



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ

Συστήματα για φωτιές - πλημμύρες early warning

Άννα Μετετέ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων Καθηγητής
Κωνσταντίνος Κολομβάτσος
Αναπληρωτής Καθηγητής

Λαμία, Ιούλιος 2025



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

INFORMATICS AND COMPUTATIONAL BIOMEDICINE

Systems for fire - flooding early warning

Anna Metete

Master thesis

Supervisor

Konstantinos Kolomvatsos

Associate professor

Lamia, July 2025

«Υπεύθυνη Δήλωση μη λογοκλοπής και ανάληψης προσωπικής ευθύνης»

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, και γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα και ενυπογράφως ότι η παρούσα εργασία με τίτλο [«τίτλος εργασίας»] αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές από τις οποίες χρησιμοποίησα δεδομένα, ιδέες, φράσεις, προτάσεις ή λέξεις, είτε επακριβώς (όπως υπάρχουν στο πρωτότυπο ή μεταφρασμένες) είτε με παράφραση, έχουν δηλωθεί κατάλληλα και ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Η ΔΗΛΟΥΣΑ

02/07/2025

Υπογραφή

Συστήματα για φωτιές - πλημμύρες early warning

Άννα Μετετέ

Τριμελής Επιτροπή:

Κωνσταντίνος Κολομβάτσος, Επίκουρος Καθηγητής ΠΘ (επιβλέπων)

Νικόλαος Τζιρίτας, Επίκουρος Καθηγητής ΠΘ

Γεώργιος Δημητρίου, Επίκουρος Καθηγητής ΠΘ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης (Early Warning Systems - EWS) για φυσικές καταστροφές, όπως φωτιές και πλημμύρες, αποτελούν κρίσιμα εργαλεία για την πρόληψη και τη μείωση των επιπτώσεων αυτών των φαινομένων. Οι φυσικές καταστροφές έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, στις ανθρώπινες ζωές και στην οικονομία, καθιστώντας αναγκαία την ανάπτυξη και τη συνεχή βελτίωση των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης. Τα σύγχρονα EWS βασίζονται σε συνδυασμό τεχνολογιών, όπως δορυφορική παρακολούθηση, αισθητήρες εδάφους και αέρα, καθώς και υπολογιστικά μοντέλα πρόβλεψης.

Στην περίπτωση των πυρκαγιών, τα EWS περιλαμβάνουν δορυφορικά συστήματα ανίχνευσης θερμότητας, αισθητήρες καπνού και πυρανίχνευσης, καθώς και μοντέλα πρόβλεψης της εξάπλωσης της φωτιάς. Επιπλέον, τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης επιτρέπουν την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, βοηθώντας τις αρμόδιες αρχές να αντιδράσουν γρήγορα και αποτελεσματικά. Η χρήση drones για την επιτήρηση μεγάλων δασικών εκτάσεων αποτελεί μια καινοτόμο προσέγγιση, παρέχοντας συνεχή και ακριβή πληροφόρηση.

Αντίστοιχα, για την αντιμετώπιση των πλημμυρών, τα EWS περιλαμβάνουν μετεωρολογικούς σταθμούς, αισθητήρες στάθμης νερού και δεδομένα από δορυφόρους, τα οποία χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των καιρικών συνθηκών και της επικείμενης επικινδυνότητας. Τα υδρολογικά μοντέλα συνδυάζουν δεδομένα βροχοπτώσεων, ροής υδάτων και τοπογραφίας, ώστε να προβλέψουν με ακρίβεια τις πιθανές ζώνες πλημμυρών. Παράλληλα, συστήματα ειδοποίησης μέσω μηνυμάτων SMS, εφαρμογών κινητών τηλεφώνων και κοινωνικών δικτύων συμβάλλουν στη γρήγορη ενημέρωση του πληθυσμού.

Η αποτελεσματικότητα ενός EWS εξαρτάται από τέσσερα βασικά στοιχεία: την ανίχνευση και πρόβλεψη, την αξιολόγηση κινδύνου, την επικοινωνία των πληροφοριών και την ετοιμότητα του κοινού και των αρχών. Η συνεργασία μεταξύ κυβερνητικών φορέων, πανεπιστημίων και ιδιωτικού τομέα είναι ζωτικής σημασίας για τη συνεχή βελτίωση αυτών των συστημάτων.

Συμπερασματικά, η ανάπτυξη και η ενσωμάτωση καινοτόμων τεχνολογιών στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης για φωτιές και πλημμύρες συμβάλλει στη μείωση των καταστροφικών συνεπειών και στη διασφάλιση της ανθρώπινης ζωής και του περιβάλλοντος. Η συνεχής έρευνα και επένδυση σε τέτοια συστήματα είναι αναγκαία

για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των ολοένα και πιο συχνών φυσικών καταστροφών λόγω της κλιματικής αλλαγής.

ABSTRACT

Early Warning Systems (EWS) for natural disasters, such as fires and floods, are critical tools for preventing and reducing the impacts of these phenomena. Natural disasters have significant impacts on the environment, human lives and the economy, making the development and continuous improvement of early warning systems necessary. Modern EWS are based on a combination of technologies, such as satellite monitoring, ground and air sensors, and computer forecasting models.

In the case of fires, EWSs include satellite heat detection systems, smoke and fire sensors, as well as fire spread prediction models. In addition, artificial intelligence and machine learning technologies enable real-time data analysis, helping competent authorities react quickly and effectively. The use of drones to monitor large forest areas is an innovative approach, providing continuous and accurate information.

Similarly, for flood management, EWSs include weather stations, water level sensors and satellite data, which are used to assess weather conditions and impending hazards. Hydrological models combine rainfall, water flow and topography data to accurately predict potential flood zones. At the same time, notification systems via SMS messages, mobile phone applications and social networks contribute to quickly informing the population.

The effectiveness of an EWS depends on four key elements: detection and prediction, risk assessment, information communication, and public and authority preparedness. Collaboration between government agencies, academia, and the private sector is crucial for the continuous improvement of these systems.

In conclusion, the development and integration of innovative technologies in early warning systems for fires and floods contributes to reducing catastrophic consequences and safeguarding human life and the environment. Continued research and investment in such systems is necessary to effectively address the increasingly frequent natural disasters due to climate change.

