημαντικά από τόπο σε τόπο. Το γεγονός αυτό έχει γίνει αντιληπτό και γίνονται προσπάθειες για την μείωση του δίνοντας μεγαλύτερη έμφαση στα ακραία φαινόμενα σε περιοχές που συχνά περιθωριοποιούνται ([McSweeney and Tandon, 2024](#)).

Όταν δημοσιεύτηκε η πρώτη μελέτη «extreme event attribution» το 2004, άρχισαν να ακολουθούν και άλλες σχετικές μελέτες όπου μέσα σε είκοσι χρόνια έφτασαν πάνω από πεντακόσιες. Η απόδοση φαινομένων είναι μια επιστημονική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τα ακραία καιρικά φαινόμενα.

Υπάρχουν πολλές μεθοδολογίες για την εκτέλεση μιας ανάλυσης απόδοσης. Ωστόσο, οι ερευνητές χρησιμοποιούν κυρίως κλιματικά μοντέλα για να αναπαράγουν ένα ακραίο κλιματολογικό γεγονός στο σύγχρονο πλαίσιο του κλίματος και να το αντιπαραβάλλουν με βέλτιστες εφαρμογές μοντέλου του ίδιου γεγονότος σε ένα υποθετικό σενάριο χωρίς ανθρωπογενή θέρμανση. Η ανισότητα μεταξύ αυτών των δύο συνόλων δεδομένων προσομοίωσης διευκρινίζει τις μεταβολές στην πιθανότητα ή την ένταση του προαναφερθέντος ακραίου γεγονότος ([McSweeney and Tandon, 2024](#)).

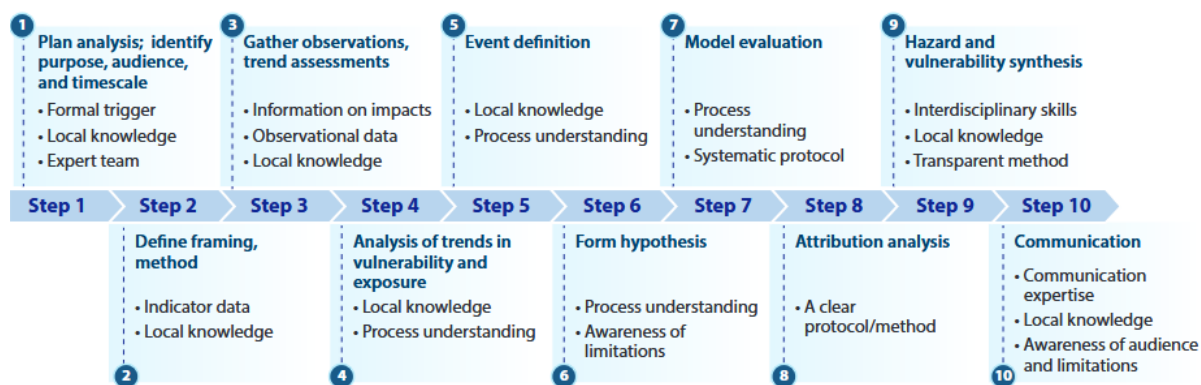


Figure 1

A schematic representation of the steps in the process of an event attribution study, including the key requirements for each step. The steps are independent of methods and have been adapted with permission from earlier reviews to include the important assessment of vulnerability and exposure [1 (CC BY 4.0), 28].

Εικόνα 12 Διαγραμματική απεικόνιση των βημάτων στη διαδικασία μελέτης απόδοσης φαινομένων (περιλαμβάνει βασικές προϋποθέσεις για κάθε βήμα). Τα βήματα είναι ανεξάρτητα από τη μέθοδο και περιλαμβάνουν την εκτίμηση της ευαλωτότητας και της έκθεσης (Otto, 2023)

Η βασική ιδέα είναι η σύγκριση μεταξύ πραγματικών παρατηρήσεων και αποτελεσμάτων από κλιματικά μοντέλα. Μέσω της πιθανοτικής μεθόδου, που είναι στατιστικής φύσης, υπολογίζουν την πιθανότητα ενός γεγονότος να συμβεί υπό τις τρέχουσες κλιματικές συνθήκες και τη συγκρίνουν με την πιθανότητα σε ένα αντιφατικό ή «καθαρό» κλίμα. Μέσα από αυτήν τη σύγκριση, επιχειρούν να εκτιμήσουν σε ποιο βαθμό η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή επηρέασε την πιθανότητα εμφάνισης του γεγονότος. Αυτή η διαφορά εκφράζεται με δείκτες όπως ο λόγος πιθανότητας (risk ratio), που δείχνει πόσο αυξημένη είναι η πιθανότητα λόγω ανθρώπινων επιδράσεων, και το κλάσμα αποδιδόμενου κινδύνου (FAR), που υπολογίζεται ως 1 μείον τον λόγο πιθανότητας. Για την αξιόπιστη εκτίμηση αυτών των πιθανοτήτων, χρησιμοποιούνται πολλές προσομοιώσεις κλίματος, ώστε να δημιουργηθεί στατιστικό εύρος και να ληφθεί υπόψη η αβεβαιότητα. Αυτές οι πολλαπλές προσεγγίσεις διασφαλίζουν την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Η IPCC αναγνωρίζει ήδη αυτή την επίδραση, ενώ πάνω από 500 σχετικές έρευνες δείχνουν για το πώς αλλάζουν τα φαινόμενα λόγω της κλιματικής αλλαγής. Μελέτη παρουσιάζει μεθόδους απόδοσης ακραίων καιρικών φαινομένων στην κλιματική αλλαγή, συγκρίνοντας τις παρατηρήσεις με σενάρια χωρίς ανθρώπινη επίδραση, είτε στατιστικά είτε μέσω ανάλυσης των φυσικών αιτιών. Οι μελέτες απόδοσης έχουν ως στόχο να μετρήσουν πόσο επηρεάζει η

ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Δύο κύριες προσεγγίσεις που εξετάζονται στην εργασία είναι η πιθανολογική απόδοση γεγονότων και η προσέγγιση της ιστορίας. Αυτές οι μεθοδολογίες βοηθούν τους επιστήμονες να συγκρίνουν αυτό που συνέβη με αυτό που θα μπορούσε να είχε συμβεί σε ένα σενάριο χωρίς την ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή. Ένα ζήτημα αποτελεί η έλλειψη επαρκών δεδομένων σε κάποιες περιοχές συνεπώς μπορεί να οδηγήσει σε υποεκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις περιοχές αυτές κυρίως του Παγκόσμιου Νότου (Global South).

Ένα ακραίο θερμικό κύμα στη Σιβηρία το 2020 και διαπίστωσε ότι τέτοια γεγονότα έχουν γίνει τουλάχιστον **600 φορές πιο πιθανά** λόγω της **ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής**. Η μελέτη εκτίμησε ότι το θερμικό συμβάν στη Σιβηρία είναι κάτι που θα συνέβαινε φυσικά μία φορά σε περίπου 130 χρόνια. Αυτό ονομάζεται «περίοδος επαναφοράς», που είναι ένας τρόπος για να περιγραφεί η συχνότητα με την οποία αναμένεται να συμβεί ένα συμβάν. Χωρίς ανθρώπινη επίδραση, αυτό το φαινόμενο θα συνέβαινε μόνο μία φορά κάθε 130 χρόνια και θα ήταν **2°C πιο δροσερό**. Η έρευνα τονίζει ότι η **κατανόηση αυτών των αλλαγών είναι κρίσιμη**, καθώς η αυξημένη θερμότητα έχει σημαντικές **επιπτώσεις στην υγεία, το περιβάλλον και την αγροτική παραγωγή** ([Otto, 2023](#)).

Η κλιματική αλλαγή προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας παγκοσμίως, με αποτέλεσμα την ενίσχυση της ενέργειας στην ατμόσφαιρα και την εμφάνιση εντονότερων καιρικών φαινομένων, όπως ισχυρότερες καταιγίδες με αυξημένες βροχοπτώσεις και ανέμους. Θερμότερος αέρας συγκρατεί περισσότερη υγρασία, ενισχύοντας την έντασή τους ([Otto, 2023](#)). Η κλιμάκωση των θερμοκρασιών όχι μόνο ενισχύει τη σοβαρότητα των καταιγίδων αλλά επίσης ενισχύει τους ρυθμούς εξάτμισης τόσο από το έδαφος όσο και από τα υδρόβια οικοσυστήματα, με αποτέλεσμα την ξηρασία και την αυξημένη εμφάνιση ξηρασιών, καθώς η απώλεια νερού πραγματοποιείται με ρυθμό που υπερβαίνει την αναπλήρωσή του. Ταυτόχρονα, πιο ισχυρές καταιγίδες προκαλούν μεγαλύτερη καταστροφή στα φυσικά ενδιαιτήματα ([Otto, 2023](#)). Οι υποδομές είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στα ακραία καιρικά φαινόμενα, τα οποία προκαλούν πλημμύρες, καταστροφές και συνεχιζόμενες οικονομικές επιπτώσεις λόγω επισκευών. Η παρατεταμένη ξηρασία επηρεάζει αρνητικά τα υδάτινα αποθέματα, τη γεωργία και τις δημόσιες υπηρεσίες, αυξάνοντας τον κίνδυνο λειψυδρίας. Με την κλιματική αλλαγή να εντείνει τη συχνότητα και τη σοβαρότητα αυτών των φαινομένων, απαιτούνται σημαντικοί πόροι για προσαρμογή και ενίσχυση των υποδομών από τις κοινότητες και τις κυβερνήσεις ([Otto, 2023](#)).

Η ανάλυση απόδοσης ακραίων καιρικών φαινομένων (extreme event attribution) αποκαλύπτει ότι η κλιματική αλλαγή έχει ήδη επηρεάσει σημαντικά την ένταση και τη συχνότητα πολλών ακραίων γεγονότων. Συνεπώς, η συνεχής πρόοδος στον τομέα αυτό ενισχύει τη δυνατότητα τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων για την κλιματική προσαρμογή, ενώ πλέον είναι απαραίτητες στη χάραξη πολιτικής και στη διαχείριση του αυξανόμενου κινδύνου καθώς παρέχουν επιστημονικά στοιχεία για τη μεταβαλλόμενη φύση των ακραίων καιρικών φαινομένων ([Otto, 2023](#)).

3.Μελέτες Περίπτωσης στη Διαχείριση Καταστροφών

Καθώς η συχνότητα και η ένταση των φυσικών καταστροφών συνεχίζουν να αυξάνονται, η ανάγκη για μείωση των σχετικών κινδύνων έχει αποκτήσει ακόμη μεγαλύτερη σημασία, απαιτώντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στη διαχείριση καταστροφών που δίνει προτεραιότητα σε προληπτικές στρατηγικές. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), η Τηλεπισκόπηση (RS) και η Βαθιά Μάθηση (DL) διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στους τομείς της διαχείρισης καταστροφών και των διαδικασιών λήψης αποφάσεων διότι μπορούν να δημιουργηθούν χάρτες κινδύνου για να οριοθετηθούν οι περιοχές που είναι σε επικινδυνότητα και χρήσιμα στα μέτρα μείωσης και προετοιμασίας. Τα γεωγραφικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μπορούν να βοηθήσουν στην βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων ανταπόκρισης. Κατά συνέπεια, τα GIS και η DL είναι σημαντικά για τη χαρτογράφηση, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις μεταβλητές που επηρεάζουν την εμφάνιση καταστροφών, διευκολύνοντας έτσι μια βαθύτερη κατανόηση της εκτίμησης κινδύνου και του χωροταξικού σχεδιασμού.

3.1 1^η Μελέτη Περίπτωσης : Ενσωμάτωση Τεχνητής Νοημοσύνης και GIS για την Προληπτική Ανθεκτικότητα σε Φυσικές Καταστροφές

Οι αλλαγές στο κλίμα γίνονται όλο πιο συχνές και πιο αισθητές διότι ακραία καιρικά φαινόμενα όπως οι μεγάλοι όγκοι πλημμύρες ή μεγάλης έκτασης πυρκαγιές προξενούν βλάβες και ζημιές αλλά ακόμη και καταστροφές στις υπάρχουσες απροετοίμαστες υποδομές που πλέον είναι υπερφορτωμένες και φτάνουν στα όρια τους.

Στόχος της μελέτη των Diehr et al. (2025) είναι να διερευνήσει μια από τις αναδυόμενες τάσεις, της ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης (AI) και της μηχανικής μάθησης (ML) με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) μπορεί να βελτιώσει τη διαχείριση καταστροφών και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας, και ειδικότερα στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής.

Υπάρχουν σημαντικές ευπάθειες στους μηχανισμούς αντιμετώπισης καταστροφών και έχει καταστεί επιτακτική ανάγκη να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν καινοτόμες και

αποτελεσματικές λύσεις που αποσκοπούν στη σημαντική ενίσχυση της συνολικής ετοιμότητας και αντιμετώπισης καταστροφών σε παγκόσμια κλίμακα.

Η μελέτη χρησιμοποιεί μέθοδο συστηματικής ανασκόπησης, η οποία περιλαμβάνει τον καθορισμό σαφών κριτηρίων σχετικά με το ποιες μελέτες πρέπει να συμπεριληφθούν ή να εξαιρεθούν, ώστε να μην απομακρυνθεί από μελέτες που σχετίζονται με την ενσωμάτωση GIS, AI και ML στη διαχείριση καταστροφών (Diehr *et al.*, 2025).

Η προσέγγιση ακολούθησε το πλαίσιο ROSES -Reporting Standards for Systematic Evidence Synthesis (Πρότυπα αναφοράς για τη συστηματική σύνθεση αποδεικτικών στοιχείων). Αυτό το πλαίσιο καθοδηγεί τους ερευνητές παρέχοντας μια λίστα ελέγχου που βοηθά στη διατήρηση της λογικής και διαφανούς διαδικασίας κατά τη συστηματική ανασκόπηση (Diehr *et al.*, 2025).

Μετά την συλλογή των σχετικών άρθρων, αφαιρέθηκαν διπλότυπα και στη συνέχεια εξέτασαν περαιτέρω τις μελέτες με βάση κριτήρια όπως ο τίτλος, η περίληψη και οι λέξεις-κλειδιά. Έπειτα από προσεκτική διαδικασία ελέγχου, από μια αρχική λίστα, κατέληξαν σε 71 άρθρα που στη συνέχεια εξετάστηκαν περαιτέρω για τη μεθοδολογική και εννοιολογική τους ισχύ. Εξετάστηκαν βασικά θέματα που προέκυψαν όπως η ανθεκτικότητα της κοινότητας, η περιβαλλοντική παρακολούθηση, η προστασία της ιδιωτικής ζωής και οι κοινωνικές ανησυχίες και οργανώθηκαν σε μορφή πίνακα, ταξινομώντας τις με βάση τους συγγραφείς που ασχολούνται με τις ευκαιρίες, τις προκλήσεις και τα κενά στην ενσωμάτωση των ΓΣΠ, της ΤΝ και της ML στη διαχείριση καταστροφών. Με την χρήση αυτών των μεθόδων στόχος ήταν να διασφαλιστεί ότι η μελέτη ήταν ολοκληρωμένη, αντικειμενική και αξιόπιστη.

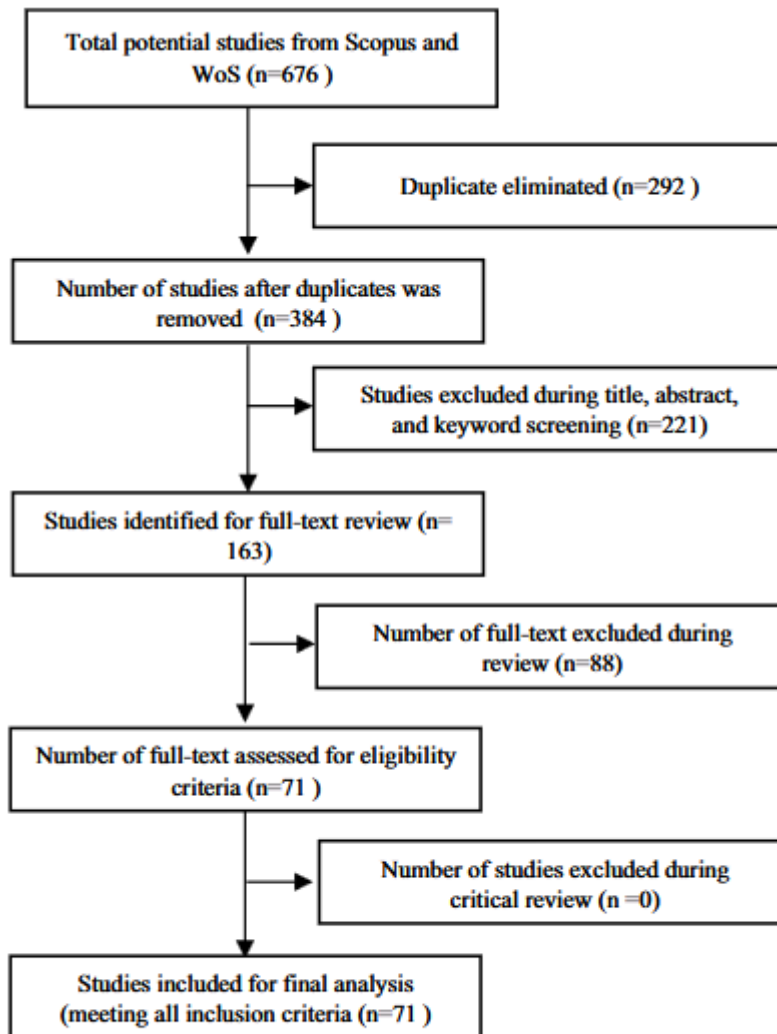


Figure 1. Procedure for literature search, screening, and inclusion process for systematic review.

Εικόνα 13 Διαδικασία αναζήτησης, διαλογής και συμπερίληψης της βιβλιογραφίας για τη συστηματική ανασκόπηση Diehr *et al.* (2025).

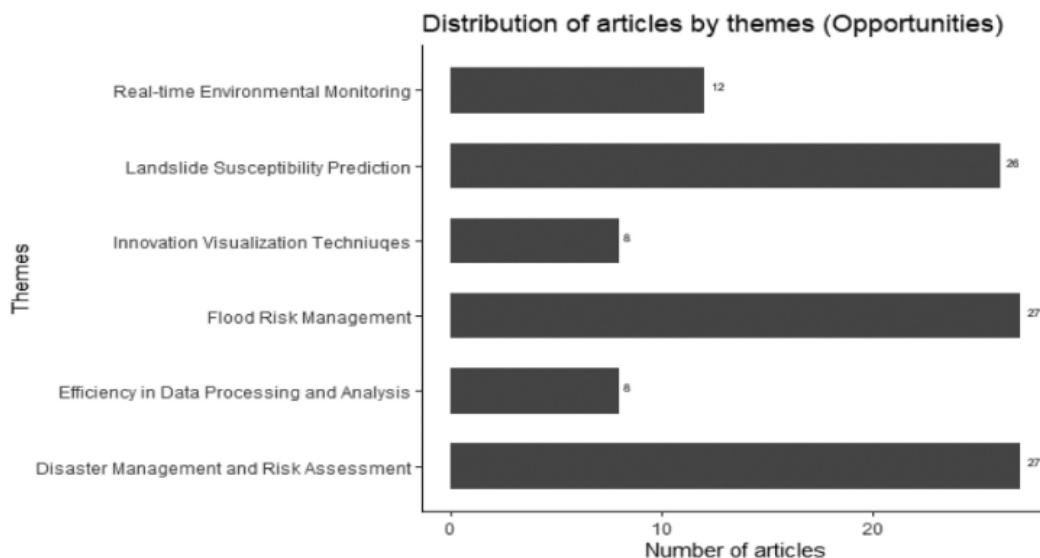


Figure 2. Themes emerging as opportunities for integrating GIS, AI, and ML in disaster management from the review.