Contents

1. Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας	12
2. Μεθοδολογία Έρευνας.....	14
3. Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	16
3.1. Έννοια και Σημασία των Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης	16
3.2. Πυρκαγιές: Αιτίες και Επιπτώσεις.....	17
3.3. Πλημμύρες: Αιτίες και Επιπτώσεις.....	18
3.4. Ρόλος της Τεχνολογίας στα Σύγχρονα Συστήματα Early Warning	19
4. Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Φωτιές και Πλημμύρες	21
4.1 Τεχνολογίες Ανίχνευσης και Πρόβλεψης	21
4.2 Δορυφορική τηλεπισκόπηση και εναέρια μέσα ανίχνευσης.....	21
4.3 Δορυφορικά Συστήματα και Ανάλυση Δεδομένων	22
4.4 Εναέρια Μέσα Ανίχνευσης: Drones και Ελικόπτερα	24
4.5 Δίκτυα αισθητήρων και Internet of Things (IoT)	28
5. Μέθοδοι ειδοποίησης και ενημέρωσης του πληθυσμού για πυρκαγιές και φωτιές.....	31
5.1 Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης	31
5.2 Ψηφιακά και Διαδικτυακά Μέσα.....	32
5.3 Τοπική και Κοινοτική Ενημέρωση	33
5.4 Παραδοσιακά Μέσα Ενημέρωσης	34
6. Προκλήσεις και τους περιορισμούς των υφιστάμενων συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης (EWS).....	35
7. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας.....	36
7.1 Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Πυρκαγιές	36
7.2 Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Πλημμύρες	36
7.3 Προκλήσεις και Περιορισμοί.....	36
8. Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Πυρκαγιές	37
8.1 Δίκτυο Καμερών ALERTCalifornia	37
8.2 Εφαρμογή Watch Duty	38
8.3 EFFIS (European Forest Fire Information System) – Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών για Δασικές Πυρκαγιές.....	40
8.4 AFIS (Advanced Fire Information System) – Νότια Αφρική.....	42
8.5 ΣΕΠ Πυρκαγιών στην Αυστραλία – Phoenix RapidFire	43
9. Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Πλημμύρες	46
9.1 AQUALERT – Ολοκληρωμένο Σύστημα Πρόγνωσης και Έγκαιρης Προειδοποίησης Πλημμυρών στις Φιλιππίνες.....	46
9.2 ERLAWS – Σύστημα Συναγερμού και Προειδοποίησης για Λάβες στο Όρος Ruapehu, Νέα Ζηλανδία	47
9.3 Κοινοτικό Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης Πλημμυρών – Νεπάλ	49

9.4 FloodHub – Παγκόσμιο Σύστημα Πρόγνωσης και Προειδοποίησης Πλημμυρών με Τεχνητή Νοημοσύνη από την Google.....	50
9.5 Copernicus – Δορυφορικό Σύστημα Παρακολούθησης και Πρόγνωσης Καταστροφών της Ευρωπαϊκής Ένωσης	52
9.6 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).....	54
9.7 Ολοκληρωμένο Σύστημα Προειδοποίησης Πλημμυρών της Κίνας	55
10. Συγκριτική Ανάλυση Διαφόρων Προσεγγίσεων στα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Φωτιές και Πλημμύρες	56
10.1. Σύγκριση Βασικών Τύπων Προσεγγίσεων	56
10.2. Σύγκριση των Προσεγγίσεων σε Συγκεκριμένα Συστήματα	57
10.3. Ανάλυση Κύριων Τάσεων και Μελλοντικών Προοπτικών	57
10.4. Συμπεράσματα	58
11. Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προτάσεις	59
Ανακεφαλαίωση Βασικών Ευρημάτων	59
11.1. Τεχνολογικές Προσεγγίσεις στα ΣΕΠ	59
11.2. Αποτελεσματικότητα Διαφορετικών Προσεγγίσεων	59
11.3. Παραδείγματα Επιτυχημένων ΣΕΠ	59
11.4. Κύριες Προκλήσεις	60
11.5 Συμπέρασμα	60
12. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα στα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Πυρκαγιές και Πλημμύρες	61
12. Προοπτικές Εξέλιξης των Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης (EWS) για Πυρκαγιές και Πλημμύρες	62
12.1. Τεχνολογική Αναβάθμιση και Έξυπνα Συστήματα Παρακολούθησης	62
12.2. Εξέλιξη στη Διαχείριση και Ανάλυση Δεδομένων	63
12.3. Διεθνής Συνεργασία και Ολοκληρωμένα Συστήματα Προειδοποίησης	63
12.4. Συμμετοχή των Πολιτών και Ενσωμάτωση της Κοινωνικής Διάστασης ...	64
12.5. Μελλοντικές Τάσεις και Καινοτομίες	64
Bibliography	65

Εικόνες

Εικόνα 1 SAR Ραντάρ.....	23
Εικόνα 2 Οπτικές κάμερες	23
Εικόνα 3 Drone	25
Εικόνα 4 Ελικόπτερο SAR.....	28
Εικόνα 5 Alert-California	38
Εικόνα 6 Watch-Duty	40
Εικόνα 7 Effis	41
Εικόνα 8 Afis	43
Εικόνα 9 Phoenix - Rapidifire	45
Εικόνα 10 Aqualert	47
Εικόνα 11 ERLAWS.....	48
Εικόνα 12 Practical - Action.....	50
Εικόνα 13 FloodHub.....	52
Εικόνα 14 Copernicus	53

1. Σκοπός και Στόχοι της Εργασίας

Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Φυσικές Καταστροφές: Εστίαση σε Πυρκαγιές και Πλημμύρες

Η αυξανόμενη συχνότητα και ένταση των φυσικών καταστροφών, όπως οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες, σε παγκόσμια αλλά και τοπική κλίμακα, καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης. Οι φυσικές αυτές καταστροφές, επιδεινούμενες από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές, περιουσίες και το φυσικό περιβάλλον. Η παρούσα εργασία εξετάζει διεξοδικά τις τεχνολογίες, τις μεθόδους ανίχνευσης και τους μηχανισμούς αντίδρασης που ενσωματώνονται σε τέτοια συστήματα, με στόχο την αποτελεσματική πρόληψη και διαχείριση κρίσεων.