Εικόνα 14 Θέματα που αναδύονται ως ευκαιρίες για την ενσωμάτωση του GIS ML στη διαχείριση καταστροφών από την ανασκόπηση Diehr et al. (2025).

Τα έξι θέματα που προέκυψαν από ποιοτική ερμηνευτική ανάλυση των μελετών που συμπεριλήφθηκαν στη συστηματική ανασκόπηση, οι οποίες αναφέρουν τις ευκαιρίες για την ενσωμάτωση των ΓΣΠ, της ΤΝ και του ML στη διαχείριση καταστροφών, είναι τα εξής:

1. διαχείριση καταστροφών και εκτίμηση κινδύνων,
2. διαχείριση κινδύνων πλημμύρας,
3. πρόβλεψη ευαισθησίας σε κατολισθήσεις,
4. καινοτόμες τεχνικές οπτικοποίησης,
5. συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και έγκαιρης προειδοποίησης,
6. αποτελεσματικότητα στην επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων

1. Διαχείριση καταστροφών και εκτίμηση κινδύνων

Τα 27 άρθρα από τα 71, έδειξαν ότι η ενσωμάτωση του GIS με AI και ML βελτιώνει σημαντικά τις πρακτικές διαχείρισης καταστροφών και αξιολόγησης κινδύνου. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και

καλύτερη πρόβλεψη πιθανών καταστροφών, πράγμα που σημαίνει ότι οι αρχές μπορούν μελλοντικά να προγραμματίσουν πιο αποτελεσματικά, μειώνοντας τις ζημιές και τις απώλειες ζωών. Αυτές οι τεχνολογίες βοηθούν στον εντοπισμό προτύπων και τάσεων για την πρόβλεψη πιθανών καταστροφών.

Το AI και το ML μπορούν να αναλύσουν γρήγορα μεγάλα σύνολα δεδομένων, όπως δορυφορικές εικόνες και κοινωνικά μέσα καθώς η ανάλυση των μέσων κατά τη διάρκεια καταστροφών βοηθά στην εύρεση επειγουσών περιοχών και αγνοουμένων ατόμων, για να παρέχουν έγκαιρες προειδοποιήσεις και στοχευμένες παρεμβάσεις, διασφαλίζοντας την ασφάλεια κατά τη διάρκεια αβέβαιων καιρικών συνθηκών. Τα drones και οι δορυφορικές εικόνες που υποστηρίζονται από τεχνητή νοημοσύνη βοηθούν στη δημιουργία λεπτομερών χαρτών για αποτελεσματική κατανομή πόρων και σχεδιασμό υποδομής.

Μετά την καταστροφή, οι αλγόριθμοι ML ταξινομούν τις ζημιές από εναέριες εικόνες, επιταχύνοντας τις εκτιμήσεις αναγκών και τη διανομή πόρων. Η ενσωμάτωση των GIS, AI και ML ενισχύει την αντιμετώπιση καταστροφών παρέχοντας καλύτερα εργαλεία ανάλυσης και λήψης αποφάσεων.

2. Διαχείριση κινδύνων πλημμύρας

Είκοσι επτά μελέτες σύμφωνα με την μελέτη αναδεικνύουν ότι ο συνδυασμός παραδοσιακών μοντέλων πλημμύρας με προηγμένους αλγόριθμους, όπως το Random Forest και τα νευρωνικά δίκτυα, οδηγεί σε καλύτερες προβλέψεις και ακριβέστερη χαρτογράφηση πλημμυρών. Αυτό σημαίνει ότι οι κοινότητες μπορεί να είναι καλύτερα προετοιμασμένες όταν συμβαίνουν πλημμύρες, καθώς τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης μπορούν να προκαλέσουν ταχύτερες αντιδράσεις.

Οι Dahri et al. χρησιμοποίησαν ANP (Analytical Network Process) και ANN (Artificial Neural Network) με GIS για να χαρτογραφήσουν περιοχές επιρρεπείς στις πλημμύρες, προσδιορίζοντας 226 τοποθεσίες και ταξινομώντας το 10% και το 14% ως υψηλό και πολύ υψηλό κίνδυνο πλημμύρας, αντίστοιχα. Τα προαναφερόμενα προέκυψαν, εφόσον έγινε η συλλογή των απαραίτητων δεδομένων όπως ιστορικά στοιχεία, δορυφορικές εικόνες ώστε μέσω συγκεκριμένων μοντέλων να γίνει η ανάλυση και η ομαδοποίηση των δεδομένων. Με τη χρήση ANP τα δεδομένα χωρίστηκαν σε δύο ομάδες ώστε να εκπαιδευτούν τα μοντέλα. Στη συνέχεια, προέκυψαν 226 τοποθεσίες πλημμύρας. Το 70% αυτών χρησιμοποιήθηκε για

εκπαίδευση και το 30% για έλεγχο των προβλέψεων του μοντέλου. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται διαχωρισμός εκπαίδευσης/επικύρωσης όπου αποτελεί μια κοινή πρακτική στη μηχανική μάθηση ώστε να διασφαλιστεί η ακρίβεια των προβλέψεων.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση του GIS βοηθά στη χωροταξική ανάλυση για τον πολεοδομικό σχεδιασμό και τη διαχείριση κινδύνων πλημμύρας. Προσδιορίζει περιοχές υψηλού κινδύνου, βοηθώντας στην καλύτερη λήψη αποφάσεων για τον μετριασμό των καταστροφών

3. Πρόβλεψη ευαισθησίας σε κατολισθήσεις

Αρκετές μελέτες υποστήριξαν την ιδέα ότι η αξιοποίηση διαφορετικών πηγών δεδομένων από γεωλογικές έως μετεωρολογικές πληροφορίες - όπως γεωλογικούς χάρτες (που δείχνουν τον τύπο των πετρωμάτων και των εδαφών), τοπογραφικές λεπτομέρειες (όπως η κλίση και το υψόμετρο), υδρολογικές πληροφορίες (ροή νερού και υγρασία), μετεωρολογικά αρχεία (καιρικές συνθήκες), σεισμικά δεδομένα (ιστορικό σεισμών) και εικόνες τηλεπισκόπησης που λαμβάνονται από δορυφόρους - βοηθά στη βελτίωση των προβλέψεων περιοχών που είναι επιρρεπείς σε κατολίσθηση μέσω της χρήσης και του συνδυασμού GIS με AI και ML. Συνεπώς, μειώνονται τα σφάλματα, οι προβλέψεις γίνονται πιο αξιόπιστες και ακριβείς. Συγκεκριμένα, τεχνικές όπως η χρήση ραντάρ συνθετικού διαφράγματος χρονοσειρών Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR), βοηθούν στην παρατήρηση αλλαγών στην κίνηση του εδάφους με την πάροδο του χρόνου, ενισχύοντας την ακρίβεια της πρόβλεψης και αλγόριθμοι όπως το Extreme Gradient Boosting (XGBoost) - ένας τύπος αλγορίθμου μηχανικής μάθησης που ενισχύει την ακρίβεια πρόβλεψης συνδυάζοντας αρκετά μικρότερα μοντέλα, που βοηθούν στον εντοπισμό προτύπων. Επιπλέον, κάθε δέντρο αποφάσεων συμβάλλει ένα μικρό μέρος στην τελική πρόβλεψη και μαθαίνοντας από τα σφάλματα επαναληπτικά, το συνολικό μοντέλο γίνεται πιο ακριβές διαθέτει ενίσχυση κλίσης που σημαίνει ότι προσαρμόζετε την προσέγγισή μετά από κάθε προσπάθεια. Ουσιαστικά, κάθε φορά που το XGBoost κάνει μια πρόβλεψη, υπολογίζει πόσο μακριά είναι από την πραγματική τιμή (το σφάλμα) και στη συνέχεια προσαρμόζει την επόμενη πρόβλεψη για να διορθώσει αυτό το σφάλμα. Όλα αυτά, βελτιώνουν την ακρίβεια πρόβλεψης και την προσαρμοστικότητα του μοντέλου, υποστηρίζοντας αποτελεσματική διαχείριση καταστροφών και σχεδιασμό υποδομών.

Επιπλέον, μέσω της χρήσης βαθιάς μάθησης μειώνονται οι τοπικές βελτιστοποιήσεις, δηλαδή προσπαθεί να μην χάνεται η μεγαλύτερη εικόνα του προβλήματος διότι το μοντέλο εστιάζει πολύ σε μια συγκεκριμένη περιοχή των δεδομένων.

Αυτό βοηθά στον προγραμματισμό και τη μείωση των κινδύνων σε περιοχές γνωστές για τέτοιες καταστροφές. Οι ακριβείς προβλέψεις επιτρέπουν την καλύτερη ετοιμότητα, όπως ο εντοπισμός επικίνδυνων ζωνών και η καθοδήγηση αποφάσεων σχετικά με το πού θα κατασκευαστεί η υποδομή ή η εφαρμογή μέτρων έκτακτης ανάγκης.

4.Καινοτόμες τεχνικές οπτικοποίησης

Η ενσωμάτωση των GIS, AI και ML διευκολύνει την οπτικοποίηση και αλληλεπίδραση με περίπλοκα γεωχωρικά δεδομένα, ενισχύοντας έτσι τη διαχείριση καταστροφών, την παρακολούθηση των δασών και τον πολεοδομικό σχεδιασμό. Προηγμένες τεχνολογίες όπως το CNN, το AR (Αυξημένη Πραγματικότητα) και το VR (Εικονική Πραγματικότητα) παρέχουν γρήγορες, ακριβείς πληροφορίες για την υποστήριξη της βελτιωμένης λήψης αποφάσεων και της ανθεκτικότητας της κοινότητας.

Για παράδειγμα, η χρήση οπτικών εργαλείων με τεχνητή νοημοσύνη και χαρτογράφηση υψηλής ανάλυσης μπορεί να απλοποιήσει την κατανόηση των κινδύνων καταστροφών για μη τεχνικούς φορείς λήψης αποφάσεων ([Diehr, Ogunyiola and Dada, 2025](#))

Ο συνδυασμός των GIS, AI και ML, σύμφωνα με τα οκτώ υπό μελέτη άρθρα, προάγει καινοτόμες απεικονίσεις γεωχωρικών δεδομένων που ενισχύουν τη συμμετοχή των χρηστών, βελτιώνοντας έτσι τη διαχείριση καταστροφών, την παρακολούθηση των δασών και τον πολεοδομικό σχεδιασμό. Τα ολοκληρωμένα νευρωνικά δίκτυα διευκολύνουν την αυτόματη ανίχνευση ζημιών στα δάση, ενώ οι τεχνολογίες επαυξημένης και εικονικής πραγματικότητας μια διαφορετική εμπειρία, ενισχύοντας συλλογικά την ετοιμότητα καταστροφών, τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο και την ανθεκτικότητα της κοινότητας.

Μέσω της χρήση συνεπτυγμένων νευρωνικών δικτύων (CNN) με ΓΣΠ γίνεται αυτόματη ανίχνευση κατεστραμμένων δασικών περιοχών, παρέχοντας έγκαιρες και ακριβείς πληροφορίες για την αντιμετώπιση καταστροφών. Τα CNN είναι ένας τύπος μεθόδου βαθιάς μάθησης που μπορεί να αναλύσει αυτόματα εικόνες. Βοηθούν στον εντοπισμό και την ταξινόμηση των κατεστραμμένων περιοχών μετά από μια καταστροφή, όπως σε δάση ή αστικές

δομές, επεξεργάζοντας αποτελεσματικά δορυφορικές εικόνες. Με έγκαιρα δεδομένα από δορυφόρους ή drones, τα CNN μπορούν να ενημερώσουν χάρτες που δείχνουν τις τελευταίες περιοχές που επηρεάζονται από καταστροφές. Αυτή η γρήγορη επεξεργασία διασφαλίζει ότι οι ανταποκριτές έκτακτης ανάγκης έχουν τις πιο πρόσφατες πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων, όπως πού να διαθέσουν πόρους ή να εκκενώσουν άτομα. Συνεπώς, τα CNN συμβάλλουν σε προγνωστικά μοντέλα που προβλέπουν την εξάπλωση ή επιδείνωση γεγονότων όπως πλημμύρες ή πυρκαγιές.

Επιπρόσθετα, η επαυξημένη πραγματικότητα (AR) και VR (Εικονική Πραγματικότητα) πλέον βοηθούν στην απεικόνιση γεωχωρικών πληροφοριών επιτρέποντας την καλύτερη κατανόηση και βελτιώνει την ακρίβεια πρόβλεψης διευκολύνοντας τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο και συμβάλλοντας στην οικοδόμηση ανθεκτικών κοινοτήτων.

5&6. Συστήματα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και έγκαιρης προειδοποίησης & Αποτελεσματικότητα στην επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων

Οκτώ έρευνες τονίζουν την σημασία της συγχώνευσης της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), της Μηχανικής Μάθησης (ML) και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) για τους σκοπούς της περιβαλλοντικής επιτήρησης και της δημιουργίας μηχανισμών έγκαιρης προειδοποίησης. Η ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο που προέρχονται από πλήθος πηγών αυξάνει σημαντικά τις δυνατότητες πρόβλεψης, ενισχύει τη συνεργασία μεταξύ των υπηρεσιών, και βελτιώνει τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων εν μέσω καταστροφών, βελτιώνοντας έτσι την επιχειρησιακή ετοιμότητα και την κατανομή των πόρων. Η ενσωμάτωση συμμετοχικών γεωχωρικών πληροφοριών (Volunteered Geographic Information, VGI), ιδιαίτερα εκείνων που προέρχονται από πλατφόρμες κοινωνικών μέσων, διευκολύνει την παρακολούθηση ακραίων μετεωρολογικών φαινομένων και επιτρέπει την εκτίμηση των επιπτώσεών τους σε τοπικό επίπεδο. Παράλληλα οι νέες τεχνολογίες επιταχύνουν την επεξεργασία μεγάλων συνόλων δεδομένων και αποκαλύπτουν περίπλοκες χωρικές σχέσεις. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης βελτιώνουν την προγνωστική ακρίβεια των χαρτών κινδύνου πλημμύρας, ενώ η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης και της ML σε ένα πλαίσιο γεωγραφικής χωρικής επεξεργασίας (GSP) βελτιώνει τη μοντελοποίηση των φυσικών χαρακτηριστικών και την πρόβλεψη ξηρασιών, προωθώντας έτσι πιο συνετή διαχείριση πόρων.

Προκλήσεις

Όσον αφορά τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι μελέτες νέων τεχνολογιών ποικίλουν. Μια βασική πρόκληση στη διαχείριση καταστροφών με τη χρήση GIS, AI και ML, αποτελεί η διασφάλιση της ποιότητας και της ακρίβειας των δεδομένων, καθώς τα μεγάλα και ακριβή σύνολα δεδομένων είναι απαραίτητα για τη λήψη αξιόπιστων προβλέψεων και αποφάσεων. Η ύπαρξη λανθασμένων ή ελλιπών δεδομένων ή μη ενημερωμένων μπορεί να οδηγήσει σε κακές προβλέψεις και σε μη επικυρωμένες αποφάσεις. Αυτό προκύπτει επειδή σύνολα δεδομένων που σχετίζονται με καταστροφές μπορεί να είναι θορυβώδη, ελλιπή ή να στερούνται ενημερώσεων σε πραγματικό χρόνο, κάτι που είναι κρίσιμο όταν απαιτείται απόκριση καταστροφών υψηλής ταχύτητας.

Επιπλέον, σημαντικό εμπόδιο ήταν η ανάγκη για ενισχυμένη υπολογιστική ισχύ και τεχνική εμπειρογνωμοσύνη για τη διαχείριση και επεξεργασία μεγάλων συνόλων δεδομένων που εμπλέκονται στην ενσωμάτωση των GIS, AI και ML. Η πολυπλοκότητα της διαχείρισης δεδομένων και οι τεχνικές απαιτήσεις της εκτέλεσης προηγμένων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, όπως μοντέλα βαθιάς μάθησης, απαιτούν σημαντικούς πόρους υλικού (όπως GPU υψηλής απόδοσης) και τεχνική τεχνογνωσία καθώς και την ενσωμάτωση μοντέλων σε ροές εργασίας ώστε η νέα τεχνολογία, όπως η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση (ML), μπορούν να λειτουργήσουν ομαλά με τα συστήματα και τις διαδικασίες που υπάρχουν ήδη και είναι αξιόπιστα και κατανοητά δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο το μοντέλο λαμβάνει τις αποφάσεις του ώστε οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων να εμπιστευτούν τα αποτελέσματα του συστήματος κατά τη διάρκεια κρίσιμων καταστροφών.

Επιπρόσθετα, δημιουργούνται ανησυχίες για την προστασία της ιδιωτικής ζωής και της ασφάλειας. Η συλλογή και επεξεργασία ευαίσθητων γεωχωρικών δεδομένων θα μπορούσε να οδηγήσει σε παραβιάσεις της προσωπικής ιδιωτικής ζωής ή κατάχρηση πληροφοριών, καθιστώντας τον ηθικό χειρισμό των δεδομένων βασική προτεραιότητα.

Συμπερασματικά, οι ειδικοί επιστήμονες πρέπει να συνεργαστούν για να αντιμετωπίσουν προκλήσεις που σχετίζονται με την ποιότητα δεδομένων, τις υπολογιστικές ανάγκες, την ερμηνευτικότητα του μοντέλου και τις ηθικές ανησυχίες. Αντιμετωπίζοντας αυτές τις προκλήσεις - όπως η διασφάλιση δεδομένων υψηλής ποιότητας, η βελτίωση των υπολογιστικών πόρων, η προώθηση της διαφάνειας και η ιεράρχηση των πρακτικών ηθικών δεδομένων - το ολοκληρωμένο σύστημα μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την ετοιμότητα, να

παρακινήσει τον στρατηγικό σχεδιασμό και τελικά να προστατεύσει τις κοινότητες από τις αυξανόμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

3.2 2^η Μελέτη Περίπτωσης: Ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον τεχνητής νοημοσύνης των πραγμάτων για την πρόληψη πλημμυρών ποταμών

Ο ανθρώπινος πολιτισμός αναπτύχθηκε και άνθισε σε πολλές περιπτώσεις δίπλα από ποτάμια όμως πλέον οι πλημμύρες ποταμών μπορούν να έχουν καταστροφικές συνέπειες, όπως την απώλεια ανθρώπινων ζωών και την καταστροφή της γεωργίας και των υποδομών, προκαλώντας συχνές οικονομικές κρίσεις. Οι ακραίες κλιματικές αλλαγές από τον 20ό αιώνα μέχρι και σήμερα έχουν αυξήσει τόσο τη συχνότητα όσο και την ένταση των πλημμυρών. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, οι πλημμύρες ποταμών είναι η συχνότερη φυσική καταστροφή στην Ευρώπη, με ετήσιες ζημιές 11 δισεκατομμυρίων ευρώ. Οι αιτίες τους ποικίλουν, από φυσικά φαινόμενα όπως ισχυρές βροχοπτώσεις και τυφώνες, μέχρι ανθρώπινες παρεμβάσεις όπως η αστικοποίηση, η αποψίλωση δασών και η εξόρυξη και γενικότερα η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει αλλάξει και τον τρόπο που συμβαίνουν οι πλημμύρες.

Οι παραδοσιακοί τρόποι που αφορούν την πρόβλεψη των έντονων ποτάμιων πλημμυρών, τεχνικές όπως η μέτρηση της στάθμης του νερού, το GIS και δορυφορικές εικόνες έχουν μερικές αδυναμίες. Αρχικά, δεν παρέχουν ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο, ενδέχεται να μην παρέχουν έγκαιρες ενημερώσεις για τις ταχέως μεταβαλλόμενες συνθήκες, το οποίο καθυστερεί την αντίδραση σε έκτακτες καταστάσεις καθιστώντας δύσκολο για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να δράσουν γρήγορα όταν επεκτείνονται οι πλημμύρες. Αυτό, κατά επέκταση δημιουργεί δυσκολία στην πρόβλεψη ακραίων πλημμυρών επειδή τα δεδομένα είναι παλιά. Επιπλέον, έχουν περιορισμένη γεωγραφική κάλυψη και συνήθως παρακολουθούνται συγκεκριμένα σημεία. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι ότι απαιτείται πολλή ενέργεια, αυξάνοντας το κόστος λειτουργίας, ειδικά σε απομακρυσμένες περιοχές. Οι υποδομές αυτές απαιτούν αρκετή ενέργεια αλλά μπορεί να είναι ανεπαρκείς ή ακόμα και κατεστραμμένες το οποίο σημαίνει ότι δεν προσαρμόζονται σε νέα δεδομένα που συνεπάγεται μείωση στην ακρίβεια (Boulouard *et al.*, 2022)

Η μελέτη An Integrated Artificial Intelligence of Things Environment for River Flood Prevention των Boulouard *et al.*, 2022 καταδεικνύει το ζήτημα των πλημμυρών ποταμών που προκαλούν μεγάλες καταστροφές σε ανθρώπους και σε υποδομές καθώς λόγω της κλιματικής αλλαγής είναι πιο συχνές και σοβαρές γίνεται πλέον επιτακτική η ανάγκη σε έρευνα και μεθόδους πρόληψης. Επομένως, η έρευνα εισήγαγε την έννοια της Τεχνητής Νοημοσύνης των Πραγμάτων (AIoT) η οποία συνδυάζει την Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) και το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Αυτή η προσέγγιση, πολλά υποσχόμενη σε διάφορους τομείς και στοχεύει στην ενίσχυση της πρόβλεψης σε πραγματικό χρόνο, την ενίσχυση των δυνατοτήτων παρακολούθησης και πρόληψης των πλημμυρών.

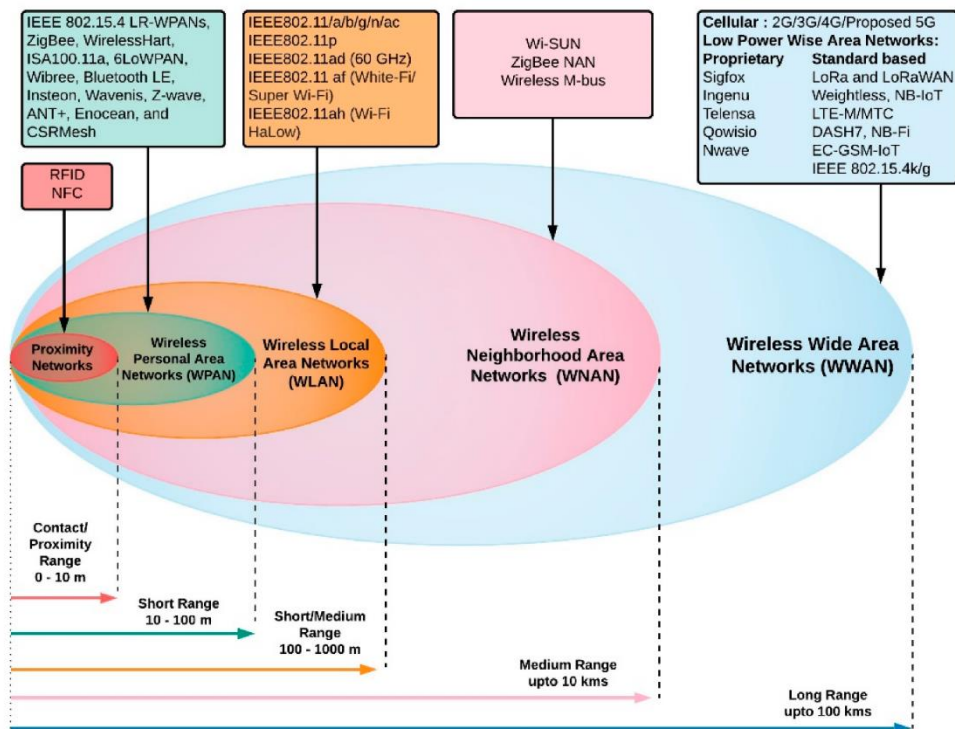
Αρχικά, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), ορίζεται ως ένα δίκτυο φυσικών συσκευών που συνδέονται και ανταλλάσσουν δεδομένα μέσω του Διαδικτύου. Το έτος 2020, ο αριθμός συνδεδεμένων IoT συσκευών εκτιμάτε περίπου στις 10 δισεκατομμύρια ενώ μέχρι το 2025 σύμφωνα με προβλέψεις θα φτάσουν 22 δισεκατομμύρια.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, γίνεται αναφορά στην αρχιτεκτονική AIoT που περιλαμβάνει τη χρήση αισθητήρων πλημμύρας ποταμών που συλλέγουν δεδομένα από διαφορετικές περιοχές. Πληροφορίες που συλλέγονται από τους αισθητήρες και μέσω της τεχνολογίας LoRaWAN, τις μεταδίδουν με ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις αλλά και με εκτεταμένη κάλυψη (Boulouard *et al.*, 2022).

Το Low Range Wide Area Network (LoRaWAN) ή Δίκτυο ευρείας περιοχής μεγάλης εμβέλειας είναι ένα πρωτόκολλο ραδιοεπικοινωνίας που βασίζεται από τη τεχνολογία LoRa. LoRa ή Long Range είναι ένα είδος τεχνολογίας φυσικού επιπέδου ευρείας περιοχής δικτύου χαμηλής ισχύος (LPWAN) που έχει σχεδιαστεί για ασύρματη επικοινωνία για μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (Boulouard *et al.*, 2022). Το LoRaWAN παρακολούθηση πλημμυρών ποταμών επειδή στέλνει συχνά μικρά δεδομένα, μεταξύ διαφορετικών συσκευών όπου στη προκειμένη περίπτωση σένσορες και κεντρικούς σέρβερ ανάλυσης δεδομένων, χρησιμοποιεί λίγη ενέργεια, ταιριάζει καλά σε ένα δίκτυο αστεριών, και λειτουργεί καλά σε κακές καιρικές συνθήκες.

Low Power Wide Area Network (LPWAN) είναι μια κατηγορία ασύρματων προτύπων και λύσεων επικοινωνίας IoT με χαρακτηριστικά όπως μεγάλες περιοχές κάλυψης, χαμηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων με μικρά μεγέθη πακέτων δεδομένων και μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Οι τεχνολογίες LPWAN έχουν μεγάλη ανάπτυξη και έχουν δείξει

τεράστιες δυνατότητες για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στο IoT και το M2M (Chaudhari, Zennaro and Borkar, 2020). Στέλνονται μηνύματα σε έναν τοπικό κόμβο, αλλά δεν θα μπορεί να στέλνει μηνύματα απευθείας σε άλλους πομπούς. Με αυτό το τρόπο είναι δυνατή η αποστολή και λήψη μηνυμάτων πολύ μικρού μεγέθους, με το σημαντικό πλεονέκτημα ότι τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται για την αποστολή αυτών των μηνυμάτων είναι πολύ φθηνά και πολύ ενεργειακά αποδοτικά (Boulouard *et al.*, 2022).



Wireless access geographic coverage. RFID, radio frequency identification; NFC, near field communication; NB-IoT, Narrowband Internet of Things; LTE, long term evolution; GSM, global system for mobile communications; MTC, machine type communication; SUN, smart utility network; LE, low energy. (Chaudhari, Zennaro and Borkar, 2020)

Τα δεδομένα που συλλέγονται αποστέλλονται σε τοπικά κέντρα εκπομπής, τα οποία στη συνέχεια μεταδίδουν τις πληροφορίες σε έναν κεντρικό διακομιστή cloud μέσω δικτύων 4G ή 5G. Ουσιαστικά, αισθητήρες ανίχνευσης πλημμύρας είναι ειδικές συσκευές που μπορούν να ανιχνεύσουν όταν η στάθμη του νερού αυξάνεται σε ποτάμια ή λίμνες και στέλνουν τα δεδομένα τους στον πλησιέστερο πύργο εκπομπής όπου λειτουργούν σαν μεσάζοντες και χάρη σε αυτούς γίνεται δυνατή η σύνδεση των αισθητήρων στο διαδίκτυο, καθιστώντας δυνατή την

ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας το LoRaWAN. Ο πύργος εκπομπής θα μεταφέρει τα δεδομένα μέσω 4G ή 5G στον διακομιστή cloud μέσω του ρούτερ.

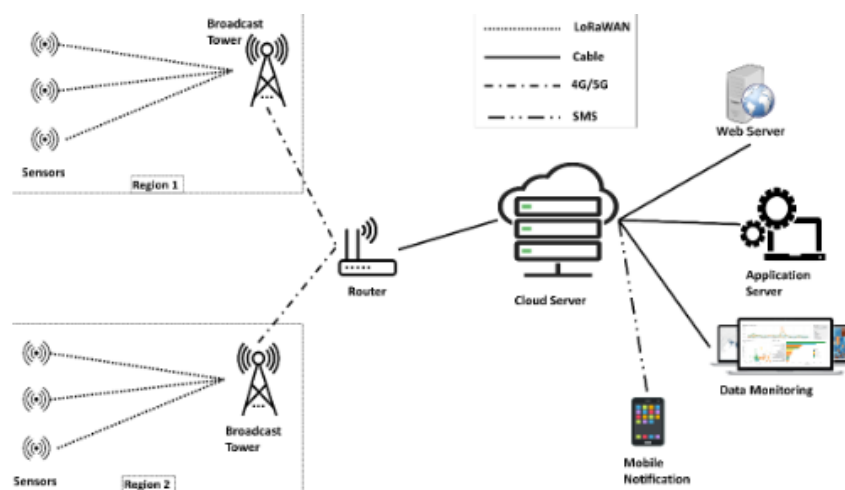


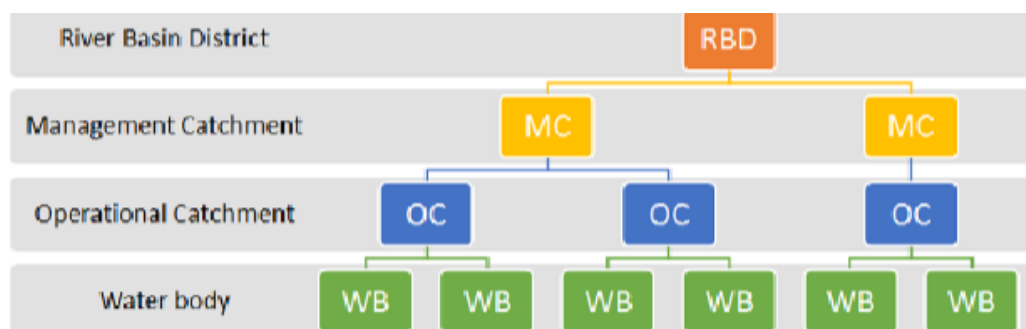
Figure 2. The suggested architecture.

Εικόνα 15 Προτεινόμενη δομή αρχιτεκτονικής

Μόλις ληφθούν τα δεδομένα του πύργου εκπομπής στον διακομιστή - server cloud ο οποίος είναι ένας ισχυρός υπολογιστής που αποθηκεύει και επεξεργάζεται δεδομένα μέσω του Διαδικτύου, αναλύει τα δεδομένα χρησιμοποιώντας AI για την πρόβλεψη των συνθηκών του ποταμού σε ολόκληρη τη χώρα, βοηθώντας στην πρόληψη πιθανών πλημμυρών. Στη συγκεκριμένη αρχιτεκτονική χρησιμοποιήθηκαν κόμβοι αισθητήρων WISE-4610P, οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για να εξασφαλίζουν αποτελεσματική μετάδοση δεδομένων χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο LoRaWAN. Οι κόμβοι που χρησιμοποιούνται σε αυτή την αρχιτεκτονική βασίζονται σε κόμβο WISE-6610-N100C-A όπου είναι μια συσκευή που συνδέει διαφορετικά δίκτυα και τους επιτρέπει να επικοινωνούν και έχουν εγκατασταθεί σε κάθε πύργο εκπομπής και ο συγκεκριμένος μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 100 κόμβους με 951 MHz (Boulouard *et al.*, 2022).

Για να εκπαιδευτεί σωστά ο υποψήφιος αλγόριθμος AI, απαιτείται το κατάλληλο σύνολο δεδομένων που εμπεριέχει διαφορετικά υδατικά συστήματα (ποτάμια, λίμνες κτλ), όταν γίνεται αναφορά σε ζητήματα πλημμυρών, καθώς και τα μετρημένα επίπεδα πλημμύρας και μια σταθερά ώστε να βοηθήσει με την ταξινόμηση. Το 2013 στο Ηνωμένο Βασίλειο, το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Τροφίμων και Αγροτικών Υποθέσεων του Ηνωμένου Βασιλείου (DEFRA) ξεκίνησε μια πρωτοβουλία με την ονομασία «Προσέγγιση με βάση τις λεκάνες απορροής»

Catchment Based Approach (CBA). Είναι ένα πλαίσιο που διευκολύνει τη συλλογή δεδομένων από υδάτινα σώματα σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο, ενθαρρύνοντας τη συμμετοχή διαφόρων φορέων, όπως δημόσιοι υπάλληλοι (π.χ. DEFRA), βιομηχανικοί συνεργάτες, τοπικοί πολιτικοί και ΜΚΟ. Στο CBA, τα υδάτινα σώματα οργανώνονται ιεραρχικά, από τις μεγάλες λεκάνες απορροής έως τις μικρότερες μονάδες.



Εικόνα 16 Ιεράρχηση του CBA των υδάτινων σωμάτων

Το σύνολο δεδομένων που παρέχεται από το DEFRA είναι ανοιχτά δεδομένα, που σημαίνει ότι είναι προσβάσιμο στο κοινό και περιλαμβάνει μετρήσεις και ταξινόμηση πλημμυρών, καθώς και άλλα είδη δεδομένων από 10 περιοχές λεκανών απορροής ποταμών. Το σύνολο δεδομένων περιλαμβάνει πάνω από 1 εκατομμύριο καταχωρήσεις με 21 χαρακτηριστικά, παρέχοντας έναν λεπτομερή και εκτεταμένο πόρο για την ανάλυση των κινδύνων πλημμύρας και των συνθηκών των υδάτινων σωμάτων.

Κατά την προεπεξεργασία των δεδομένων, ο στόχος «Κατάσταση» δεν χρησιμοποιήθηκε άμεσα και αφαιρέθηκαν στήλες με πάνω από 20% ελλείψεις ή υπερβολικά πολλές μειονοτικές τιμές. Τελικά, επιλέχθηκαν 12 βασικά χαρακτηριστικά για την ανάλυση. Για τις 920.976 ελλείπουσες τιμές, δεν αφαιρέθηκαν γραμμές, αλλά χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι «Συμπλήρωση προς τα εμπρός» και «Συμπλήρωση προς τα πίσω» για την κάλυψη κενών με τιμές από προηγούμενες και επόμενες γραμμές, αντίστοιχα, ώστε να καλυφθούν τα κενά με τις κοντινότερες διαθέσιμες τιμές (Boulouard *et al.*, 2022).

Οι κατηγορίες της «Κατάστασης» ήταν άνισα κατανομημένες, με την κλάση «Καλό» να υπερτερεί. Για λόγους ισορροπίας, οι αρχικές 13 τάξεις συγχωνεύθηκαν σε 3 («Καλό», «Μέτριο» και «Κακό»). Παρ' όλα αυτά, το σύνολο παρέμεινε ανισόρροπο, γεγονός που μπορούσε να επηρεάσει την ακρίβεια των αλγορίθμων. Γι' αυτό, δοκιμάστηκαν δύο

προσεγγίσεις: χρήση των αρχικών δεδομένων και επανεξισορρόπηση με τη μέθοδο SMOTE, η οποία δημιουργεί νέα, παρόμοια δείγματα μειονοτικής κατηγορίας χωρίς διπλασιασμό.

Τέλος, για την επεξεργασία των αριθμητικών και κατηγορικών χαρακτηριστικών (όπως «Κύκλος» και «Κατάσταση»), εφαρμόστηκαν κατάλληλες τεχνικές κωδικοποίησης (Ordinal και One-Hot), ώστε τα δεδομένα να είναι συμβατά με τους αλγόριθμους ανάλυσης (Boulouard *et al.*, 2022).

Στο σύνολο δεδομένων εμπεριέχονται στοιχεία αριθμών και κατηγοριών τα οποία είναι κατάλληλα, σύμφωνα με την βιβλιογραφία, για αλγόριθμους Deep Learning και μηχανικής μάθησης που βασίζονται σε δέντρα. Δοκιμάστηκαν τέσσερις αλγόριθμοι: δύο από κάθε κατηγορία για το σύνολο των δεδομένων.

- Ο αλγόριθμος Decision Tree (Δέντρο Απόφασης) απεικονίζει τις διαθέσιμες επιλογές με τη μορφή δέντρου, από όπου και προκύπτει η ονομασία του. Πρόκειται για ένα διάγραμμα που δείχνει τα πιθανά αποτελέσματα μιας σειράς διαδοχικών αποφάσεων. Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση ενεργειών βάσει κόστους, πιθανοτήτων και ωφελειών. Ξεκινά με έναν κόμβο και από εκεί διακλαδίζονται εναλλακτικές, οι οποίες οδηγούν σε νέους κόμβους και περαιτέρω επιλογές και το διάγραμμα που προκύπτει είναι παρόμοιο με το σχήμα ενός δέντρου.. Στα άκρα, στα "φύλλα", βρίσκονται οι τελικές αποφάσεις. Είναι εργαλείο ευανάγνωστο και αποτελεσματικό για ταξινομήσεις.
- Ο αλγόριθμος Random Forest αποτελείται από πολλαπλά Decision Trees που εκπαιδεύονται ανεξάρτητα, χρησιμοποιώντας διαφορετικά υποσύνολα των αρχικών δεδομένων (μέθοδος bagging). Κάθε δέντρο δίνει μια εκτίμηση, και ο συνδυασμός αυτών των προβλέψεων οδηγεί στο τελικό αποτέλεσμα, μειώνοντας τη διασπορά. Η λογική θυμίζει συλλογή διαφορετικών απόψεων για καλύτερη κατανόηση του ίδιου προβλήματος. Κατά την ταξινόμηση, η τελική πρόβλεψη προκύπτει από την πιο συχνή απάντηση που δίνουν τα δέντρα.
- Τα βαθιά νευρωνικά δίκτυα - Deep Neural Network (DNN) έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν όπως ο ανθρώπινος εγκέφαλος, χρησιμοποιώντας στρώματα επεξεργαστών που χειρίζονται πληροφορίες σταδιακά, παρόμοια με το πώς το οπτικό νεύρο επεξεργάζεται οπτικά σήματα. Το τελικό στρώμα παράγει τα αποτελέσματα του συστήματος, μιμείται την επικοινωνία των νευρώνων.