Πρωταρχικά, είναι απαραίτητο να γίνει κατανοητή η φύση και οι αιτίες των καταστροφικών φαινομένων. Στην περίπτωση των πυρκαγιών, σημαντικοί παράγοντες είναι η υψηλή θερμοκρασία, οι ισχυροί άνεμοι, η ξηρασία και η ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι πλημμύρες, αντίστοιχα, προκαλούνται κυρίως από ακραία καιρικά φαινόμενα, υπερχειλίσσεις ποταμών και ελλιπή συστήματα αποστράγγισης. Η ενδελεχής ανάλυση αυτών των παραγόντων είναι θεμελιώδης για την ανάπτυξη αποτελεσματικών μοντέλων πρόβλεψης και εντοπισμού.

Η εργασία προχωρά στη μελέτη υφιστάμενων συστημάτων προειδοποίησης τόσο σε διεθνές επίπεδο όσο και σε τοπικές εφαρμογές. Τα σύγχρονα συστήματα βασίζονται σε πολυδιάστατες τεχνολογικές λύσεις, που περιλαμβάνουν δορυφορικές εικόνες, αισθητήρες εδάφους και αέρος, μετεωρολογικά δεδομένα, καθώς και λογισμικά πρόβλεψης βασισμένα σε τεχνητή νοημοσύνη. Για παράδειγμα, το Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Copernicus παρέχει κρίσιμα δεδομένα για την παρακολούθηση πυρκαγιών και πλημμυρών σε πραγματικό χρόνο. Αντίστοιχα, σε χώρες όπως η Ιαπωνία και οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν αναπτυχθεί αυτοματοποιημένα συστήματα προειδοποίησης με μεγάλη ακρίβεια και ταχύτητα απόκρισης.

Η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας αυτών των συστημάτων είναι κρίσιμη για την κατανόηση των πλεονεκτημάτων και αδυναμιών τους. Η εργασία συγκρίνει διάφορα μοντέλα με κριτήρια όπως η ακρίβεια πρόβλεψης, ο χρόνος αντίδρασης και η αξιοπιστία στη μεταφορά κρίσιμων πληροφοριών στους αρμόδιους φορείς και στον πληθυσμό. Παραδείγματα αποτυχιών, όπως η ανεπαρκής ειδοποίηση κατά τις πυρκαγιές στην Καλιφόρνια ή τις φονικές πλημμύρες στη Γερμανία το 2021, καταδεικνύουν την ανάγκη για περαιτέρω βελτιστοποίηση αυτών των συστημάτων.

Στο πλαίσιο αυτό, η εργασία προτείνει νέες τεχνολογικές λύσεις και στρατηγικές που μπορούν να ενισχύσουν την αποτελεσματικότητα των προειδοποιήσεων. Οι λύσεις αυτές περιλαμβάνουν την αξιοποίηση της μηχανικής μάθησης για πιο ακριβή πρόβλεψη και εντοπισμό, την εγκατάσταση ευφών αισθητήρων σε κρίσιμες περιοχές, την ενσωμάτωση συστημάτων επικοινωνίας με κινητές συσκευές, καθώς και την ανάπτυξη τοπικών δικτύων κοινοτικής ενημέρωσης. Παράλληλα, τονίζεται η σημασία της εκπαίδευσης του πληθυσμού και της ενίσχυσης της διατομεακής συνεργασίας μεταξύ επιστημόνων, κυβερνήσεων και φορέων πολιτικής προστασίας.

Ένας σημαντικός άξονας της ανάλυσης είναι η ανάδειξη του ρόλου της τεχνολογίας στα σύγχρονα συστήματα προειδοποίησης. Η τεχνητή νοημοσύνη, οι αισθητήρες IoT (Internet of Things), τα δίκτυα 5G και η χρήση γεωχωρικών δεδομένων επιτρέπουν τη συνεχή παρακολούθηση και την αυτοματοποιημένη ανάλυση μεγάλου όγκου πληροφοριών. Αυτά τα τεχνολογικά εργαλεία προσφέρουν τη δυνατότητα όχι μόνο έγκαιρης ειδοποίησης αλλά και δυναμικής απόκρισης σε πραγματικό χρόνο.

Συνοψίζοντας, τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης αποτελούν κρίσιμο μηχανισμό για την προστασία της κοινωνίας από τις επιπτώσεις φυσικών καταστροφών. Η ενίσχυσή τους μέσω καινοτόμων τεχνολογιών, η συνεχής αξιολόγησή τους και η εκπαίδευση των πολιτών μπορούν να συμβάλουν αποφασιστικά στη μείωση των απωλειών και στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας απέναντι στις απειλές που επιφέρει η κλιματική αλλαγή. Η παρούσα εργασία υπογραμμίζει την ανάγκη για συνδυασμό επιστημονικής γνώσης, τεχνολογικής καινοτομίας και κοινωνικής ευαισθητοποίησης για μια πιο ασφαλή και προετοιμασμένη κοινωνία.

2. Μεθοδολογία Έρευνας

Η παρούσα εργασία υιοθετεί μία πολυεπίπεδη μεθοδολογική προσέγγιση, η οποία συνδυάζει τη βιβλιογραφική επισκόπηση, την ανάλυση περιπτώσεων (case studies) και τη συγκριτική αξιολόγηση υπαρχόντων συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για φυσικές καταστροφές – ειδικότερα για πυρκαγιές και πλημμύρες. Η μεθοδολογία αυτή επιλέχθηκε με στόχο την όσο το δυνατόν πιο πλήρη και αντικειμενική αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης, των τεχνολογικών δυνατοτήτων και των πραγματικών επιδόσεων των σχετικών συστημάτων.

Αρχικά, βασικό εργαλείο της έρευνας αποτελεί η εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση, η οποία καλύπτει τόσο το θεωρητικό όσο και το τεχνολογικό πλαίσιο των συστημάτων προειδοποίησης. Η ανασκόπηση περιλαμβάνει επιστημονικά άρθρα από διεθνή περιοδικά, κεφάλαια από ακαδημαϊκά συγγράμματα, τεχνικές αναφορές, αλλά και έγγραφα πολιτικής από διεθνείς οργανισμούς. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ανάλυση των αιτιών και των μηχανισμών που οδηγούν στην εκδήλωση πυρκαγιών και πλημμυρών, καθώς και στις τεχνολογικές εξελίξεις που ενισχύουν τη δυνατότητα ανίχνευσης και πρόβλεψης αυτών των φαινομένων.