- Τα δίκτυα μακροπρόθεσμης μνήμης -Long-Short Term Memory (LSTM) είναι ένας τύπος επαναλαμβανόμενου νευρωνικού δικτύου, το οποίο θυμάται πληροφορίες για μεγάλο χρονικό διάστημα, που επιλύει το πρόβλημα «εξαφάνισης κλίσης». Χρησιμοποιούν κελιά και πύλες για τη διαχείριση της ροής πληροφοριών, αποφασίζοντας τι να διατηρήσουν, να απορρίψουν ή να χρησιμοποιήσουν για έξοδο, διασφαλίζοντας αποτελεσματική επεξεργασία δεδομένων

Εφόσον έγινε προέλεγχος, χρησιμοποιήθηκαν κάποιοι συγκεκριμένοι «δείκτες» ώστε να ελεγχθεί ποιος αλγόριθμος λειτουργεί καλύτερα για την πραγματοποίηση προβλέψεων. Οι «δείκτες» ήταν οι παρακάτω:

- **Ακρίβεια (Accuracy):** δείχνει πόσο συχνά ο αλγόριθμος κάνει τη σωστή πρόβλεψη. Εξετάζει τόσο πότε ο αλγόριθμος προβλέπει σωστά ότι κάτι θα συμβεί (True Positives, TP) όσο και πότε προβλέπει σωστά ότι κάτι δεν θα συμβεί (True Negatives, TN).
- **Ακρίβεια (Precision):** μετρά την ικανότητα του αλγορίθμου να αποφεύγει λάθη κατά την πρόβλεψη θετικών τιμών. Είναι ο λόγος των αληθών θετικών προς τα συνολικά θετικά. Ελέγχει πόσα από τα προβλεπόμενα θετικά αποτελέσματα ήταν πραγματικά σωστά.
- **Ανάκληση (Recall):** ή αλλιώς «Ευσαιθησία», μετρά πόσο καλά ο αλγόριθμος βρίσκει όλες τις πραγματικές θετικές περιπτώσεις. Ελέγχει πόσες πραγματικές θετικές περιπτώσεις είχαν προβλεφθεί σωστά.
- **Score F1 :** αξιολογεί την ικανότητα ενός μοντέλου ταξινόμησης να προβλέπει αποτελεσματικά θετικές τιμές, είναι μια ισορροπία μεταξύ ακρίβειας και ανάκλησης. Βοηθά να εντοπίσει όλες τις θετικές περιπτώσεις (ανάκληση) και να βεβαιωθεί ότι οι θετικές προβλέψεις είναι σωστές (ακρίβεια).
- **Confusion Matrix (CM):** είναι ένας πίνακας που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την απόδοση ενός αλγορίθμου. Δείχνει τον αριθμό των αληθινών θετικών, ψευδώς θετικών, αληθινών αρνητικών και ψευδώς αρνητικών. Δείχνει πόσες φορές ο αλγόριθμος ήταν σωστός ή λάθος με διαφορετικούς τρόπους.
- **Καμπύλη ROC:** (Χαρακτηριστικό λειτουργίας δέκτη) είναι ένα γράφημα που δείχνει την απόδοση ενός αλγορίθμου σε διαφορετικά όρια. Σχεδιάζει το πραγματικό θετικό ποσοστό έναντι του ψευδώς θετικού ποσοστού.

		Reality		
Confusion matrix		Class A	Class B	Class C
Prediction	Class A	True Positive A : TPA	False Negative B : FNB False Positive A : FPA	False Negative C : FNC False Positive A : FPA
	Class B	False Positive B : FPB False Negative A : FNA	True Positive B : TPB	False Negative C : FNB False Positive B : FPB
	Class C	False Positive C : FPC False Negative A : FPA	False Positive C : FPC False Negative B : FNB	True Positive C : TPC

Figure 5. The Confusion Matrix in case of 3 classes [69].

Εικόνα 17 Confusion Matrix τριών κλάσεων

Συνοψίζοντας, στην μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δύο ρυθμίσεις για τη δοκιμή αλγορίθμων ταξινόμησης: μία με το αρχικό σύνολο δεδομένων όπως ήταν αρχικά και μια άλλη με ισορροπημένες τάξεις με υπερδειγματοληψία δηλαδή έγινε προσαρμογή στο σύνολο των δεδομένων αυξάνοντας τον αριθμό των παραδειγμάτων στις μικρότερες ομάδες ώστε να είναι ίσες οι ομάδες. Το σύνολο δεδομένων χωρίστηκε σε 80% για εκπαίδευση των αλγορίθμων και 20% για δοκιμές και η διασταυρούμενη επικύρωση τυχαίας αναζήτησης χρησιμοποιήθηκε για την τελειοποίηση των αλγορίθμων. Σύμφωνα με τον Roshan Joseph (2022), αυτός ο διαχωρισμός των ποσοστών με αυτό τον τρόπο δίνει καλά αποτελέσματα. Για να διασφαλιστεί ότι οι αλγόριθμοι λειτουργούσαν όσο το δυνατόν καλύτερα, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν μια μέθοδο που ονομάζεται «Τυχαία αναζήτηση διασταυρούμενη επικύρωση» (Boulouard *et al.*, 2022).

Αυτό που προέκυψε είναι ότι οι αλγόριθμοι που βασίζονται σε δέντρα έδειξαν υψηλή ακρίβεια, με τα Decision Trees να βαθμολογούν περίπου 94,7% και τα Random Forest, χρησιμοποιείτε πολλά δέντρα αποφάσεων μαζί για να λάβετε μια απόφαση, να βαθμολογούν περίπου 95,2% και στις δύο ρυθμίσεις, υποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητά τους στις εργασίες ταξινόμησης. Ιδιαίτερη σημασία έχει ο τρόπος με τον οποίο προετοιμάζονται και διαχωρίζονται τα δεδομένα για εκπαίδευση και δοκιμές. Η υπερδειγματοληψία και η επιλογή της σωστής αναλογίας διαχωρισμού μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την απόδοση των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης.

Οι αλγόριθμοι DNN και LSTM έδειξαν υψηλή ακρίβεια και στις δύο ρυθμίσεις, με το DNN να βαθμολογεί 89,74% και 90,27% και το LSTM να βαθμολογεί 91,18% και 90,41%, ενώ άλλες

μετρήσεις όπως η ακρίβεια, η ανάκληση και η βαθμολογία F1 διέφεραν ελαφρώς μεταξύ διαφορετικών αλγορίθμων και ρυθμίσεων.

Η ανισορροπία του συνόλου δεδομένων είχε μικρή επίδραση στην ακρίβεια, με μόνο το DNN να δείχνει μια μικρή βελτίωση όταν είναι ισορροπημένο. Η ακρίβεια του RF ήταν σχεδόν αμετάβλητη, ενώ τα DT και LSTM είδαν μικρές μειώσεις (Boulouard *et al.*, 2022).

Η ακρίβεια, η ανάκληση και η βαθμολογία F1 βελτιώθηκαν με ισορροπημένα δεδομένα, παρουσιάζοντας αυξήσεις 3-5% σε όλους τους αλγόριθμους. Αυτή η βελτίωση ήταν πιο εμφανής στους πίνακες σύγκρισης, με πιο ισορροπημένα αληθινά θετικά στο δεύτερο περιβάλλον.

Συμπερασματικά, ο αλγόριθμος Random Forest πέτυχε την υψηλότερη ακρίβεια 95,24% στην πρόβλεψη συνθηκών πλημμύρας ποταμών. Ακολούθησε στενά ο αλγόριθμος Decision Tree, ο οποίος σημείωσε ακρίβεια 94,74%. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι αλγόριθμοι που βασίζονται σε δέντρα είχαν καλύτερη απόδοση από τα μοντέλα βαθιάς μάθησης σε αυτήν τη μελέτη ενώ τα μοντέλα Deep Neural Network (DNN) και Μακροπρόθεσμης Μνήμης (LSTM) δεν απέδωσαν τόσο καλά όσο οι αλγόριθμοι που βασίζονται σε δέντρα.

Όσον αφορά την ανισορροπία δεδομένων στην απόδοση των αλγορίθμων, διαπιστώθηκε ότι η ακρίβεια δεν επηρεάστηκε σημαντικά, μετρήσεις όπως η Precision, η Recall και το F1-Score έδειξαν βελτιώσεις όταν τα δεδομένα ήταν ισορροπημένα.

Επιπλέον, σε σύγκριση με άλλες μελέτες που χρησιμοποίησαν την ακρίβεια ως μέτρηση απόδοσης, ξεπέρασε άλλες μεθόδους όπως αυτές των Wahyono *et al.* και Khalaf *et al.*, οι οποίες είχαν ακρίβεια 94% και 85,9% αντίστοιχα (Boulouard *et al.*, 2022).

Αυτή η μελέτη εισάγει ένα σύστημα AIoT τριών επιπέδων για πρόβλεψη πλημμυρών χρησιμοποιώντας αισθητήρες, LPWAN και κεντρικό διακομιστή, με τον αλγόριθμο Random Forest να επιτυγχάνει ακρίβεια 95,24% στην πρόβλεψη πλημμυρών, ξεπερνώντας τις μεθόδους Deep Learning. Οι μελλοντικές βελτιώσεις θα επικεντρωθούν στη μείωση της χρήσης ενέργειας στους αισθητήρες και στη χρήση ενσωματωμένης μηχανικής μάθησης.

Αυτά τα αποτελέσματα και οι γνώσεις παρέχουν μια ολοκληρωμένη κατανόηση της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής AIoT στην πρόβλεψη πλημμυρών ποταμών και επισημαίνουν περιοχές για μελλοντική βελτίωση.

3.3 3^η Μελέτη Περίπτωσης: Αξιολόγηση των επιπτώσεων των πυρκαγιών στον κίνδυνο πλημμυρών με βάση το GIS: Η περίπτωση των δασικών πυρκαγιών του καλοκαιριού του 2021 στην Ελλάδα

Το άρθρο με τίτλο GIS-Based Assessment of Fire Effects on Flash Flood Hazard: The Case of the Summer 2021 Forest Fires in Greece των Evelpidou et al. (2022) ερευνήσε τον κίνδυνο αιφνίδιων πλημμυρών στις καμένες περιοχές της Ελλάδας, συγκεκριμένα μελετήθηκαν για το έτος 2021, η Αττική, η Βόρεια Εύβοια και η Πελοπόννησος μέσω ενός μοντέλου βασισμένου στη λογική Boolean και την χρήση GIS ώστε να προσδιοριστούν ποιες καμένες περιοχές είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμύρες και χρήζουν προστασίας. Στη συνέχεια χαρτογραφήθηκαν και μελετήθηκαν τα γεωλογικά και γεωμορφολογικά τους χαρακτηριστικά ώστε το μοντέλο να αξιολογήσει τις επιπτώσεις της πυρκαγιάς για τον κίνδυνο πλημμύρας και στον εντοπισμό περιοχών που θα πρέπει να έχουν προτεραιότητα για έργα ελέγχου πλημμυρών ή καθυστέρησης επιφανειακής απορροής μέσω της χρήση GIS και την αποτύπωση σε χάρτες.

Οι ξαφνικές πλημμύρες που προκαλούνται από έντονες και συνεχείς βροχοπτώσεις αποτελούν από τις πιο δαπανηρές φυσικές καταστροφές, προκαλώντας απώλειες σε ανθρώπινες ζωές, υποδομές και καλλιέργειες και αποτελούν έντονο πρόβλημα στην Ευρώπη και συγκεκριμένα στην περιοχή της Μεσογείου. Η εμφάνισή τους εξαρτάται κυρίως από έντονες βροχοπτώσεις, αλλά η ένταση και η έκτασή τους καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα γεωμορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης απορροής (π.χ. κλίση, υδρογραφικό δίκτυο, πορώδες εδάφους) καθώς και από τη βλάστηση. Η βλάστηση λειτουργεί προστατευτικά, καθώς μειώνει την επιφανειακή απορροή και ενισχύει τη διήθηση του νερού.

Οι δασικές πυρκαγιές καταστρέφοντας την βλάστηση, μειώνουν τη διήθηση και προκαλούν δημιουργία υδροφοβικών στρώσεων στο έδαφος, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο διάβρωσης και πλημμυρών. Εκτιμάται ότι στη Ευρώπη καίγεται περίπου 4500km² γης ετησίως ειδικότερα στη περιοχή της Μεσογείου, εξαιτίας του είδους βλάστησης της (κωνοφόρα δένδρα, θάμνοι κτλ) καθώς και οι έντονοι άνεμοι την θερινή περίοδο. Στην Εύβοια το έτος 2020, οι πυρκαγιές που προηγήθηκαν των πλημμυρών στις 9/08/2020 στα Ψαχνά και Πολιτικά αύξησαν την επιρρέπεια στις πλημμύρες. Εκτιμάται ότι η καταστροφή του 10% των δασών μιας περιοχής μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της συχνότητας των πλημμυρών κατά 4% έως

28% . Στην Ελλάδα, μεγάλες πυρκαγιές έχουν σημειωθεί αρκετές φορές (2007, 2018, 2021). Το καλοκαίρι του 2021 κάηκαν περίπου 3600 km² για σχεδόν 20 ημέρες, γεγονός που κατέστησε τις καμένες περιοχές ιδιαίτερα ευάλωτες σε πλημμύρες.

Βασικός στόχος της μελέτης είναι να εξετάσει πώς οι πυρκαγιές επηρεάζουν τον κίνδυνο πλημμυρών και, μέσα από αυτή την ανάλυση, να εντοπίσει τις περιοχές που έχουν τη μεγαλύτερη ανάγκη για παρεμβάσεις. Όταν οι καμένες εκτάσεις είναι εκτεταμένες, απαιτείται ιεράρχηση, ώστε να προστατευτούν κατά προτεραιότητα με τα κατάλληλα έργα. Οι καμένες ζώνες χαρτογραφήθηκαν, καταγράφηκαν τα γεωλογικά και γεωμορφολογικά τους χαρακτηριστικά και δημιουργήθηκαν τελικοί χάρτες κινδύνου πλημμύρας με τη χρήση GIS.

Μελέτη περιοχής

Στην παρούσα μελέτη έμφαση δόθηκε σε τρεις περιοχές στην Αττική, στην Βόρεια Εύβοια και στην Πελοπόννησο. Το κλίμα τους χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες και ξερά και ζεστά καλοκαίρια. Έχουν λίγες βροχοπτώσεις αλλά τον χειμώνα εμφανίζονται χωρίς να απουσιάζουν τα έντονα φαινόμενα βροχόπτωσης και καταιγίδων.

Αττική

Για την Αττική, τον Αύγουστο του έτους 2021, οι περιοχές που επηρεάστηκαν από τις πυρκαγιές ήταν η Βαρυμπόμπη, τα Βίλλια και ο Εθνικός Δρυμός Σουνίου.

Η καμένη έκταση στη περιοχή της Βαρυμπόμπης έφτασε τα 85 km² και περιλαμβάνει τους οικισμούς Βαρυμπόμπης, Ιπποκράτειος Πολιτεία, Τατόι, Αφίδνες, Πευκόφυτο, Άγιος Στέφανος και Κρυονέρι. Η περιοχή καλύπτεται κυρίως από νεογενείς αποθέσεις (λιμναία, ποτάμια και χερσαία προέλευση) αλλά και ασβεστόλιθο και δολομίτη, ενώ σημαντικό μέρος είχε δασική βλάστηση (πλατύφυλλα, κωνοφόρα).

Η περιοχή στα Βίλλια που κάηκε έφτασε 66 km² και αποτελείται κυρίως από ασβεστόλιθο και περιστασιακά από δολομίτες και φυσική βλάστηση με δάσος (σκληρόφυλλα και κωνοφόρα, θάμνοι και λιβάδια).

Στον Εθνικό Δρυμό Σουνίου η έκταση της καμένης περιοχής έφτασε 55 km² με κυρίαρχα πετρώματα τον σχιστόλιθο και σε μικρότερο βαθμό το μάρμαρο. Η κάλυψη γης ήταν δασική (σκληρόφυλλα, κωνοφόρα) και καλλιέργειες.

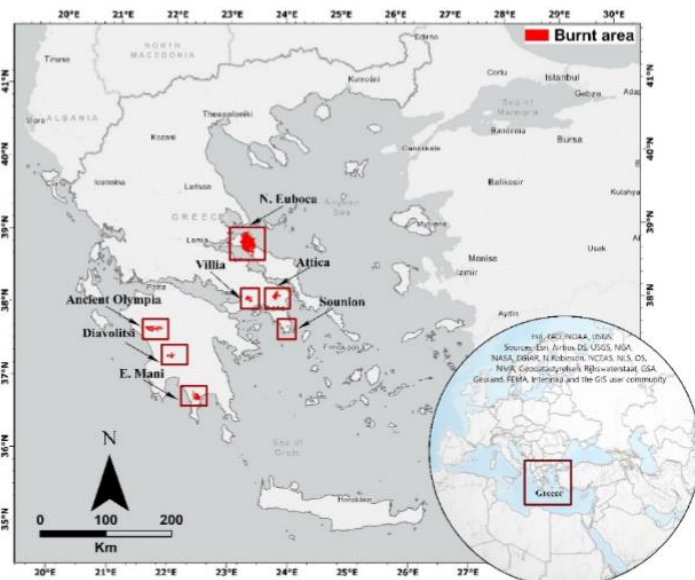
Στις παραπάνω τρεις περιοχές υπάρχει ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο σε ορισμένα σημεία περνά μέσα από κατοικημένες ζώνες. Επιπλέον, η κάλυψη του εδάφους διευκόλυνε την εξάπλωση των δασικών πυρκαγιών, σε συνδυασμό με τα κύματα καύσωνα που είχαν προηγηθεί.

Βόρεια Εύβοια

Στη **Βόρεια Εύβοια** οι πυρκαγιές του 2021 έκαψαν περίπου **505 km²**, επηρεάζοντας κυρίως δασικές εκτάσεις με κωνοφόρα και πλατύφυλλα, ενώ μόνο μικρά τμήματα ήταν καλλιεργήσιμα. Οι μεγαλύτεροι οικισμοί που επλήγησαν ήταν η Αγία Άννα, οι Ροβιές, η Λίμνη, τα Βασιλικά και το Πευκί. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από μικρές ορεινές λεκάνες απορροής με πυκνό και καλά ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο, το οποίο καταλήγει σε οικισμούς και παράκτιες ζώνες. Αυτό, σε συνδυασμό με τις μεγάλες καμένες εκτάσεις, αυξάνει σημαντικά τον κίνδυνο αιφνίδιων πλημμυρών.

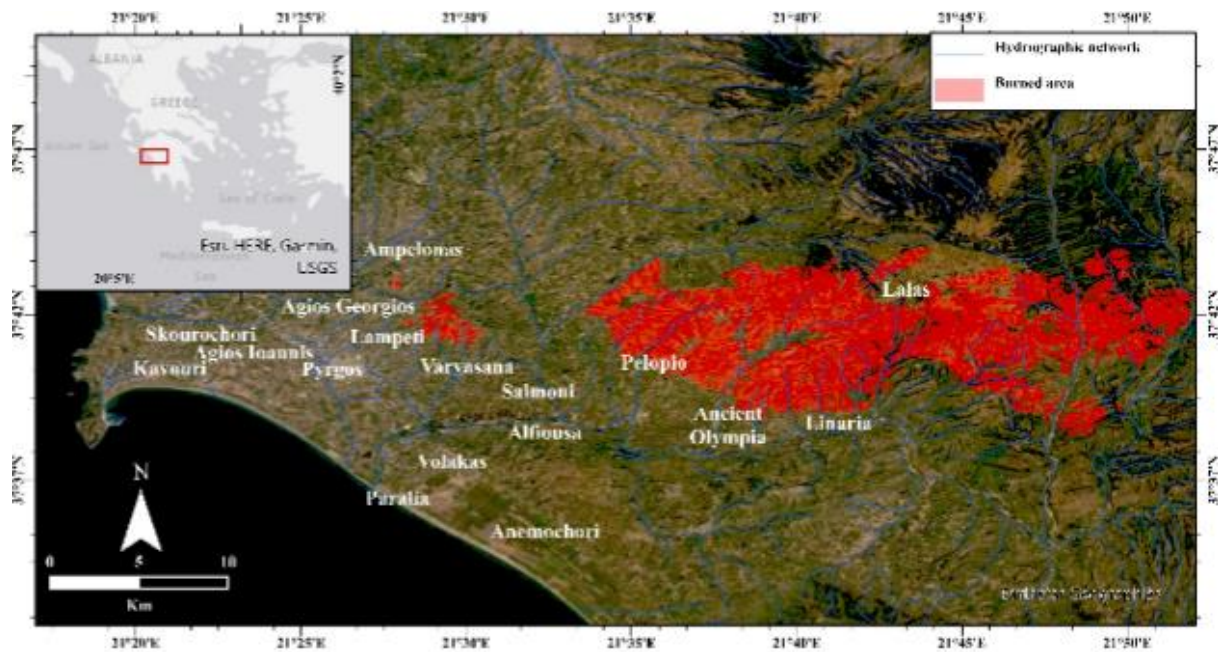
Πελοπόννησος

Στην Πελοπόννησο οι περιοχές που κάηκαν έφτασαν τα 290km² και αποτελούνταν από την Αρχαία Ολυμπία, Διαβολίτσι και Ανατολική Μάνη. Στην Αρχαία Ολυμπία η συνολική καμένη έκταση έφτασε τα 135km² και αποτελείται από ιζηματογενή πετρώματα. Στην Ολυμπία επηρεάστηκαν κυρίως καλλιέργειες αλλά και οικισμοί όπως το Λάλα και η ίδια η Αρχαία Ολυμπία, ενώ στο Διαβολίτσι και στη Μάνη κυριάρχησαν δασικές εκτάσεις και χαμηλή βλάστηση. Τα εδάφη αποτελούνται κυρίως από κλαστικά ιζήματα και ακτινόλιθο, με έντονες κλίσεις που φτάνουν ή και ξεπερνούν το 30%.



Εικόνα 18 Χάρτης απεικόνισης καμένων

περιοχών : Αττικής, Βόρειας Εύβοιας, Πελοποννήσου Evelpidou, Ν.κ.α. GIS-Based Assessment of Fire Effects on Flash Flood Hazard: The Case of the Summer 2021 Forest Fires in Greece. GeoHazards 2023, 4, 1–22



Εικόνα 19 Καμένη περιοχή στην Πελοπόννησο Evelpidou, Ν.κ.α. GIS-Based Assessment of Fire Effects on Flash Flood Hazard: The Case of the Summer 2021 Forest Fires in Greece. *GeoHazards* 2023, 4, 1–22

Μέθοδοι

Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των καμένων περιοχών αλλά και των ευρύτερων περιοχών. Τα δεδομένα προήλθαν από τη βιβλιογραφία, εργασία πεδίου, προηγούμενες μελέτες και μέσω των GIS, μέσα στα οποία έγινε η καταχώρηση του συνόλου των δεδομένων.

Ο κίνδυνος πλημμυρικών φαινομένων αξιολογήθηκε με τη χρήση μοντέλου βασισμένου στη λογική Boolean, όπου ελήφθησαν υπόψη παράμετροι όπως η κλίση του εδάφους, η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, η υδρολιθολογία και οι καμένες εκτάσεις. Για την ανάλυση αξιοποιήθηκε ψηφιακό μοντέλο εδάφους υψηλής ανάλυσης (5×5 m), το οποίο δημιουργήθηκε από τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:5000, εναέριες αποτυπώσεις με UAV και επιτόπιες μετρήσεις RTK-GNSS. Για την καλύτερη κατανόηση και αναγνώριση φυσικών χαρακτηριστικών των διαφορών δημιουργήθηκε DEM αρχείο.

Η λογική Boolean σε λειτουργίες προγραμματισμού υπολογιστών βασίζεται σε δύο τιμές αλήθειας (αληθές/ψευδές) και χρησιμοποιεί πράξεις όπως AND (σύζευξη), OR (διαχωρισμό) και NOT (άρνηση) για τη διαμόρφωση συνθηκών. Οι ίδιες πράξεις αποτελούν τη βάση των

λογικών λειτουργιών που συναντώνται σε γλώσσες προγραμματισμού ([Nagy, Abuhmaidan και Aldwairi, 2023](#))

Με βάση τα μορφομετρικά και φυσιογραφικά χαρακτηριστικά των περιοχών μελέτης, οι κανόνες εφαρμόστηκαν σε ένα πλέγμα $0,5 \times 0,5$ km, αντί απευθείας σε λεκάνες αποστράγγισης, λόγω των ανομοιογενών μεγεθών των λεκανών απορροής και χρησιμοποιήθηκαν παράμετροι όπως η κλίση του εδάφους, η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου, η υδρολιθολογία και κυρίως οι καμένες εκτάσεις. Όταν οι καμένες περιοχές συνδυάζονται με απότομη μορφολογία, υψηλή απορροή και αδιαπέραστο υπόβαθρο, αυξάνεται ο κίνδυνος πλημμύρας στις χαμηλότερες περιοχές. Το μοντέλο κατέταξε τον κίνδυνο σε πέντε κατηγορίες (πολύ υψηλός έως πολύ χαμηλός). Η παράμετρος «καμένη περιοχή» έλαβε το πιο σημαντικό βάρος στο προτεινόμενο μοντέλο. Αυτή η παράμετρος συσχετίστηκε στη συνέχεια με τις άλλες τρεις παραμέτρους - μορφολογική κλίση, πυκνότητα αποστράγγισης και υδρολιθολογία - για τη δημιουργία του χάρτη κινδύνου πλημμύρας για τις μεταγενέστερες περιοχές. Συγκεκριμένα, το μοντέλο δείχνει ότι τα επεισόδια πλημμυρών σε χαμηλά περιοχές είναι πιθανά όταν μια ανοδική περιοχή έχει μεγάλο ποσοστό καμένων πεδίων, σε συνδυασμό με απότομη τοπογραφία, υψηλή πυκνότητα αποστράγγισης και αδιαπέραστο υπόβαθρο. Οι λογικοί κανόνες επικυρώθηκαν έναντι πραγματικών συμβάντων πλημμύρας στη βόρεια Εύβοια, όπου το μοντέλο κατέταξε με ακρίβεια τον κίνδυνο ως υψηλό έως πολύ υψηλό σε μεταγενέστερες περιοχές.

Αποτελέσματα

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι περισσότερες καμένες εκτάσεις χαρακτηρίζονται από απότομες κλίσεις και πυκνά υδρογραφικά δίκτυα, γεγονός που αυξάνει την πιθανότητα πλημμυρών μετά από μεγάλες πυρκαγιές. Το φαινόμενο πλημμύρας αναμένεται να είναι πιο σοβαρό όταν συμβαίνει σε καμένη περιοχή από ό,τι σε περιοχή που δεν έχει πληγεί από πυρκαγιά.

Αττική

Οι τελικοί χάρτες πλημμυρικού κινδύνου για την περιοχή Βίλια της Αττικής δείχνουν ότι γύρω από τις καμένες εκτάσεις ο κίνδυνος είναι κυρίως χαμηλός έως μέτριος, λόγω των χαμηλών - μέτριων κλίσεων και της υδρολιθολογίας. Υψηλός κίνδυνος εμφανίζεται τοπικά βόρεια των καμένων περιοχών, ενώ νοτιότερα και χαμηλότερα κατά μήκος των λεκανών απορροής ο

κίνδυνος αυξάνεται, φτάνοντας σε επίπεδα μέτρια έως πολύ υψηλά. Στην περιοχή της Βαρυμπόμπης ο κίνδυνος πλημμύρας γύρω από τις καμένες εκτάσεις είναι χαμηλός έως μέτριος, όμως οι πεδινές εκτάσεις κατάντη, όπως η πεδιάδα του Κηφισού, εμφανίζουν πολύ υψηλό κίνδυνο λόγω της χαμηλής κλίσης και του μεγάλου ποσοστού καμένων εκτάσεων ανάντη. Στο Εθνικό Δάσος Σουνίου, οι κλίσεις είναι χαμηλές έως μέτριες και η υδρολιθολογία μέτρια έως υψηλή, με αραιό υδρογραφικό δίκτυο που περιορίζει τον κίνδυνο. Ωστόσο, στην ανατολική ζώνη της περιοχής ο κίνδυνος ανεβαίνει σε πολύ υψηλά επίπεδα εξαιτίας των χαμηλών κλίσεων κατάντη και των καμένων εκτάσεων ανάντη.

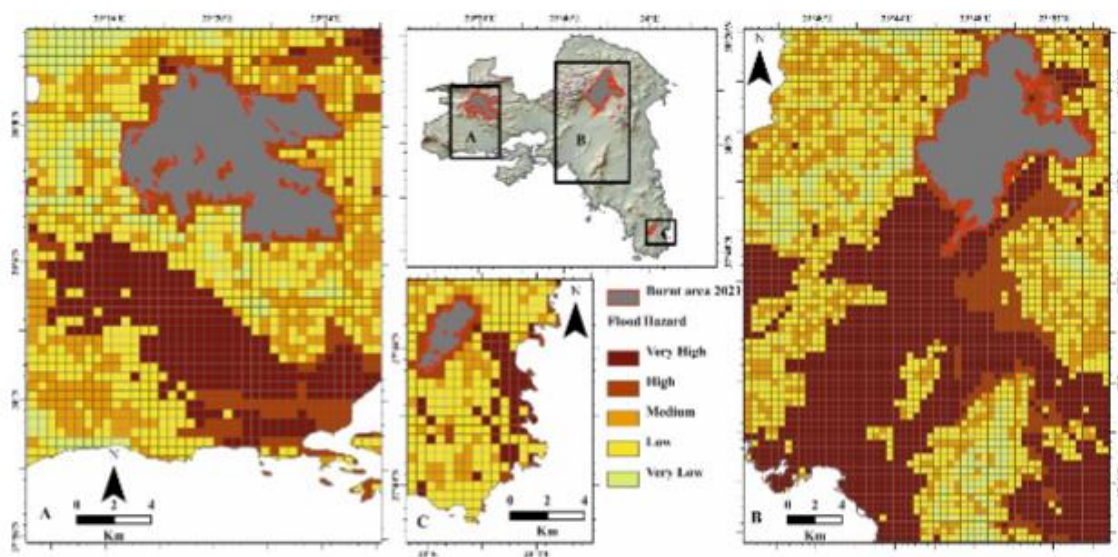


Figure 11. Flash flood hazard in the fire-affected area of Attica using a Boolean logic-based model: (A) Villia, (B) Varimpompi, and (C) Sounion National Forest.

Εικόνα 20 Αττική: χρήση Boolean logic-based model για την εμφάνιση πλημμυρών σε καμένες περιοχές Evelpidou, Ν.κ.α.

GIS-Based Assessment of Fire Effects on Flash Flood Hazard: The Case of the Summer 2021 Forest Fires in Greece.

GeoHazards 2023, 4, 1–22

Βόρεια Εύβοια

Η Βόρεια Εύβοια παρουσιάζει υψηλές τιμές κλίσεων, υδρολιθολογίας και πυκνότητας απορροής, με αποτέλεσμα ο κίνδυνος πλημμύρας να χαρακτηρίζεται κυρίως υψηλός έως πολύ υψηλός γύρω από τις καμένες εκτάσεις. Χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται μόνο στα νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά παράκτια τμήματα, ενώ πολλές περιοχές με υψηλό ή πολύ υψηλό κίνδυνο περιλαμβάνουν χωριά και μικρούς οικισμούς με σημαντικό πληθυσμό.

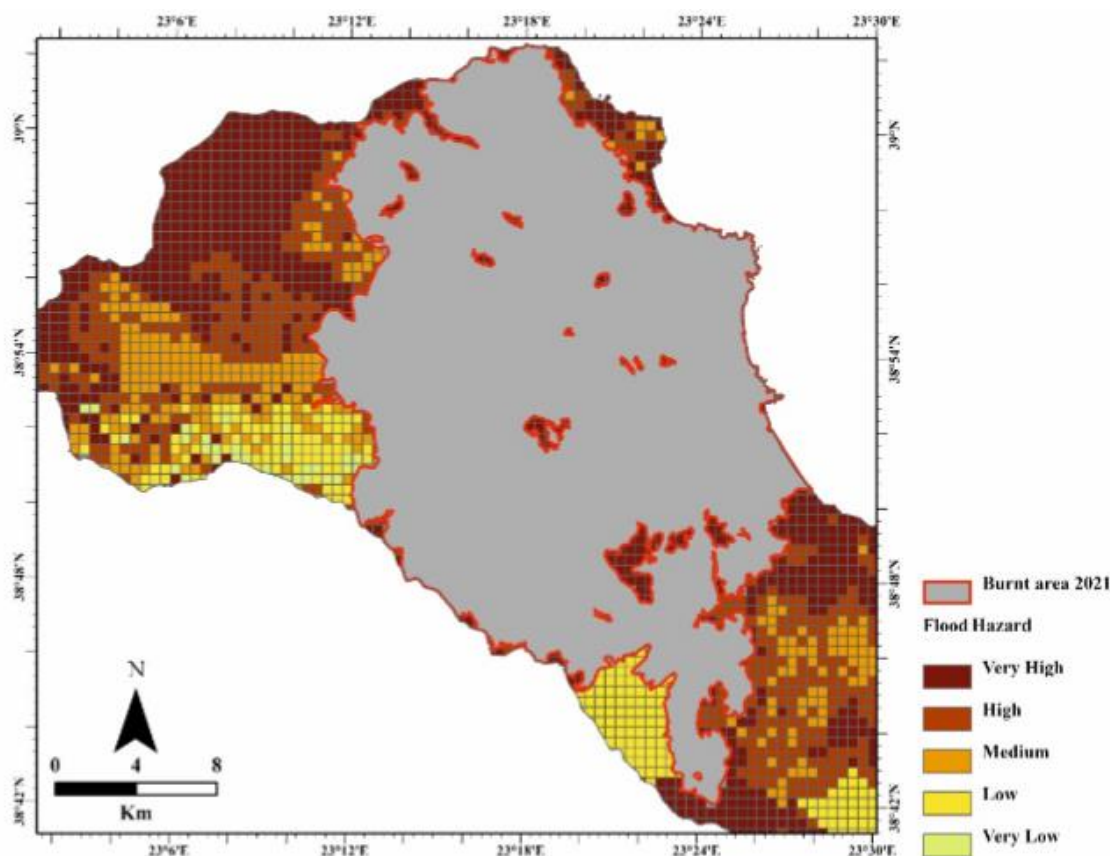


Figure 12. Flash flood hazard in the fire-affected area of northern Euboea using a Boolean logic-based model.

Εικόνα 21 Βόρεια Εύβοια: χρήση *Boolean logic-based model* για την εμφάνιση πλημμυρών σε καμένες περιοχές Envelpidou, Ν.κ.α. *GIS-Based Assessment of Fire Effects on Flash Flood Hazard: The Case of the Summer 2021 Forest Fires in Greece*. *GeoHazards* 2023, 4, 1–22

Πελοπόννησο

Στην Πελοπόννησο, η Αρχαία Ολυμπία παρουσιάζει κυρίως χαμηλές έως μέτριες κλίσεις, με μέτρια πυκνότητα απορροής, αλλά οι περιοχές κατάντη χαρακτηρίζονται από υψηλό έως πολύ υψηλό κίνδυνο πλημμύρας. Στο Διαβολίτσι, οι κλίσεις ποικίλλουν, ενώ γύρω από τα κύρια ρέματα η απορροή είναι αυξημένη, οδηγώντας σε υψηλό έως πολύ υψηλό κίνδυνο στις περιοχές κατάντη. Στη Μάνη, οι κλίσεις και η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου κυμαίνονται από μέσες έως πολύ υψηλές τιμές, με αποτέλεσμα γύρω από τις καμένες εκτάσεις ο κίνδυνος να είναι υψηλός και να αυξάνεται σε πολύ υψηλό κατάντη, μέχρι τη ζώνη της ακτής.

Σε όλες τις περιοχές μελέτης, εκτός από τη Βαρυμπόμπη, ο κίνδυνος πλημμύρας κατάντη των καμένων εκτάσεων κυμαίνεται από μέτριος έως πολύ υψηλός, αυξανόμενος όσο χαμηλώνει το υψόμετρο. Αυτό σχετίζεται με τα γεωμορφολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά, όπως οι

κλίσεις, η πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου και η υδρολιθολογία, που καθιστούν τις περιοχές αυτές ευάλωτες ακόμη και χωρίς την επίδραση πυρκαγιών. Μετά τις φωτιές, ο κίνδυνος πλημμυρών εντείνεται ακόμη περισσότερο, τόσο ως προς τη συχνότητα όσο και την ένταση των μελλοντικών φαινομένων.

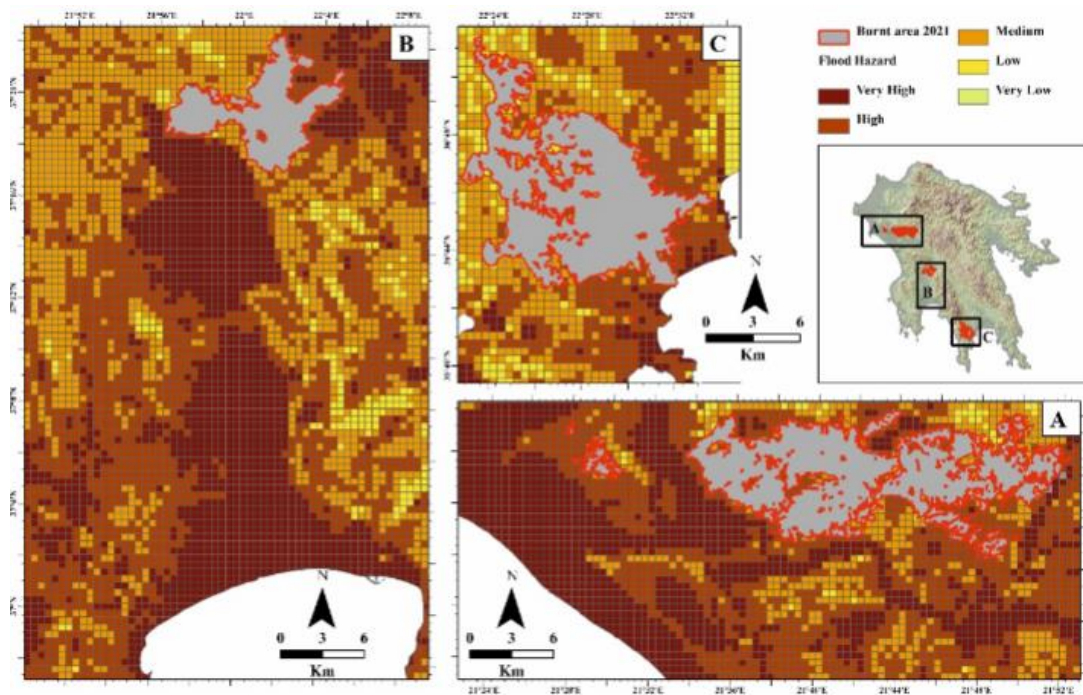


Figure 13. Flash flood hazard in the fire-affected area of Peloponnese using a Boolean logic-based model: (A) Ancient Olympia, (B) Diavolitsi, and (C) East Mani.

Εικόνα 22 Πελοπόννησος : χρήση Boolean logic-based model για την εμφάνιση πλημμυρών σε καμένες περιοχές Eneipidou, N.κ.α. GIS-Based Assessment of Fire Effects on Flash Flood Hazard: The Case of the Summer 2021 Forest Fires in Greece. GeoHazards 2023, 4, 1–22

Με την χρήση της λογικής Boolean με τις δύο τιμές 0 ή 1 η αλλιώς true ή wrong χωρίς ενδιάμεσες τιμές δεν αποδίδει απολύτως σωστά σε γεωγραφικές μελέτες επειδή οι τιμές είναι διακριτές και όχι συνεχείς. Αυτό σημαίνει ότι σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική μονάδα αποδίδεται μια ενιαία κατηγορία κινδύνου (π.χ. υψηλός ή μεσαίος) και οι ενδιάμεσες τιμές δεν αντιπροσωπεύονται μειώνοντας την ακρίβεια.

Η λογική Boolean έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές μελέτες εκτίμησης πλημμυρικού κινδύνου, βασιζόμενη σε γεωλογικά, γεωμορφολογικά και φυσιογραφικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής. Παρά την απλότητά της, συχνά η ακρίβεια είναι περιορισμένη. Αντίθετα, η ανάλυση μορφομετρικών χαρακτηριστικών μιας λεκάνης μπορεί να δώσει πιο ακριβή αποτελέσματα, καθώς λαμβάνει υπόψη παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την επικινδυνότητα πλημμυρών.