Η βιβλιογραφία εξετάζει επίσης τις σύγχρονες μεθόδους ανάλυσης κινδύνων, τη χρήση αισθητήρων περιβάλλοντος (όπως θερμοκρασίας, υγρασίας και στάθμης υδάτων), την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων και την εφαρμογή αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης (AI) και μηχανικής μάθησης (machine learning). Τεχνολογικές λύσεις όπως το ευρωπαϊκό σύστημα Copernicus, τα εργαλεία γεωχωρικής ανάλυσης της NASA, καθώς και οι πλατφόρμες πρόγνωσης της NOAA, αναλύονται με στόχο την κατανόηση της λειτουργίας και της επίδοσής τους σε πραγματικές συνθήκες.

Ένα δεύτερο σημαντικό μεθοδολογικό στοιχείο είναι η ανάλυση περιπτώσεων (case studies), η οποία επιτρέπει τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας συγκεκριμένων συστημάτων προειδοποίησης σε πραγματικά περιστατικά. Στο πλαίσιο αυτό, επιλέγονται παραδείγματα από διάφορες χώρες, που παρουσιάζουν διαφορετικά γεωγραφικά, κλιματικά και κοινωνικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, μελετώνται τα συστήματα πυροπροστασίας στην Καλιφόρνια, τα συστήματα πλημμυρικής προειδοποίησης στην Ιαπωνία και οι εφαρμογές σε ευρωπαϊκές χώρες με έμφαση στην Ελλάδα. Η ανάλυση κάθε περίπτωσης περιλαμβάνει την περιγραφή του συστήματος, τον τρόπο λειτουργίας του, την αντίδραση των αρχών και του πληθυσμού, καθώς και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς του σε σχέση με τα αποτελέσματα της καταστροφής.

Η συγκριτική αξιολόγηση των συστημάτων αυτών στηρίζεται σε ποσοτικά και ποιοτικά κριτήρια. Μεταξύ των βασικών δεικτών που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνονται:

- Η ακρίβεια πρόβλεψης, δηλαδή η ικανότητα του συστήματος να εντοπίζει εγκαίρως και με αξιοπιστία το ενδεχόμενο εκδήλωσης κινδύνου.
- Ο χρόνος ανταπόκρισης, που αφορά στη χρονική ταχύτητα με την οποία ενεργοποιούνται οι μηχανισμοί προειδοποίησης και ειδοποιούνται οι εμπλεκόμενοι φορείς και πολίτες.

- Η τεχνολογική προσβασιμότητα, που σχετίζεται με τη δυνατότητα υλοποίησης και χρήσης του συστήματος σε διαφορετικά γεωγραφικά και κοινωνικά περιβάλλοντα.
- Το κόστος και η βιωσιμότητα, δηλαδή η οικονομική αποδοτικότητα του συστήματος τόσο ως προς την εγκατάσταση όσο και ως προς τη συντήρηση και λειτουργία του μακροπρόθεσμα.

Για τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων χρησιμοποιούνται έγκυρες πηγές. Οι πιο σημαντικές μεταξύ αυτών είναι επίσημες εκθέσεις διεθνών οργανισμών όπως ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας (WMO) (Arguez, 2011), η NASA (Hart, 2006), ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (ESA) και η Εθνική Ωκεανογραφική και Ατμοσφαιρική Υπηρεσία των ΗΠΑ (NOAA) (Davis, 2007). Τα δεδομένα που συλλέγονται περιλαμβάνουν παραμέτρους όπως χρονικά διαστήματα ειδοποίησης, ποσοστά επιτυχούς πρόβλεψης, κόστος υλοποίησης και επίπεδα εμπιστοσύνης του κοινού προς τα συστήματα αυτά.

Η επιλογή των συγκεκριμένων μεθοδολογικών εργαλείων – βιβλιογραφική επισκόπηση, ανάλυση περιπτώσεων και συγκριτική αξιολόγηση – επιτρέπει μια σφαιρική και τεκμηριωμένη προσέγγιση του θέματος. Ο συνδυασμός θεωρητικής γνώσης με εμπειρικά δεδομένα ενισχύει την αξιοπιστία των συμπερασμάτων και καθιστά δυνατή τη διατύπωση ρεαλιστικών και εφαρμόσιμων προτάσεων πολιτικής και τεχνολογικής βελτίωσης. Επιπλέον, συμβάλλει ουσιαστικά στην κατανόηση του πώς η τεχνολογία μπορεί να αξιοποιηθεί αποτελεσματικά στο πεδίο της διαχείρισης φυσικών καταστροφών, ενισχύοντας τη συνολική ανθεκτικότητα των κοινωνιών απέναντι στις μελλοντικές προκλήσεις.

3. Θεωρητικό Υπόβαθρο

Τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης (Early Warning Systems - EWS) αποτελούν κρίσιμο εργαλείο για την πρόληψη και τη διαχείριση φυσικών καταστροφών, όπως οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες. Η αποτελεσματικότητά τους βασίζεται στη συλλογή, ανάλυση και διάδοση πληροφοριών, ώστε να ειδοποιούνται έγκαιρα οι αρμόδιες αρχές και οι πολίτες.

3.1. Έννοια και Σημασία των Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης

Τα EWS αποτελούν πολυσύνθετα συστήματα που περιλαμβάνουν τέσσερα βασικά στάδια:

Τα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης (Early Warning Systems - EWS) (Kelman, 2014) αποτελούν κρίσιμο εργαλείο για την πρόληψη και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών, όπως οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες. Πρόκειται για πολυσύνθετους μηχανισμούς που συνδυάζουν τεχνολογικά, επιστημονικά και επιχειρησιακά μέσα με στόχο τη μείωση των επιπτώσεων από επικίνδυνα φαινόμενα. Ο βασικός σκοπός των EWS είναι να εξασφαλίσουν ότι οι άνθρωποι και οι αρμόδιοι φορείς λαμβάνουν εγκαίρως την απαραίτητη πληροφόρηση ώστε να προστατευτούν, να προλάβουν υλικές ζημιές και να διασφαλιστεί η λειτουργική συνέχεια των κοινωνιών.