Ωστόσο, το μειονέκτημά της είναι ότι απαιτεί λεπτομερή μορφομετρικά δεδομένα, τα οποία συχνά δεν είναι διαθέσιμα σε ορεινές περιοχές όπως στην Ελλάδα και σε άλλες μεσογειακές χώρες.

Λίγες μελέτες έχουν συνδυάσει τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης με τη λογική Boolean για την εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου, ωστόσο ο συνδυασμός αυτός αυξάνει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Στη Νότια Γαλλία, έρευνες έδειξαν ότι οι καμένες περιοχές είχαν υψηλότερες παροχές αιχμής σε σχέση με τις δασωμένες ή αναδασωμένες, ενώ η παρουσία βλάστησης μείωνε σημαντικά την επιφανειακή απορροή. Στη βόρεια Εύβοια, μετά τις πυρκαγιές του 2021, οι λεκάνες εμφάνισαν αυξημένες παροχές αιχμής και μικρότερο χρόνο απόκρισης μεταξύ βροχής και πλημμύρας, επιβεβαιώνοντας την έντονη ευπάθεια της περιοχής. Στην Πελοπόννησο, μετά τις φωτιές του 2007, ο αριθμός πλημμυρικών γεγονότων σχεδόν τριπλασιάστηκε, ενώ αυξήθηκαν και τα φαινόμενα κατολισθήσεων. Στην Αττική, μελέτες έδειξαν ότι όσο μεγαλύτερη είναι η καμένη έκταση, τόσο υψηλότερες είναι οι παροχές αιχμής, με τη βροχόπτωση —και ιδιαίτερα η έντασή της— να αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα.

Οι μελέτες δείχνουν ότι οι πυρκαγιές αυξάνουν την ευπάθεια μιας περιοχής τόσο σε πλημμύρες όσο και σε φαινόμενα διάβρωσης, ιδιαίτερα στη Μεσόγειο όπου αυτά τα προβλήματα είναι ήδη έντονα. Η έρευνα σε Αττική, βόρεια Εύβοια και δυτική Πελοπόννησο έδειξε ότι οι περιοχές αυτές ήταν εξαρχής επιρρεπείς σε πλημμυρικά γεγονότα λόγω γεωλογικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών, αλλά μετά τις μεγάλες πυρκαγιές του 2021 ο κίνδυνος αυξάνεται σημαντικά. Στη βόρεια Εύβοια πιο επικίνδυνες περιοχές είναι οι Ροβιές, Νεοχώρι, Κρύα Βρύση, Βασιλικά, Αρτεμίσιο, Ιστιαία, Γούβες, Μαντούδι, Αγία Άννα και Λίμνη. Στην Αττική εντοπίζονται οι Αχαρνές, Μαρούσι, Ίλιον, Χαλάνδρι, Αιγάλεω, Καλλιθέα, Πειραιάς, Παιανία, Μέγαρο, Βλυχάδα, Νέα Πέραμος, Λάκκα Καλογήρου και Λαύριο. Στην Πελοπόννησο, επικίνδυνες περιοχές είναι το Διαβολίτσι, η Καλαμάτα, το Μελιγαλά, το Γύθειο, το Μαυροβούνι, ο Πύργος, η Αρχαία Ολυμπία, το Πελόπιο και η Κρέστενα. Η πλημμύρα του Νοεμβρίου 2021 στην Ιστιαία, περιοχή που χαρακτηρίστηκε από το μοντέλο ως επικίνδυνη, επιβεβαίωσε τα αποτελέσματα της μελέτης.

Οι πυρκαγιές του καλοκαιριού 2021 ήταν από τις πιο καταστροφικές των τελευταίων δεκαετιών, με σοβαρές απώλειες στη βλάστηση και στα δάση, γεγονός που αύξησε σημαντικά τον κίνδυνο πλημμυρών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι περιοχές όπως η βόρεια Εύβοια, η δυτική Πελοπόννησος και το Σούνιο διαθέτουν γεωλογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά

που ευνοούν την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων μετά από φωτιές. Η μεγάλη έκταση των καμένων περιοχών καθιστά δύσκολη τη διαχείριση, γι' αυτό είναι κρίσιμο να εντοπίζονται οι πιο επικίνδυνες ζώνες και να σχεδιάζονται άμεσα έργα προστασίας για τον περιορισμό των επιπτώσεων, ιδιαίτερα σε κατοικημένες περιοχές. Η μεθοδολογία μπορεί να αξιοποιηθεί και σε μικρότερης κλίμακας μελέτες παγκοσμίως, ενώ μελλοντικά μπορεί να ενσωματώσει και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες.

4.Μελέτη Περίπτωσης στη Προστασία του Περιβάλλοντος: Πρόβλεψη και κατανόηση του κινδύνου πυρκαγιάς με Deep Learning

Η μελέτη των Kondylatos et al. (2022) - Wildfire danger prediction and understanding with Deep Learning - εντάσσεται στο πεδίο της περιβαλλοντικής προστασίας και εστιάζει σε ένα φαινόμενο με ιδιαίτερα καταστροφικές συνέπειες, τις δασικές πυρκαγιές. Οι ερευνητές, στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής, αξιοποίησαν μεθόδους βαθιάς μάθησης (Deep Learning) με σκοπό αφενός τη βελτίωση της πρόβλεψης εκδήλωσης πυρκαγιάς σε ημερήσια βάση και αφετέρου την εις βάθος κατανόηση των υποκείμενων παραγόντων που συντελούν στην εκδήλωσή τους.

Πολλές μελέτες έχουν επικεντρωθεί κυρίως στη σύνδεση μεταξύ του καιρού και της δραστηριότητας της πυρκαγιάς με επακόλουθο ότι ο καιρός είναι αυτός διαδραματίζει τον σημαντικότερο ρόλο. Εξαιτίας των διαφορετικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των παραγόντων πυρκαγιάς είναι δύσκολο να μοντελοποιηθούν συνεπώς ο κίνδυνος πυρκαγιάς της επόμενης μέρας προβλέπεται κυρίως από τον Δείκτη Καιρού Πυρκαγιάς (Fire Weather Index-FWI) ο οποίος βασίζεται μόνο στις μετεωρολογικές συνθήκες. Στην παρούσα μελέτη δίνεται έμφαση στη ποσοτικοποίηση της χωροχρονικής συμβολής όλων των παραγόντων πυρκαγιάς κατά τη πρόβλεψη του κινδύνου πυρκαγιάς της επόμενης μέρας.

Συγκεκριμένα στην προαναφερόμενη μελέτη αξιοποιήθηκε η χρήση της Deep Learning (DL), για την πρόβλεψη του κινδύνου πυρκαγιάς την επόμενη ημέρα στην Ανατολική Μεσόγειο και ειδικότερα στην περιοχή της Ελλάδος που είναι επιρρεπείς σε πυρκαγιές και η εξηγήσιμη τεχνητή νοημοσύνη (xAI - explainable Artificial Intelligence) για την κατανόηση των μεταβλητών που επηρεάζουν τις προβλέψεις και πρόσθετα πώς τα μοντέλα κάνουν προβλέψεις και ποιες μεταβλητές συμβάλλουν περισσότερο στα γεγονότα πυρκαγιάς. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε ένα ολοκληρωμένο σύνολο δεδομένων μεταξύ των ετών 2009–2021 με πληροφορίες για βλάστηση, υγρασία, ανθρώπινους παράγοντες, καιρικές συνθήκες και

δορυφορικά δεδομένα καμένων περιοχών. Ακολούθησε η εκπαίδευση των μοντέλων ώστε να συλλαμβάνουν χωροχρονικά πλαίσια κρίσιμα για τη δυναμική των πυρκαγιών και στη συνέχεια αξιολογήθηκε η απόδοση του μοντέλου χρησιμοποιώντας δεδομένα από δύο ξεχωριστές εποχές πυρκαγιάς (2020 και 2021) και συγκρίθηκε με τον δείκτη FWI και μεθόδους μηχανικής μάθησης συγκεκριμένα των Random Forest και XGBoost. Με τη χρήση xAI αναγνωρίστηκαν οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την εμφάνιση και την εξέλιξη των πυρκαγιών, ενώ παράλληλα αναδείχθηκε η χρονική τους επίδραση.

Δεδομένα

Μέσω της χρήσης ενός πολυδιάστατου συνόλου δεδομένων, ανάλυσης $1\text{ km} \times 1\text{ km} \times 1$ ημέρας που περιέχει 90 μεταβλητές που σχετίζονται με την εμφάνιση και την εξάπλωση πυρκαγιάς των ετών 2009-2021 και 25 επιλέχθηκαν ειδικά για να χρησιμοποιηθούν ως προγνωστικοί παράγοντες στα μοντέλα πρόβλεψης πυρκαγιάς, δείχνει στην ουσία ότι η γεωγραφική περιοχή χωρίζεται σε κελιά πλέγματος, το καθένα μετρά 1 χιλιόμετρο επί 1 χιλιόμετρο το οποίο βοηθά στην λεπτομερέστερη τοπική ανάλυση παραγόντων που επηρεάζουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς, όπως συγκεκριμένοι τύποι κάλυψης γης, τοπικές καιρικές συνθήκες ή πρότυπα ανθρώπινης δραστηριότητας. Επιπλέον, γίνεται σε συχνή βάση ανά ημέρα που σημαίνει ότι οι περιβαλλοντικές συνθήκες που σχετίζονται με τον κίνδυνο πυρκαγιάς, επιτρέπει στα μοντέλα Deep Learning να μάθουν για τη χρονική συμπεριφορά των μεταβλητών.

Οι 25 παράγοντες πρόγνωσης αποτελούνται από:

- Ημερήσια Μετεωρολογικά δεδομένα από το ERA-5 Land: μέγιστης θερμοκρασίας 2 μέτρων, της μέγιστης ταχύτητας ανέμου, της ελάχιστης σχετικής υγρασίας, της συνολικής βροχόπτωσης, της μέγιστης θερμοκρασίας σημείου δρόσου 2 μέτρων και της μέγιστης επιφανειακής πίεσης, επιλέχθηκαν επειδή οι ημερήσιες συγκεντρώσεις τους αντιπροσωπεύουν τις πιο επιδεινωτικές συνθήκες πυρκαγιάς.
- Μεταβλητές από δορυφόρους από το MODIS: ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (NDVI), η θερμοκρασία επιφάνειας γης ημέρας και νύχτας (LST),
- Δείκτης υγρασίας εδάφους (δείκτης υγρασίας εδάφους από το Ευρωπαϊκό Παρατηρητήριο Ξηρασίας)

- Πληροφορίες για αποστάσεις οδών και πλωτών, ετήσια πυκνότητα πληθυσμού (από το WorldPop), το υψόμετρο και τη κλίση από το Copernicus EU-DEM
- Δέκα μεταβλητές που αντιπροσωπεύουν το κλάσμα των τάξεων από το Copernicus Corine Land Cover

Στη συνέχεια ορίζεται η μεταβλητή-στόχος, ή «predictand» και πώς χρησιμοποιούνται τα δεδομένα εισόδου για ανάλυση όπου η μεταβλητή είναι οι ιστορικές καμένες περιοχές άνω των 30 εκταρίων καταγεγραμμένες από το European Forest Fire Information System και για να προσδιοριστεί η ακριβής ημερομηνία έναρξης αυτών των πυρκαγιών, οι ιστορικές καμένες περιοχές διασταυρώνονται με δεδομένα ενεργών πυρκαγιών του MODIS ώστε να οριστεί ο κίνδυνος πυρκαγιάς και να γίνει ανάλυση της κατανομής των μεταβλητών εισόδου για να κατανοήσουμε τη σχέση τους με καμένες και μη περιοχές. Επιπλέον, χρησιμοποιείται κύβος δεδομένων για να εξεταστούν οι κατανομές διαφόρων μεταβλητών εισόδου. Μέσω της απεικόνισης της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας των μεταβλητών εισόδου για κελιά πλέγματος που είτε έκαψαν είτε δεν κάηκαν την επόμενη μέρα, βοηθά στην κατανόηση των «αλληλεπιδράσεων κατά ζεύγη» μεταξύ αυτών των μεταβλητών, που σημαίνει πώς διαφορετικές μεταβλητές σχετίζονται μεταξύ τους στο πλαίσιο των γεγονότων πυρκαγιάς.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι οι πυρκαγιές είναι πολύπλοκα φαινόμενα που οδηγούνται από πολλαπλούς αλληλεπιδρώντες παράγοντες, δείχνοντας ξεχωριστά μοτίβα σε περιβαλλοντικές μεταβλητές αναλόγως των συνθηκών. Στην προκειμένη περίπτωση, οι περιοχές που κάηκαν τείνουν να έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες, χαμηλότερες βροχοπτώσεις, χαμηλότερη υγρασία του εδάφους και χαμηλότερη σχετική υγρασία. Αυτές οι συνθήκες συνδέονται διαισθητικά με αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς, καθώς υποδεικνύουν ξηρότερα περιβάλλοντα. Η «στοχαστικότητα της ανάφλεξης της φωτιάς» αναφέρεται στο γεγονός ότι συνθήκες που συνήθως σχετίζονται με τη φωτιά (όπως υψηλή θερμοκρασία και χαμηλή υγρασία) μπορεί να μην οδηγήσουν σε πυρκαγιά, ενώ άλλες φορές το κάνουν γεγονός που καταδεικνύει την εγγενή τυχαιότητα και την πολυπλοκότητα που εμπλέκονται στην έναρξη πυρκαγιάς. Βάσει των παραπάνω, οι προσεγγίσεις Μηχανικής Μάθησης (ML) είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για τη μοντελοποίηση πυρκαγιών καθώς μπορούν να χειριστούν τις περίπλοκες, μη γραμμικές σχέσεις και αβεβαιότητες που υπάρχουν στα δεδομένα σε σχέση με παραδοσιακά μοντέλα.

Μέθοδοι

Η πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιών με Μηχανική Μάθηση (ML) παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις, καθώς οι πυρκαγιές προκύπτουν από πολύπλοκες, μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις πολλών παραγόντων (Prapas et al., 2021). Επιπλέον, η εμφάνισή τους είναι στοχαστική – η απουσία πυρκαγιάς δεν σημαίνει απουσία κινδύνου. Για τον λόγο αυτό, δεν αρκεί η πρόβλεψη αλλά απαιτείται και ερμηνεία των μοντέλων, ώστε να κατανοηθούν οι καθοριστικοί παράγοντες.

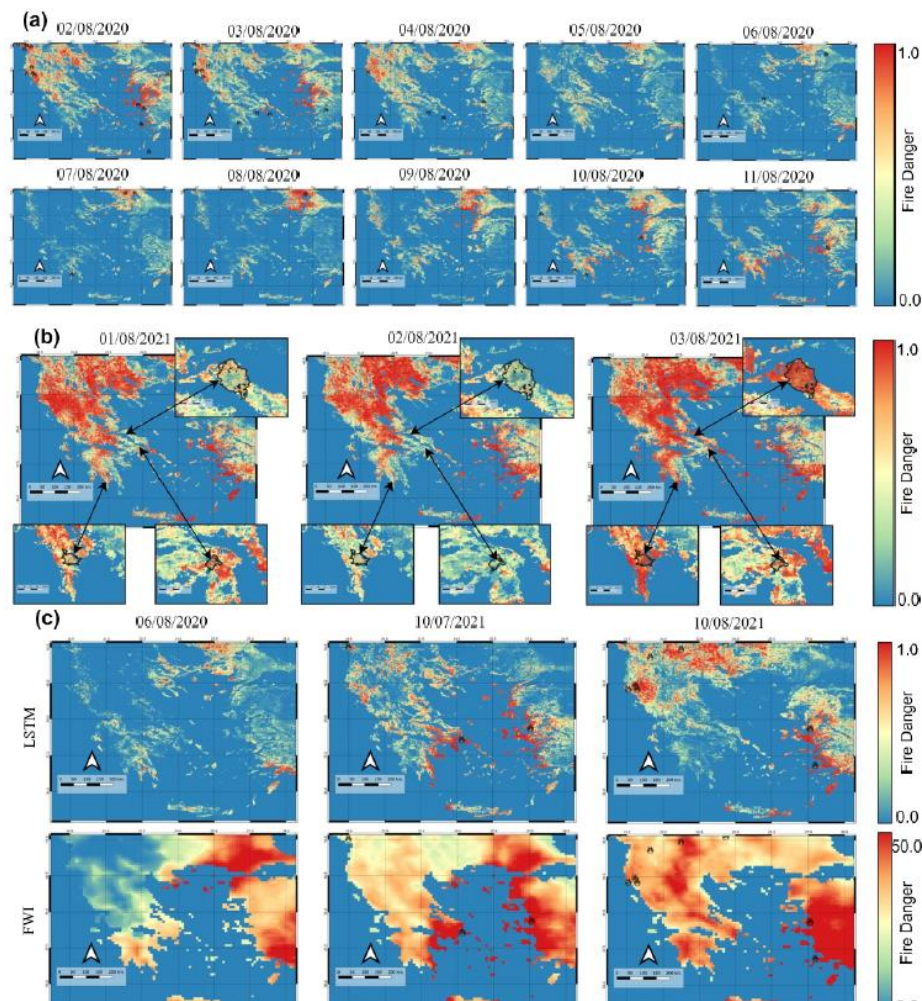
Η έννοια του fire danger ορίζεται ως οι συνθήκες που επιτρέπουν την ανάφλεξη και εξάπλωση πυρκαγιάς δηλαδή ο υψηλός κίνδυνος πυρκαγιάς συνδέεται με συνθήκες που οδηγούν σε «μεγάλες καμένες περιοχές (>30 εκτάρια)», ενώ ο χαμηλός κίνδυνος πυρκαγιάς συνεπάγεται την απουσία τέτοιων συνθηκών (Pettinari & Chuvieco, 2020). Στη μελέτη το πρόβλημα προσεγγίζεται ως δυαδική ταξινόμηση (0,1), με στόχο την πρόβλεψη της πιθανότητας εμφάνισης πυρκαγιάς σε συγκεκριμένο κελί. Για την πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιάς προετοιμάζονται και δομούνται σε τρεις διακριτές μεθόδους: βάσει περιστατικών, χρονικά και χωροχρονικά όπως:

- **Random Forest (RF) και XGBoost** για ανάλυση σεναρίων με βάση χαρακτηριστικά ημερήσιων και στατικών δεδομένων.
- **Long-Short Term Memory (LSTM)** για αξιοποίηση χρονικής συνέχειας (σειρές προηγούμενων ημερών).
- **Convolutional Long-Short Term Memory (ConvLSTM)** για συνδυασμό χωρικής και χρονικής πληροφορίας.

Η εκπαίδευση και αξιολόγηση των μοντέλων έγινε με δεδομένα 2009–2018 (training), 2019 (validation) και δύο διαφορετικές χρονιές δοκιμής: το 2020 ως «τυπική» αντιπυρική περίοδο και το 2021 ως «ακραία», λόγω πρωτοφανών θερμοκρασιών, χαμηλής υγρασίας και πολύ μεγάλης καμένης έκτασης (Oliveira et al., 2021 · Giannaros et al., 2022). Για την αντιμετώπιση της ανισορροπίας των δεδομένων όπου τα θετικά παραδείγματα (μεγάλες πυρκαγιές) είναι εγγενώς περιορισμένα, η μελέτη ακολουθεί μια στρατηγική από τους Huot et al. (2020) για τη διαχείριση της ανισορροπίας δεδομένων και δοκιμάζουν δύο φορές περισσότερα αρνητικά από τα θετικά. Αυτή η υπερδειγματοληψία της αρνητικής τάξης βοηθά στην αύξηση του συνολικού

αριθμού σημείων δεδομένων εκπαίδευσης χωρίς τη δημιουργία ενός σοβαρά ανισορροπημένου συνόλου δεδομένων, το οποίο μπορεί να στρέψει τα μοντέλα προς την τάξη πλειοψηφίας. Επιπλέον, τα επιλεγμένα αρνητικά παραδείγματα επιλέγονται για να έχουν παρόμοιους τύπους κάλυψης γης με τα θετικά παραδείγματα, εμποδίζοντας το μοντέλο να μάθει ασήμαντες χαρτογραφήσεις που βασίζονται αποκλειστικά στην κάλυψη γης. Τα αποτελέσματα μετρήθηκαν με Precision, Recall, F1-score και AUROC, δείχνοντας ότι τα ML μοντέλα υπερέχουν έναντι του κλασικού Fire Weather Index.

Τέλος, η ερμηνεία ενισχύθηκε με τεχνικές Explainable AI (xAI), όπως οι SHAP values, τα Partial Dependency Plots και οι Integrated Gradients, οι οποίες ανέδειξαν ποιοι παράγοντες (π.χ. υγρασία εδάφους, θερμοκρασία) καθορίζουν περισσότερο τις προβλέψεις. Με τον τρόπο αυτό καλύπτεται η ανάγκη όχι μόνο για ακριβείς προβλέψεις αλλά και για διαφάνεια και κατανόηση των μηχανισμών που οδηγούν σε ακραίες πυρκαγιές.



Εικόνα 23 α) Χάρτες κινδύνου πυρκαγιάς για 10 διαδοχικές ημέρες έτος 2020 από LSTM. Τα μαύρα σύμβολα πυρκαγιάς αντιπροσωπεύουν τις αναφλέξεις πυρκαγιάς για εκείνη την μέρα β) Χρονική εξέλιξη του κινδύνου πυρκαγιάς για 3 διαδοχικές μέρες του 2021, που οδήγησε σε ανάφλεξη τριών μεγάλων πυρκαγιών στη Ελλάδα στις 3/08/2021. Η μαύρη γραμμή στους μεγενθυμένους χάρτες δείχνει την τελική καμμένη έκταση κάθε συμβάντος γ) Χάρτες κινδύνου πυρκαγιάς που προκύπτουν από το LSTM και FWI για 3 μέρες. Τα μαύρα σύμβολα δείχνουν τις αναφλέξεις φωτιάς δ) Καμπύλες με τον μέσο όρο και τυπική απόκλιση

Αποτελέσματα & Συμπεράσματα

Η μελέτη σημειώνει μια συνολική βελτίωση στην απόδοση του μοντέλου το 2021, που αποδίδεται σε πιο διακριτά αρνητικά δείγματα και καλύτερη γενίκευση σε ακραίες συνθήκες.

Για την αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκαν δύο ξεχωριστά σύνολα δοκιμών, που αντιστοιχούν σε δεδομένα από το έτος 2020 και το έτος 2021. Τα μοντέλα βαθιάς μάθησης (DL), τα οποία περιλαμβάνουν μακροχρόνια βραχυπρόθεσμη μνήμη (LSTM) και ConvLSTM, ξεπέρασαν τα

μοντέλα Random Forest (RF) και XGBoost με βαθμολογία F1 μεγαλύτερη από **0,8** , υποδεικνύοντας ισχυρή απόδοση σε όλες τις μετρήσεις που αξιολογήθηκαν.

Βασικό πλεονέκτημα του Conv1sTM ήταν έδειξε μικρότερο αριθμό ψευδώς θετικών και υψηλότερη ακρίβεια που οφείλεται στην ικανότητά του να ενσωματώνει «χωρικό πλαίσιο», παρέχοντας μια πιο ολιστική άποψη των δεδομένων. Ενώ το μοντέλο LSTM πέτυχε τα λιγότερα ψευδή αρνητικά και την υψηλότερη ανάκληση. Η διαφορά στη βαθμολογία F1 μεταξύ LSTM και Conv1STM δεν ήταν σημαντική και αυτό υποδηλώνει ότι για την κλίμακα και τη χωρική ανάλυση που διερευνάται, το χρονικό πλαίσιο από μόνο του επαρκεί σε μεγάλο βαθμό για αποτελεσματική πρόβλεψη.

Τα μοντέλα είχαν γενικά καλύτερη απόδοση το 2021 σε σύγκριση με το 2020 σε όλες τις μετρήσεις. Αυτή η βελτίωση συνδέεται με το γεγονός ότι τα αρνητικά παραδείγματα (γεγονότα χωρίς πυρκαγιά) ήταν πιο διακριτά το 2021. Αυτό οφειλόταν σε μια στρατηγική δειγματοληψίας όπου ελήφθησαν περισσότερα αρνητικά εκτός της θερινής περιόδου, καθιστώντας ευκολότερη την ταξινόμησή τους. Η υψηλότερη ανάκληση που παρατηρήθηκε το 2021 υποδηλώνει ότι τα μοντέλα γενικεύτηκαν αποτελεσματικά σε ακραίες συνθήκες πυρκαγιάς.

Αυτή η γενίκευση είναι σημαντική επειδή, ενώ ο υψηλός κίνδυνος πυρκαγιάς συνδέεται διαισθητικά με τις υψηλές θερμοκρασίες και τη χαμηλή υγρασία, τα μοντέλα μπόρεσαν να μάθουν αυτές τις συσχετίσεις παρόλο που τέτοιες ακραίες συνθήκες δεν υπήρχαν συχνά κατά τη φάση της προπόνησής τους.

Η απόδοση των μοντέλων DL συγκρίθηκε με τον δείκτη FWI, που χρησιμοποιείται στην πράξη για τη διαχείριση πυρκαγιών. Ο FWI υπολογίστηκε σε ανάλυση 9×9 km με μετεωρολογικά δεδομένα ERA-5 Land, και οι προβλέψεις των μοντέλων προσαρμόστηκαν στην ίδια ανάλυση για δίκαιη σύγκριση. Η αξιολόγηση έγινε για τα έτη 2020 και 2021 με ROC curves και AUROC, με επαναλήψεις για αξιοπιστία.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όλα τα μοντέλα ML ξεπέρασαν τον FWI, με τα DL να έχουν την καλύτερη απόδοση χάρη στη δυνατότητά τους να λαμβάνουν υπόψη τη χρονική και χωροχρονική εξέλιξη των παραγόντων. Επιπλέον, οι χάρτες του LSTM έδωσαν λεπτομερέστερες προβλέψεις, ενώ ο FWI συχνά υπερεκτίμησε τον κίνδυνο.

Ωστόσο, ο FWI παραμένει χρήσιμος, καθώς είναι απλός, ερμηνεύσιμος και δοκιμασμένος στο χρόνο και βασίζεται σε καιρικές συνθήκες χωρίς να λαμβάνει υπόψη του καμένες εκτάσεις, ενώ τα μοντέλα DL χρειάζονται περαιτέρω ανάλυση με xAI για να ενισχυθεί η αξιοπιστία τους.

Η ποιοτική αξιολόγηση, ιδιαίτερα μέσω της ανάλυσης χαρτών κινδύνου και της απόδοσης του μοντέλου κατά την ακραία περίοδο πυρκαγιάς του 2021, επιβεβαιώνει την ισχυρή ικανότητα του μοντέλου LSTM να προβλέπει και να οριοθετεί με ακρίβεια τον κίνδυνο πυρκαγιάς, αποδεικνύοντας την ικανότητά του να παρέχει έγκαιρες προειδοποιήσεις για σημαντικά γεγονότα πυρκαγιάς.

Η ανάλυση με xAI έδειξε ποιες μεταβλητές επηρεάζουν περισσότερο την πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιάς. Οι σημαντικότερες είναι η υγρασία εδάφους και αέρα, η θερμοκρασία (ημέρας και νύχτας), ο δείκτης βλάστησης (NDVI) και η ταχύτητα ανέμου. Χαμηλή υγρασία και πολύ ζέστη αυξάνουν τον κίνδυνο, ενώ η υγιής/υγρή βλάστηση μπορεί να λειτουργήσει αποτρεπτικά. Ο άνεμος επηρεάζει έντονα την εξάπλωση, αλλά δεν αρκεί από μόνος του για μεγάλες πυρκαγιές.

Η μελέτη του χρόνου έδειξε ότι κάποιες μεταβλητές, όπως η σχετική υγρασία και ο άνεμος, γίνονται κρίσιμες λίγο πριν ξεκινήσει η πυρκαγιά, ενώ άλλες, όπως η θερμοκρασία και η βροχή, δρουν αθροιστικά σε βάθος ημερών. Έτσι, το μοντέλο μπορεί να ξεχωρίσει διαφορετικούς τύπους μεγάλων πυρκαγιών: αυτές που οφείλονται κυρίως σε χαμηλή υγρασία και αυτές που τροφοδοτούνται από ισχυρούς ανέμους.

Τέλος, η πρόβλεψη του κινδύνου πυρκαγιάς είναι ιδιαίτερα σύνθετη, καθώς επηρεάζεται από πολλούς και μη γραμμικούς παράγοντες. Τα μοντέλα βαθιάς μάθησης αποδείχθηκαν πιο ακριβή από τον δείκτη FWI, ακόμη και σε ακραίες συνθήκες όπως το καλοκαίρι του 2021. Μέσα από την εφαρμογή xAI αναδείχθηκε η σημασία μεταβλητών όπως η βλάστηση, η υγρασία εδάφους και αέρα, η θερμοκρασία, η βροχόπτωση και ο άνεμος. Η ανάλυση έδειξε ότι κάποιες πυρκαγιές συνδέονται κυρίως με ξηρασία και άλλες με έντονους ανέμους, ενώ η χρονική διάσταση των παραγόντων παίζει καθοριστικό ρόλο. Συνολικά, τα μοντέλα βαθιάς μάθησης προσφέρουν πιο αξιόπιστες προβλέψεις και καλύτερη κατανόηση της δυναμικής των πυρκαγιών.

5.Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, στις προαναφερόμενες μελέτες διαπιστώνεται η επιτακτική ανάγκη χρήσης νέων τεχνολογιών όπως της Τεχνητής Νοημοσύνης, των δορυφορικών συστημάτων και των GIS ώστε να προβλέπονται και να αντιμετωπίζονται επίκαιρα ζητήματα και προβλήματα που εμφανίζονται συχνότερα και εντονότερα λόγω της κλιματικής αλλαγής. Οι μελέτες που αναλύθηκαν ανέδειξαν διαφορετικές πτυχές της συμβολής των νέων τεχνολογιών στην περιβαλλοντική προστασία και τη διαχείριση φυσικών καταστροφών, προσφέροντας παράλληλα καινοτόμες μεθοδολογίες.

Συγκεκριμένα, η ανάλυση των μελετών περίπτωσης ανέδειξε ότι η σύνδεση **Τεχνητής Νοημοσύνης (AI), Μηχανικής/Βαθιάς Μάθησης (ML/DL)** και **Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS)** αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την πρόληψη και διαχείριση φυσικών καταστροφών. Σύμφωνα με τη συστηματική ανασκόπηση των **Diehr et al. (2025)**, η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών ενισχύει την ανθεκτικότητα, βελτιώνει την περιβαλλοντική παρακολούθηση και δημιουργεί νέα εργαλεία οπτικοποίησης που είναι κατανοητά ακόμη και από μη ειδικούς λήπτες αποφάσεων. Με αυτό τον τρόπο έγινε συγκέντρωση και κατηγοριοποίηση πλήθος ερευνών διεθνώς, αποδεικνύοντας ότι η συνέργεια AI, ML και GIS δεν αποτελεί πλέον μεμονωμένη τάση αλλά θεμελιώδη κατεύθυνση για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας απέναντι στην κλιματική αλλαγή.

Από την μια πλευρά με την έρευνα των **Evelpidou et al. (2023)**, με επίκεντρο τις πυρκαγιές του έτους 2021 στην Ελλάδα, ανέδειξαν τη σημασία της χρήσης των GIS με την αποτύπωση των χωρικών διαστάσεων κινδύνων σε σχέση με τις πλημμύρες. Στη συνέχεια, στη μελέτη των **Kondylatos et al. (2022)**, η εφαρμογή μεθόδων βαθιάς μάθησης (Deep Learning) και επεξηγήσιμης τεχνητής νοημοσύνης αποτέλεσε ουσιαστική καινοτομία, καθώς επέτρεψε την ακριβέστερη πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιάς σε σχέση με τους παραδοσιακούς δείκτες, ενώ παράλληλα παρείχε διαφάνεια για τους καθοριστικούς παράγοντες που επηρεάζουν την εξέλιξη των φαινομένων. Η εργασία των **Boulouard et al. (2022)** επικεντρώθηκε σε ένα τεχνικό αλλά καθοριστικό ζήτημα: το πρόβλημα της ανισορροπίας δεδομένων. Εκτός από την εισαγωγή της μεθόδου SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique), η μελέτη αξιολόγησε και άλλες τεχνικές εξισορρόπησης, αποδεικνύοντας ότι η σωστή προεπεξεργασία μπορεί να βελτιώσει ουσιαστικά την απόδοση των μοντέλων στην πρόβλεψη σπάνιων αλλά κρίσιμων

φαινομένων, όπως πλημμύρες ή κατολισθήσεις. Με τον τρόπο αυτό ανέδειξε ότι η αξιοπιστία των συστημάτων ΑΙ δεν εξαρτάται μόνο από την πολυπλοκότητα των αλγορίθμων, αλλά και από την ποιότητα και ισορροπία των δεδομένων που τα τροφοδοτούν.

Οι έρευνες που μελετήθηκαν παραπάνω είχαν κάποια κοινά στοιχεία μεταξύ τους όπως τις πηγές δεδομένων, τις τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν, οι στόχοι αλλά και ο σκοπός για τον οποίον πραγματοποιήθηκαν.

Αρχικά, οι πηγές δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο ήταν δορυφορικά δεδομένα, κλιματικά και μετεωρολογικά δεδομένα και μέσω αισθητήρων- IoT. Στην μελέτη των Kondylatos et al. (2022) χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα από MODIS (NDVI, Land Surface Temperature), Copernicus EU-DEM (υψόμετρο/κλίση), Copernicus Corine Land Cover και από EUMETSAT & ERA5-Land. Στη μελέτη Evelpidou et al. (2023) τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κυρίως από Corine Land Cover 2018 για την ταξινόμηση κάλυψης γης και στη μελέτη Boulouard et al. (2022) χρησιμοποιήθηκαν Sentinel-1 δεδομένα (ESA) για πλημμυρική ανάλυση και ταξινόμηση. Ενώ οι Diehr et al. (2025) χρησιμοποιούν ανασκόπηση παραδειγμάτων με Sentinel-1/2, Landsat, MODIS, Copernicus datasets.

Στη συνέχεια, οι κύριες και κοινές τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα GIS για ανάλυση χωρικών δεδομένων, μοντελοποίηση κινδύνων και οπτικοποίηση μέσω χαρτών. Machine Learning (ML) και Deep Learning (DL) συγκεκριμένα Random Forest, Decision Trees, LSTM, CNN για την ανάλυση σχέσεων. Τα Artificial Intelligence of Things (AIoT) για real-time παρακολούθηση και πρόβλεψη με παράδειγμα την AIoT αρχιτεκτονική για παρακολούθηση πλημμυρών με LoRaWAN + cloud AI μοντέλα. Καθώς τα Big Data Analytics και Explainable AI (xAI) για Ανάλυση τεράστιων datasets από δορυφορικά, αισθητήρες και για κατανόηση του ρόλου μεταβλητών αντίστοιχα.

Επιπλέον, προκύπτουν κοινοί στόχοι όπως:

1. Έγκαιρη πρόβλεψη φυσικών καταστροφών: οι μελέτες στοχεύουν να βελτιώσουν τη δυνατότητα πρόβλεψης (πότε, πού και πόσο σοβαρά θα εκδηλωθεί ένα φαινόμενο).
2. Ενσωμάτωση πολλαπλών πηγών δεδομένων: γεγονός που ενισχύει την αξιοπιστία των μοντέλων.
3. Ανάδειξη της Τεχνητής Νοημοσύνης και των σύγχρονων τεχνολογιών και

4. Διαχείριση κινδύνων και υποστήριξη λήψης αποφάσεων.

Επιπρόσθετα να τονισθεί ότι υπήρχαν μερικοί περιορισμοί στις περισσότερες μελέτες. Συγκεκριμένα, στη μελέτη των Evelpidou et al. (2023), μειονέκτημα στην εφαρμογή της λογικής Boolean στην αξιολόγηση κινδύνου φυσικών καταστροφών, είναι ότι η ακρίβεια για μεμονωμένες γεωγραφικές μονάδες δεν είναι πάντα υψηλή επειδή οι τιμές κινδύνου δεν είναι συνεχείς. Για παράδειγμα, εάν ο κίνδυνος κατηγοριοποιηθεί σε διακριτές τιμές όπως χαμηλή, μέση, υψηλή και πολύ υψηλή, σε κάθε γεωγραφική μονάδα θα εκχωρηθεί μόνο μία από αυτές τις τιμές και οι ενδιάμεσες τιμές θα απουσιάζουν από τον παραγόμενο χάρτη, παρόλο που υπάρχουν στην πραγματικότητα. Στην ουσία, η αδυναμία της είναι ότι δεν μπορεί να συλλάβει το συνεχές φάσμα των τιμών κινδύνου που μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη ακρίβεια.

Στην έρευνα των Kondylatos et al. (2022), προσδιορίζονται περιορισμοί που σχετίζονται με το πεδίο εφαρμογής του μοντέλου και την πολυπλοκότητα των φαινομένων πυρκαγιάς. Αρχικά, η πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιάς λόγω της στοχαστικής φύσης της πυρκαγιάς είναι δύσκολη το οποίο σημαίνει η απουσία ενός γεγονότος πυρκαγιάς δεν σημαίνει απαραίτητα απουσία κινδύνου πυρκαγιάς. Συνεπώς, οι πολύπλοκες και μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις περιπλέκουν τις προβλέψεις.

Ένα κύριο ζήτημα στην έρευνα των Boulouard et al. (2022), ήταν ότι η μελέτη επικεντρωνόταν στην έρευνα ενός ποταμού την φορά, γεγονός που εγείρει ερωτηματικά που αφορούν την επεκτασιμότητα του AIoT και των Big Data Analytics. Μια πτυχή που χρήζει βελτίωσης αφορά την κατανάλωση ενέργειας όπου οι μελλοντικές εργασίες στοχεύουν στην περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στο επίπεδο αισθητήρων, ιδιαίτερα για εργασίες αναμετάδοσης δεδομένων. Επίσης, οι προσπάθειες στο μέλλον θα αφορούν δυνατότητες εφαρμογής μοντέλων μηχανικής μάθησης απευθείας μέσα σε μικροελεγκτές σε κάθε τοπικό κόμβο.

Σύμφωνα με το προαναφερόμενα, ο απώτερος σκοπός των ερευνών αυτών αποσκοπεί στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας απέναντι στις φυσικές καταστροφές που είναι όλο και αυξανόμενες λόγω τις κλιματικής αλλαγής, η οποία θα οδηγήσει στη μείωση απωλειών ανθρώπινων ζώων, του περιβάλλοντος, των υποδομών μέσω της καλύτερης πρόληψης και προετοιμασίας. Επιπρόσθετα, με την ανάπτυξη αξιόπιστων και διαφανών συστημάτων διασφαλίζεται η ευρεία χρήση τους.

Συμπερασματικά, οι μελέτες αποσκοπούν στη δημιουργία έξυπνων, ολοκληρωμένων και αξιόπιστων συστημάτων πρόβλεψης και διαχείρισης φυσικών κινδύνων, με βασικό κοινό νήμα την προστασία κοινωνίας και περιβάλλοντος σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής.