Τα EWS δομούνται γύρω από τέσσερα βασικά στάδια. Το πρώτο στάδιο είναι η παρακολούθηση και ανίχνευση, το οποίο περιλαμβάνει τη συνεχή καταγραφή δεδομένων μέσω αισθητήρων, μετεωρολογικών σταθμών και δορυφορικών εικόνων. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την παρακολούθηση παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η βροχόπτωση, η ταχύτητα του ανέμου και η στάθμη των ποταμών, στοιχεία που μπορούν να αποκαλύψουν την πιθανότητα εκδήλωσης ενός καταστροφικού φαινομένου.

Στη συνέχεια ακολουθεί η αξιολόγηση και πρόγνωση, που βασίζεται στην επεξεργασία των συλλεγόμενων δεδομένων μέσω εξειδικευμένων μοντέλων και αλγορίθμων. Εδώ, η συμβολή της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης είναι ολοένα και πιο σημαντική, καθώς επιτρέπουν τη δημιουργία προβλέψεων με υψηλότερη ακρίβεια και μικρότερο χρόνο απόκρισης. Η ανάλυση αυτή καθιστά εφικτή την εκτίμηση της πιθανότητας εκδήλωσης μιας καταστροφής, την πρόβλεψη της εξέλιξής της και τον προσδιορισμό των περιοχών που διατρέχουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο.

Το τρίτο στάδιο είναι η επικοινωνία και διάδοση πληροφοριών, κατά το οποίο οι προβλέψεις μετατρέπονται σε απλές και κατανοητές ειδοποιήσεις προς το κοινό και τους εμπλεκόμενους φορείς. Αυτή η διαδικασία είναι ζωτικής σημασίας, καθώς η αποτελεσματικότητα του συστήματος εξαρτάται από το πόσο γρήγορα και ξεκάθαρα διαδίδεται η πληροφορία. Τα σύγχρονα EWS χρησιμοποιούν πολλαπλά κανάλια επικοινωνίας, όπως εφαρμογές για κινητά τηλέφωνα, μηνύματα SMS, ειδοποιήσεις μέσω ραδιοφώνου και τηλεόρασης, καθώς και συστήματα δημόσιου συναγερμού, ώστε να διασφαλιστεί ότι όλοι οι πολίτες θα λάβουν την κρίσιμη πληροφόρηση έγκαιρα.

Τέλος, το τέταρτο στάδιο αφορά την αντίδραση και την ετοιμότητα, που συνδέεται με την υλοποίηση σχεδίων έκτακτης ανάγκης. Σε αυτή τη φάση ενεργοποιούνται μηχανισμοί όπως η εκκένωση περιοχών, η αποστολή σωστικών δυνάμεων και η παροχή οδηγιών προς τον πληθυσμό για την ασφαλή διαχείριση της κατάστασης. Η επιτυχία ενός EWS δεν κρίνεται μόνο από την τεχνολογική του ακρίβεια, αλλά και από την ετοιμότητα των θεσμών και των πολιτών να ανταποκριθούν στις προειδοποιήσεις.

3.2. Πυρκαγιές: Αιτίες και Επιπτώσεις

Οι δασικές πυρκαγιές συγκαταλέγονται στις πλέον καταστροφικές φυσικές καταστροφές, προκαλώντας εκτεταμένες ζημιές στο φυσικό περιβάλλον, την οικονομία και την ανθρώπινη κοινωνία. Η εκδήλωση μιας πυρκαγιάς οφείλεται σε συνδυασμό φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων, οι οποίοι, υπό κατάλληλες συνθήκες, μπορούν να οδηγήσουν σε ταχεία εξάπλωση και ανεξέλεγκτες καταστάσεις. Οι φυσικές αιτίες περιλαμβάνουν κυρίως τους κεραυνούς, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη ξηρασία, τις υψηλές θερμοκρασίες και την παρουσία ισχυρών ανέμων, που ενισχύουν την καύση και τη μεταφορά της φωτιάς σε μεγάλες αποστάσεις. Η κλιματική αλλαγή συμβάλλει επιπλέον στην αύξηση της συχνότητας και της έντασης αυτών των φαινομένων, κάνοντας τα δασικά οικοσυστήματα πιο ευάλωτα.

Από την άλλη πλευρά, οι ανθρώπινες δραστηριότητες αποτελούν τη βασική αιτία εκδήλωσης των περισσότερων πυρκαγιών. Η αμέλεια κατά τη διάρκεια γεωργικών εργασιών, όπως οι ανεξέλεγκτες καύσεις υπολειμμάτων, η κακή διαχείριση αναψυχής στη φύση, αλλά και η πρόθεση, μέσω εμπρησμών για οικονομικά ή άλλου τύπου κίνητρα, οδηγούν σε μεγάλο αριθμό περιστατικών κάθε χρόνο. Επιπλέον, οι αλλαγές στη χρήση γης, όπως η μετατροπή δασικών εκτάσεων σε αγροτικές ή οικιστικές ζώνες, δημιουργούν νέες εστίες κινδύνου και μειώνουν τη φυσική ανθεκτικότητα του τοπίου.

Οι επιπτώσεις των πυρκαγιών είναι πολυδιάσφατες. Στο περιβαλλοντικό επίπεδο, η απώλεια χλωρίδας και πανίδας, η καταστροφή βιοτόπων και η αποσταθεροποίηση των οικοσυστημάτων έχουν μακροχρόνιες συνέπειες. Οι καμένες εκτάσεις είναι επιρρεπείς σε διάβρωση και πλημμύρες, ενώ οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου επιβαρύνουν περαιτέρω την ατμόσφαιρα. Σε οικονομικό επίπεδο, προκαλούνται τεράστιες ζημιές σε υποδομές, κατοικίες, αγροτική παραγωγή και τουρισμό, ενώ το κόστος αποκατάστασης και πρόληψης είναι ιδιαίτερα υψηλό. Τέλος, σε κοινωνικό επίπεδο, οι πυρκαγιές θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές, προκαλούν εκτοπισμούς πληθυσμών και επηρεάζουν την ψυχική υγεία των κοινοτήτων.

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου, τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης για πυρκαγιές αξιοποιούν προηγμένες τεχνολογίες. Οι δορυφορικές εικόνες σε συνδυασμό με θερμικούς αισθητήρες προσφέρουν τη δυνατότητα έγκαιρης ανίχνευσης ενεργών εστιών και θερμών σημείων σε απομακρυσμένες περιοχές. Παράλληλα, αναπτύσσονται αυτόνομα συστήματα ανίχνευσης καπνού και επικίνδυνων αερίων που τοποθετούνται σε δασικές ζώνες και ενεργοποιούν άμεσα ειδοποιήσεις όταν εντοπίζουν ύποπτες μεταβολές. Σημαντική είναι επίσης η συμβολή

των αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, που χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση της πορείας και της εξάπλωσης της φωτιάς βάσει μεταβλητών όπως ο τύπος της βλάστησης, η τοπογραφία και οι καιρικές συνθήκες. Αυτά τα μοντέλα επιτρέπουν τη λήψη καλύτερων αποφάσεων και την ορθολογικότερη κατανομή των πόρων για την καταπολέμηση των πυρκαγιών.

Η αποτελεσματική εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών ενισχύει την ικανότητα πρόληψης, αντίδρασης και αποκατάστασης, συμβάλλοντας ουσιαστικά στη μείωση των αρνητικών συνεπειών των πυρκαγιών και στην προστασία του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.

3.3. Πλημμύρες: Αιτίες και Επιπτώσεις

Οι πλημμύρες αποτελούν μία από τις πιο συχνές και καταστροφικές φυσικές καταστροφές παγκοσμίως, με σημαντικές συνέπειες για τις ανθρώπινες ζωές, τις υποδομές και την οικονομική δραστηριότητα. Εμφανίζονται σε διάφορες μορφές, όπως υπερχειλίση ποταμών, αστικές πλημμύρες, παράκτιες κατακλύσεις και ξαφνικές πλημμύρες (flash floods), και μπορούν να επηρεάσουν ταχύτατα μεγάλες περιοχές. Οι αιτίες τους διακρίνονται σε φυσικές και ανθρωπογενείς.

Από την πλευρά των φυσικών αιτίων, οι έντονες και παρατεταμένες βροχοπτώσεις αποτελούν τον κύριο μηχανισμό πρόκλησης πλημμυρικών φαινομένων, ειδικά όταν συνοδεύονται από κορεσμό του εδάφους ή από γεωμορφολογικές ιδιαιτερότητες που εμποδίζουν τη φυσική απορροή. Επιπλέον, η τήξη των πάγων σε ορεινές περιοχές την άνοιξη ή μετά από θερμικά κύματα, αλλά και τα έντονα καιρικά φαινόμενα, όπως οι τροπικοί κυκλώνες και οι καταιγίδες, συντελούν σημαντικά στην πρόκληση πλημμυρών. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής επιδεινώνουν αυτά τα φαινόμενα, αυξάνοντας τη συχνότητα και την ένταση των βροχοπτώσεων και μεταβάλλοντας τα πρότυπα του υδρολογικού κύκλου.

Παράλληλα, οι ανθρώπινες δραστηριότητες ενισχύουν τον κίνδυνο. Η ανεξέλεγκτη αστικοποίηση οδηγεί στη δημιουργία αδιαπέραστων επιφανειών που εμποδίζουν τη φυσική απορρόφηση του νερού, ενώ η αποψίλωση των δασών περιορίζει τη φυσική προστασία που προσφέρει η βλάστηση απέναντι στην απορροή και τη διάβρωση. Η κατασκευή ανεπαρκών ή κακώς σχεδιασμένων υδραυλικών έργων, όπως φράγματα και αντιπλημμυρικά κανάλια, όχι μόνο δεν αποτρέπει τις πλημμύρες, αλλά μπορεί να ενισχύσει τον κίνδυνο σε περίπτωση αστοχίας ή κακής συντήρησης.

Οι συνέπειες των πλημμυρών είναι πολυεπίπεδες. Στο κοινωνικό επίπεδο, ενέχουν άμεσο κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή, ιδιαίτερα όταν εμφανίζονται αιφνίδια ή σε περιοχές με ανεπαρκή μέτρα προστασίας. Παράλληλα, προκαλούν σοβαρές καταστροφές σε κατοικίες, σχολεία, νοσοκομεία και κρίσιμες υποδομές, ενώ συχνά συνοδεύονται από διακοπές ρεύματος, μόλυνση υδάτινων πόρων και διάδοση ασθενειών. Οικονομικά, επηρεάζουν τη γεωργία, τις μεταφορές και την τοπική επιχειρηματική δραστηριότητα, με άμεσες και μακροχρόνιες επιπτώσεις.

Για την πρόληψη και την έγκαιρη αντιμετώπιση των πλημμυρικών φαινομένων, τα σύγχρονα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης αξιοποιούν ένα ευρύ φάσμα τεχνολογικών εργαλείων. Μετεωρολογικά μοντέλα υψηλής ακρίβειας προβλέπουν τη βροχόπτωση και επιτρέπουν την εκτίμηση του κινδύνου σε τοπική ή περιφερειακή

κλίμακα. Παράλληλα, χρησιμοποιούνται αισθητήρες στάθμης νερού σε ποτάμια, λίμνες και φράγματα, οι οποίοι παρέχουν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα που είναι κρίσιμα για την εκτίμηση της επικινδυνότητας. Επιπλέον, η αξιοποίηση δορυφορικών δεδομένων επιτρέπει την ταχεία χαρτογράφηση των πλημμυρισμένων περιοχών και διευκολύνει τον συντονισμό της αντίδρασης από τις αρμόδιες αρχές.

Η ενίσχυση των EWS για πλημμύρες, μέσα από τη διαρκή ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και τη βελτίωση της επικοινωνίας με τις κοινότητες, αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για τη μείωση της ευαλωτότητας και την αποτελεσματική διαχείριση του κινδύνου σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον.

3.4. Ρόλος της Τεχνολογίας στα Σύγχρονα Συστήματα Early Warning

Η τεχνολογική πρόοδος έχει αναδειχθεί ως καταλυτικός παράγοντας για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας και της αξιοπιστίας των σύγχρονων συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης. Η χρήση προηγμένων τεχνολογιών επιτρέπει τη βελτιωμένη πρόγνωση φυσικών καταστροφών, την ταχύτερη αντίδραση των αρχών και την καλύτερη ενημέρωση του πληθυσμού, συμβάλλοντας ουσιαστικά στη μείωση των επιπτώσεων από φαινόμενα όπως οι πλημμύρες και οι πυρκαγιές.