Προτάσεις

Λαμβάνοντας υπόψη τις προαναφερθείσες μελέτες, διαπιστώνονται ελλείψεις σε διάφορους τομείς που σχετίζονται με τη διαχείριση του περιβάλλοντος και καταστροφών στην Ελλάδα. Παρόλα αυτά, η αξιοποίηση των σύγχρονων τεχνολογιών θα μπορούσε να συμβάλει ουσιαστικά στην πρόβλεψη, διαχείριση και αντιμετώπιση προβλημάτων που προκύπτουν κάτω από τις συνθήκες τις κλιματικής αλλαγής.

Όσον αφορά την Ελλάδα είναι μια χώρα ευάλωτη σε φυσικές καταστροφές λόγω της γεωγραφικής της τοποθεσίας και κλιματολογίας και χρήζει μέτρων για αποτελεσματική διαχείριση. Συνεπώς, οι ελλείψεις που παρατηρούνται σε θέματα διαχείρισης δασικών πόρων πρέπει να αντιμετωπιστούν, καθώς η υποστελέχωση των αρμόδιων υπηρεσιών, η έλλειψη κονδυλίων ή κακή διαχείριση αυτών και η έλλειψη των κατάλληλων εργαλείων και κυρίως η μη εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογιών οδηγούν σε συνθήκες υποβάθμισης του περιβάλλοντος (ypaithros.gr,2025). Οι επικρατούσες συνθήκες των δασικών υπηρεσιών στην Ελλάδα:

η ψηφιοποίηση δασικών χαρτών είναι σε εξέλιξη μέσω του Εθνικού Κτηματολογίου, κάμερες παρακολούθησης σε δασικές περιοχές είναι περιορισμένες αλλά και η χρήση δορυφορικών δεδομένων γίνονται σε δεύτερο χρόνο και όχι πραγματικό για την πρόληψη πυρκαγιών (Maniadaki et al., 2021)

Σύμφωνα με (San-Miguel-Ayanz, et al, 2024), το έτος 2023, ο αριθμός πυρκαγιών εντός ελλαδικού χώρου δεν ήταν υψηλός όμως η έκταση μερικών ήταν σε μεγάλη κλίμακα όπου ξεπέρασαν τα 175700ha και αποτελεί υψηλότερο ρεκόρ από το 2007, γεγονός που κατέστησε την Ελλάδα, το έτος 2023, ως την πιο επηρεασμένη από καμένες εκτάσεις, όπου τα 70000ha ήταν εντός περιοχών Natura2000.

Οι δασικές υπηρεσίες λόγω των περιορισμένων πόρων αδυνατούν να υιοθετήσουν εργαλεία ΤΝ και ΓΣΠ τα οποία με την ενσωμάτωση τους θα μπορούσαν να δώσουν λύσεις στη διαχείριση και προστασία των ελληνικών δασών.

Αρχικά, μέσω της αξιοποίησης δορυφορικών εικόνων και αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, μπορεί να δημιουργηθεί ένα σύστημα συνεχούς παρακολούθησης της υγείας του φυτικού υλικού. Ένα τέτοιο σύστημα θα επιτρέπει τον έγκαιρο εντοπισμό περιοχών με στρες ή ξήρανση δέντρων (π.χ. πεύκα, κυπαρίσσια) και θα διευκολύνει τη λήψη προληπτικών μέτρων από τις δασικές υπηρεσίες. Όπως και με άλλες φυσικές καταστροφές, τα μοντέλα προσομοίωσης πυρκαγιών είναι ένα από τα κύρια εργαλεία για τη χαρτογράφηση των κινδύνων και τον σχεδιασμό στρατηγικών πρόληψης (Ager et al., 2021).

Μια ακόμη χρήση θα ήταν η αξιοποίηση των GIS & μοντέλων AI, για να επιλεγθούν οι καλύτερες θέσεις αναδάσωσης ή ενίσχυσης δασικού περιβάλλοντος, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως: εποχική υγρασία, κλίση του εδάφους, είδος εδάφους, παλαιά καμένα.

Επιπλέον, να γίνεται παρακολούθηση της εξέλιξης των αναδασώσεων με εικόνες από δορυφόρους ή και drones και αξιολόγηση της επιτυχίας των επεμβάσεων.

Παράλληλα, η δημιουργία μιας βάσης GIS για τα ελληνικά δάση όπου θα υπήρχαν συγκεντρωτικά δεδομένα από δορυφόρους, drones και μετρήσεις ώστε να είναι δυνατή η πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιών και πλημυρών αξιοποιώντας μοντέλα AI που θα εκπαιδεύονται πάνω σε ελληνικά δεδομένα.

Ο συνδυασμός δορυφορικών δεδομένων, τηλεπισκόπησης και μοντέλων μηχανικής μάθησης μπορεί να προσφέρει έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων, ακριβή χαρτογράφηση της δασικής κατάστασης και αποτελεσματική πρόληψη φυσικών καταστροφών. Η ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών σε ένα εθνικό πλαίσιο θα επέτρεπε την ανάπτυξη ενιαίων συστημάτων πρόβλεψης, παρακολούθησης και ενημέρωσης, ενισχύοντας τη συνεργασία μεταξύ ερευνητικών φορέων, δασικών υπηρεσιών και πολιτικής προστασίας. Η εφαρμογή τέτοιων μεθόδων θα συνέβαλε στη βελτίωση της λήψης αποφάσεων, στη βιώσιμη αξιοποίηση των φυσικών πόρων και στη δημιουργία μιας πιο ανθεκτικής και προσαρμοστικής κοινωνίας απέναντι στις επιπτώσεις της κλιματικής κρίσης.

Επιπλέον, η ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης (EWS) είναι απαραίτητη, ώστε οι αρχές να μπορούν να παρέχουν τοπικές εκτιμήσεις κινδύνου και ενημερωτικά μηνύματα προς τους πολίτες μέσω της αξιοποίησης τεχνολογιών όπως εφαρμογές για κινητά σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Λόγω του τρέχοντος συστήματος που επικρατεί στην Ελλάδα, εξακολουθούν να υπάρχουν κενά όσον αφορά την προγνωστική ανάλυση, την

παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και τη συμμετοχή πολλαπλών ενδιαφερόμενων μερών. Σε άλλες χώρες όπως η Ιαπωνία, τις Ηνωμένες Πολιτείες και τη Γερμανία, όπου η εφαρμογή καινοτόμων μέτρων βασισμένων στις ΤΠΕ έχει βελτιώσει την άμβλυνση των καταστροφών ([Kalogiannidis κ.ά., 2025](#)).

Συνοψίζοντας, η ενσωμάτωση των σύγχρονων τεχνολογιών, όπως η Τεχνητή Νοημοσύνη και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, αποτελεί ένα σημαντικό βήμα προς μια πιο αποτελεσματική και βιώσιμη περιβαλλοντική διαχείριση. Η αξιοποίησή τους μπορεί να ενισχύσει την πρόληψη και την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών, να βελτιώσει τη λήψη αποφάσεων απέναντι στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Σημαντικό κομμάτι όλο αυτού είναι η επικοινωνία και η συνεργασία των επιστημών με κρατικούς φορείς για τη συνεχή ενημέρωση και βελτίωση της προσπάθειας της προστασίας της κοινωνίας και του περιβάλλοντος

Ελληνική Βιβλιογραφία

European Investment Bank (2024) *Σύμφωνα με την έρευνα της ΕΤΕπ, οι περισσότεροι Έλληνες θεωρούν εθνική προτεραιότητα την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή*, *European Investment Bank*. Available at: <https://www.eib.org/el/press/all/2024-417-most-greek-respondents-consider-climate-adaptation-a-national-priority-eib-survey-shows> (Accessed: April 28, 2025).

Αγριμανάκη, Κ. (2025) *Καιρικές ακρότητες στον κόσμο και την Ελλάδα, Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ*. Available at: <https://www.kathimerini.gr/life/environment/563345050/kairikes-akrotites-ston-kosmo-kai-tin-ellada/> (Accessed: April 28, 2025).

Ζήσου, Α. (2007) *Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών ArcGIS/ArcView*. Αθήνα: Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε

Κατσαφάδος, Π. and Πληθάρας, Α. (2010) “Κλιματική Αλλαγή,” (17), pp. 3–9.

Μανιάτης Γ. (1996). *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γης*. Κτηματολογίου. Θεσσαλονίκη, Αθήνα: Εκδόσεις Ζήτη

Τζουξανιώτη, Μ., Ευελπίδου, Ν. and Καρκάνη, Α. (2023) *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών από τη Θεωρία στην Πράξη: Χρήση του ArcGIS Pro*. Available at: <https://doi.org/10.57713/kallipos-367> .

Τζωρτζάκης, Ι. (2016). Εφαρμογές γεωπληροφορικής στα τεχνικά έργα-Σημειώσεις Μαθήματος. *Διατριβή (μεταπτυχιακή)*. Ηράκλειο: Σχολικός Σύμβουλος Πολιτικών Μηχανικών.

Τι είναι η Τεχνητή Νοημοσύνη; | AI σε Επιχείρηση (no date) SAP. Available at: <https://www.sap.com/greece/products/artificial-intelligence/what-is-artificial-intelligence.html> (Accessed: 24 February 2025).

Χαλκιάς, Χ. (2016) *Γεωγραφική Ανάλυση με την αξιοποίηση της Γεωπληροφορικής*. Available at: <http://repository.kallipos.gr/handle/11419/4546> (Accessed: February 12, 2025).

Χαλκιάς, Χ. (2006). *Όροι και έννοιες Επιστήμης Γεωγραφικών Πληροφοριών*. Αθήνα, Ελλάδα: Εκδόσεις ΙΩΝ

Ξένη Βιβλιογραφία

Abhijeet, Singh, E.A. and Shindikar, M.R. (2023) “A Comprehensive Review on Climate Change and Its Effects,” *International Journal of Environment and Climate Change*, 13(11), pp. 924–931. Available at: <https://doi.org/10.9734/ijecc/2023/v13i113240> .

Ager, A.A. et al. (2021), Predicting Paradise: Modeling future wildfire disasters in the western US. *Science of the total environment* 784:147057

Bartneck, C., Lütge, C., Wagner, A., & Welsh, S. (2021). What Is AI? In C. Bartneck, C. Lütge, A. Wagner, & S. Welsh (Eds.), *An Introduction to Ethics in Robotics and AI* (pp. 5-16). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51110-4_2

Bayeh, B. and Alemayehu, M. (2019) “Scientific Community Debates on Causes and Consequences of Global Warming: Review,” *Journal of the College of Agriculture & Environmental Sciences*, 4(1), pp. 1–14.

Bosnjakovic, B. (2012) “Geopolitics of climate change: A review,” *Thermal Science*, 16(3), pp. 629–654. Available at: <https://doi.org/10.2298/TSCI120202127B> .

Boulouard, Z. et al. (2022a) “An Integrated Artificial Intelligence of Things Environment for River Flood Prevention,” *Sensors*, 22(23), p. 9485. Available at: <https://doi.org/10.3390/s22239485> .

Burrough, A. P. (1986). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Oxford, United Kingdom: University Press

Burrough, A. P., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford, United Kingdom: University Press

Chaudhari, B.S., Zennaro, M. and Borkar, S. (2020) “LPWAN Technologies: Emerging Application Characteristics, Requirements, and Design Considerations,” *Future Internet*, 12(3), p. 46. Available at: <https://doi.org/10.3390/fi12030046> .

Ciscar, J.-C. et al. (2011) “Physical and economic consequences of climate change in Europe,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), pp. 2678–2683. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.1011612108> .

- Cordeschi, R. (2007) ‘AI TURNS FIFTY: REVISITING ITS ORIGINS’, *Applied Artificial Intelligence*, 21(4–5), pp. 259–279. Available at: <https://doi.org/10.1080/08839510701252304>.
- Cui, Z. and Hung, A.J. (2025) ‘What is artificial intelligence, machine learning, and deep learning: terminologies explained’, in A.J. Hung (ed.) *Artificial Intelligence in Urology*. Academic Press, pp. 3–17. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-22132-3.00002-2>.
- Delgado De Molina Rius, A. (2023) ‘Foundations of artificial intelligence and machine learning’, in N. Remolina and A. Gurrea-Martinez (eds) *Artificial Intelligence in Finance*. Edward Elgar Publishing, pp. 2–18. Available at: <https://doi.org/10.4337/9781803926179.00009>.
- DESIGNMAG.gr (2023) ‘Βασικές έννοιες της τεχνητής νοημοσύνης’, *designmag.gr*, 21 November. Available at: <https://designmag.gr/ai-201/> (Accessed: 19 February 2025).
- Diehr, J., Ogunyiola, A. and Dada, O. (2025) ‘Artificial intelligence and machine learning-powered GIS for proactive disaster resilience in a changing climate’. Available at: <https://doi.org/10.1080/19475683.2025.2473596>.
- Effects - NASA Science (2022), 15 June. Available at: <https://science.nasa.gov/climate-change/effects/> (Accessed: February 14, 2025).
- Evelpidou, N. *et al.* (2022) “GIS-Based Assessment of Fire Effects on Flash Flood Hazard: The Case of the Summer 2021 Forest Fires in Greece,” *GeoHazards*, 4(1), pp. 1–22. Available at: <https://doi.org/10.3390/geohazards4010001>.
- Evelpidou, N., Tzouxanioti, M., Spyrou, E., Petropoulos, A., Karkani, A., Saitis, G., & Margaritis, M. (2023), GIS-Based Assessment of Fire Effects on Flash Flood Hazard: The Case of the Summer 2021 Forest Fires in Greece. *GeoHazards*, 4(1), 1–22. <https://doi.org/10.3390/geohazards4010001> <https://www.mdpi.com/2624-795X/4/1/1>
- European Commission. Joint Research Centre. (2024), *Advance report on forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2023*. LU: Publications Office. Διαθέσιμο στο: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/74873> (Ημερομηνία πρόσβασης: 6 Οκτώβριος 2025).
- Gardner, H. (1983). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. Basic Books.

Gottfredson, L.S. (1997) “Mainstream science on intelligence: An editorial with 52 signatories, history, and bibliography,” 24(1), pp. 13–23.

Intergovernmental Panel On Climate Change (Ipcc) (2023) *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 1st edn. Cambridge University Press. Available at: <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (ed.) (2023) ‘Technical Summary’, in *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 35–144. Available at: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>.

IPCC (2021) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Διαθέσιμο στο: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf (Πρόσβαση: 2 Μαΐου 2025).

Jean-Claude, K.K. (2022) ‘A Comprehensive Overview of Artificial Intelligence’, in *Artificial Intelligence, Soft Computing and Applications. 12th International Conference on Artificial Intelligence, Soft Computing and Applications*, Academy and Industry Research Collaboration Center (AIRCC), pp. 173–194. Available at: <https://doi.org/10.5121/csit.2022.122314>.

Kalogiannidis, S. κ.ά. (2025) ‘Evaluating the Effectiveness of Early Warning Systems in Reducing Loss of Life in Natural Disasters: A case study of Greece’, *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, 15(1), σελ. 33. Διαθέσιμο στο: <https://doi.org/10.54560/jracr.v15i1.547>.

Kaufman, A. S. (2009). *IQ Testing 101*. Springer.

Kondylatos, S., Prapas, I., Ronco, M., Papoutsis, I., Camps-Valls, G., Piles, M., et al. (2022). Wildfire danger prediction and understanding with Deep Learning. *Geophysical Research Letters*, 49, e2022GL099368. <https://doi.org/10.1029/2022GL099368>

Krogsgaard Svendsen, I. (2020) “The Effects that the Current Climate Crisis have on the Biogeography and Environment, Needed Adaptations and Conservation,” *American Journal of BioScience*, 8(1), p. 20. Available at: <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.20200801.14>.

Legg, S. and Hutter, M. (2005) ‘A universal measure of intelligence for artificial agents’, in. *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Switzerland: LAWRENCE ERLBAUM ASSOCIATES LTD, p. 1509.

Legg, S. and Hutter, M. (2007) *A Collection of Definitions of Intelligence*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/1895883_A_Collection_of_Definitions_of_Intelligence (Accessed: 9 March 2025).

Lindsey, R. (2024) *imate Change: Atmospheric Carbon Dioxide*. Available at: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide> (Accessed: April 14, 2025).

Longley, P., Goodchild, M., Maguire, D., & Rhind, D. (2005). *Geographic Information Systems and Science*. 2nd ed. West Sussex, England: John Wiley.

Maniadaki, M., Papathanasopoulos, A., Mitrou, L., & Maria, E. A. (2021). Reconciling remote sensing technologies with personal data and privacy protection in the European Union: Recent developments in Greek legislation and application perspectives in environmental law. *Laws*, 10(2), 33

McCarthy, J. (2007) ‘WHAT IS ARTIFICIAL INTELLIGENCE?’, *Stanford University* [Preprint]. Available at: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/>.

McSweeney, R. and Tandon, T. (2024) “Mapped: How climate change affects extreme weather around the world,” *Carbon Brief*, 18 November. Available at: <https://interactive.carbonbrief.org/attribution-studies/> (Accessed: April 24, 2025).

Mohan, S. and M.V.S.S, G. (2022) ‘A Brief Review of Recent Developments in the Integration of Deep Learning with GIS’, *Geomatics and Environmental Engineering*, 16(2), pp. 21–38. Available at: <https://doi.org/10.7494/geom.2022.16.2.21>.

Morandín-Ahuerma, F. (2022) ‘What is Artificial Intelligence’, *International Journal of Research Publication and Reviews*, 3, pp. 1947–1951. Available at: <https://doi.org/10.55248/gengpi.2022.31261>.

Nisbett, R. E., et al. (2012). “Intelligence: New Findings and Theoretical Developments.” *American Psychologist*, 67(2), 130–159.

O'Donohue, D. (2023) "GIS And Climate Change," *Mapscaping*, 6 March. Available at: <https://mapscaping.com/gis-and-climate-change/> (Accessed: February 17, 2025).

Obermeyer, N. (2005). Measuring the benefits and costs of GIS. .

Otto, F.E.L. (2023) "Attribution of Extreme Events to Climate Change," *Annual Review of Environment and Resources*, 48(Volume 48, 2023), pp. 813–828. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112621-083538>.

Raizada, A., Sharma, S. and Srivastava, N. (2022) "Climate Change - An Overview," *Journal of Mountain Research*, 17(2). Available at: <https://doi.org/10.51220/jmr.v17i2.23>.

Samuel, A.L. (1959) "Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers," 3(3), pp. 535–549.

Singh, V. and Agnihotri, A. (2024) "Addressing Environmental Challenges through Artificial Intelligence (AI)-Powered Natural Disaster Management," *International Journal of Applied and Scientific Research*, 2(5), pp. 485–496. Available at: <https://doi.org/10.59890/ijasr.v2i5.1413>.

Stadlmann, C., & Zehetner, A. (2021). Human Intelligence Versus Artificial Intelligence: A Comparison of Traditional and AI-Based Methods for Prospect Generation. In *Marketing and Smart Technologies* (pp. 11-22). Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-33-4183-8_2

Sternberg, R. J. (2020). *Human Intelligence: An Introduction*. Cambridge University Press

Usman, S., Jayeoba, J.O. and Kundiri, A. (2024) "Climate Change at a Global Concept: Impacts and Adaptation Measures," *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(6), pp. 445–459. Available at: <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i64242>.

Weizenbaum, J. (1966) 'ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine', *Communications of the ACM*, 9(1), pp. 36–45. Available at: <https://doi.org/10.1145/365153.365168>.

World Health Organization (2021) "Fast Facts on Climate Change and Health." WHO. Available at: <https://www.who.int/publications/m/item/fast-facts-on-climate-change-and-health> (Accessed: May 2, 2025).

World Health Organization (2023) *Climate change*. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health> (Accessed: May 2, 2025).

Yuan, F. (2008) “Land-cover change and environmental impact analysis in the Greater Mankato area of Minnesota using remote sensing and GIS modelling,” *International Journal of Remote Sensing*, 29(4), pp. 1169–1184. Available at: <https://doi.org/10.1080/01431160701294703>.