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ανάλυση μεγάλων και πολύπλοκων δεδομένων (Big Data) (Zhang, 2021), επιτρέποντας την αναγνώριση προτύπων που σχετίζονται με την εκδήλωση κινδύνων. Μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, τα συστήματα μπορούν να προβλέψουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την πιθανότητα και την έκταση μιας καταστροφής, ενσωματώνοντας παραμέτρους όπως η υγρασία του εδάφους, η θερμοκρασία, η κατεύθυνση του ανέμου ή η ροή των ποταμών. Αυτές οι προβλέψεις υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας τη διαχείριση κρίσεων.

Παράλληλα, το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) (Madakam, 2015) επιτρέπει τη διασύνδεση αισθητήρων και συσκευών οι οποίοι συλλέγουν και μεταδίδουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες αυτοί μπορούν να εντοπίζουν μεταβολές στη θερμοκρασία, τη ροή νερού ή την ύπαρξη καπνού και αερίων, προσφέροντας άμεση ειδοποίηση για πιθανούς κινδύνους. Η δικτύωση αυτών των συσκευών δημιουργεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης, το οποίο ενισχύει την επιτήρηση σε απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες περιοχές.

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση συνιστά επίσης κρίσιμο εργαλείο για τη συνεχή παρακολούθηση περιοχών υψηλού κινδύνου. Τα δορυφορικά δεδομένα επιτρέπουν την έγκαιρη ανίχνευση αλλαγών στο φυσικό περιβάλλον, την παρακολούθηση της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς ή της πορείας μιας πλημμύρας, καθώς και τη χαρτογράφηση των πληγείσων περιοχών. Η διασύνδεση των δορυφορικών δεδομένων με γεωπληροφοριακά συστήματα (GIS – Geographic Information Systems) (Tomlinson, 2007) επιτρέπει τη χωρική ανάλυση των δεδομένων, την κατασκευή χαρτών κινδύνου και την υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων.

Η ενσωμάτωση όλων αυτών των τεχνολογιών οδηγεί σε πιο ολοκληρωμένα και εύελικτα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, ικανά να αντιμετωπίσουν τις αυξανόμενες προκλήσεις που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή και την αστικοποίηση. Η τεχνολογία δεν περιορίζεται πλέον στην ανίχνευση του κινδύνου,

αλλά αποτελεί εργαλείο ενεργής διαχείρισης κρίσεων, διασφάλισης της ενημέρωσης των πολιτών και υποστήριξης των επιχειρησιακών σχεδίων των αρμόδιων αρχών.

Το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας φωτίζει τη θεμελιώδη σημασία της τεχνολογίας στα σύγχρονα EWS και αναδεικνύει τις προοπτικές περαιτέρω αξιοποίησής της. Παρά τις προόδους, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις που σχετίζονται με το κόστος, τη συντήρηση, την προσβασιμότητα και την ανάγκη συντονισμένης πολιτικής δράσης. Ωστόσο, η τεχνολογία προσφέρει πλέον τα απαραίτητα εργαλεία για τη μετατόπιση της διαχείρισης φυσικών καταστροφών από την αντίδραση στην πρόληψη, καθιστώντας τα EWS βασικό πυλώνα ανθεκτικότητας και βιώσιμης ανάπτυξης.

4. Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Φωτιές και Πλημμύρες

4.1 Τεχνολογίες Ανίχνευσης και Πρόβλεψης

Οι πρόσφατες εξελίξεις στις τεχνολογίες αισθητήρων, δορυφόρων, μετεωρολογικών και τεχνητής νοημοσύνης έχουν βελτιώσει σημαντικά την ικανότητά μας να εντοπίζουμε και να προβλέψουμε φυσικές καταστροφές όπως πυρκαγιές και πλημμύρες. Αυτές οι καινοτομίες επιτρέπουν προηγούμενες προειδοποιήσεις και πιο ακριβείς προβλέψεις, επιτρέποντας στις αρχές να ανταποκρίνονται γρήγορα και αποτελεσματικά. Ως αποτέλεσμα, σώζονται ζωές, διατηρούνται τα οικοσυστήματα και οι υποδομές ζωτικής σημασίας παραμένουν προστατευμένες. Η συνεχής ανάπτυξη σε αυτούς τους τομείς υπόσχεται ακόμη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και ετοιμότητα για μελλοντικές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, διασφαλίζοντας ασφαλέστερες κοινότητες παγκοσμίως.

4.2 Δορυφορική τηλεπισκόπηση και εναέρια μέσα ανίχνευσης

Η χρήση δορυφορικών τεχνολογιών και μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (drones) (Restas, 2015) έχει φέρει επανάσταση στον τομέα της διαχείρισης φυσικών καταστροφών, προσφέροντας νέες δυνατότητες για την παρακολούθηση, την ανίχνευση και την πρόγνωση επικίνδυνων φαινομένων. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση παρέχει συνεχείς εικόνες υψηλής ανάλυσης από την επιφάνεια της Γης, επιτρέποντας τον εντοπισμό μεταβολών στο περιβάλλον, όπως η άνοδος της θερμοκρασίας ή η μεταβολή στη στάθμη των υδάτων. Μέσω της ανάλυσης αυτών των δεδομένων, είναι δυνατή η πρόβλεψη φαινομένων όπως οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες, καθώς και η παρακολούθηση της εξέλιξής τους σε πραγματικό χρόνο.

Τα drones συμπληρώνουν τις δορυφορικές τεχνολογίες παρέχοντας ευελιξία και αμεσότητα, ιδιαίτερα σε περιοχές που είναι δύσκολα προσβάσιμες από το έδαφος. Εξοπλισμένα με κάμερες θερμικής απεικόνισης, αισθητήρες αερίων και μετεωρολογικά όργανα, τα drones μπορούν να πετάξουν πάνω από επικίνδυνες ζώνες και να μεταδώσουν κρίσιμες πληροφορίες στους διαχειριστές έκτακτης ανάγκης. Οι εικόνες που καταγράφονται συμβάλλουν τόσο στον άμεσο εντοπισμό της καταστροφής όσο και στη λήψη αποφάσεων σχετικά με την ανάπτυξη επιχειρησιακών ομάδων, τη χάραξη διαδρομών εκκένωσης και την αποτίμηση των ζημιών.

Η ενσωμάτωση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και των εναέριων μέσων σε ολοκληρωμένα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης ενισχύει σημαντικά την αποτελεσματικότητα των παρεμβάσεων. Η δυνατότητα άμεσης και ακριβούς αποτύπωσης των συνθηκών στο πεδίο καθιστά δυνατή την ενημέρωση των αρμόδιων αρχών και των πολιτών με ελάχιστη καθυστέρηση, βελτιώνοντας τον συγχρονισμό δράσεων και την αποτελεσματικότητα της απόκρισης. Επιπλέον, τα δεδομένα που συλλέγονται από δορυφόρους και drones μπορούν να αξιοποιηθούν για την ανάλυση κινδύνων σε βάθος χρόνου, την αξιολόγηση τρωτότητας περιοχών και τον σχεδιασμό μέτρων πρόληψης.

Η αξιοποίηση αυτών των τεχνολογιών δεν περιορίζεται μόνο στην καταγραφή της παρούσας κατάστασης, αλλά επεκτείνεται στη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης με τη βοήθεια τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης. Έτσι, επιτυγχάνεται ένα προηγμένο επίπεδο ετοιμότητας, όπου οι καταστροφές μπορούν όχι μόνο να εντοπίζονται εγκαίρως, αλλά και να προλαμβάνονται μέσα από στοχευμένες στρατηγικές. Η συμβολή της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και των drones στη διαχείριση φυσικών καταστροφών επιβεβαιώνει ότι η τεχνολογική καινοτομία αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την προστασία της ανθρώπινης ζωής και του περιβάλλοντος σε ένα ολοένα πιο αβέβαιο κλιματικό πλαίσιο.

4.3 Δορυφορικά Συστήματα και Ανάλυση Δεδομένων

Οι δορυφόροι διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην περιβαλλοντική παρακολούθηση μεγάλης κλίμακας χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνολογίες όπως αισθητήρες υπερύθρων, συνθετικό ραντάρ διαφράγματος (SAR) (Tsokas, 2022) και κάμερες υψηλής ανάλυσης. Αυτά τα εργαλεία επιτρέπουν την ακριβή ανίχνευση διαφόρων περιβαλλοντικών φαινομένων, συμπεριλαμβανομένων των πυρκαγιών, των αλλαγών στη βλάστηση και των πλημμυρών. Επιπλέον, οι δορυφόροι βοηθούν στην αξιολόγηση των συνθηκών ξηρασίας, στην παρακολούθηση των επιπέδων ρύπανσης και στη μέτρηση της θερμοκρασίας του εδάφους σε τεράστιες περιοχές. Παρέχοντας λεπτομερή και έγκαιρα δεδομένα, επιτρέπουν τη δημιουργία ακριβών χαρτών κινδύνου, οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την ετοιμότητα σε περίπτωση καταστροφών, τη διαχείριση των πόρων και τις προσπάθειες διατήρησης του περιβάλλοντος παγκοσμίως.

Ορισμένοι από τους σημαντικότερους δορυφόρους που χρησιμοποιούνται για αυτές τις εφαρμογές περιλαμβάνουν:

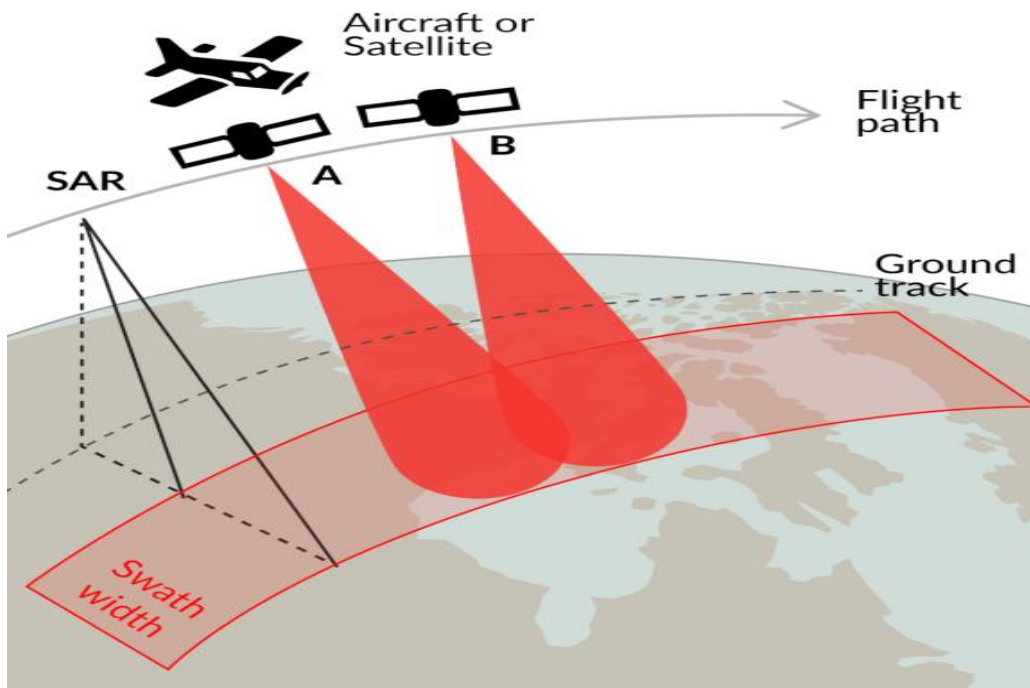
- **Sentinel-2 και Sentinel-3** (Πρόγραμμα Copernicus) (Pandey, 2023): Παρέχουν οπτικές και θερμικές εικόνες υψηλής ανάλυσης για την ανάλυση της βλάστησης και τη διάγνωση ανωμαλιών θερμοκρασίας.
- **Landsat** (NASA και USGS) (Wulder, 2022): Επιτρέπει την ανάλυση αλλαγών στο τοπίο και την ανίχνευση πυρκαγιών μέσω πολυφασματικών αισθητήρων.
- **MODIS και VIIRS** (NASA και NOAA) (Román, 2024): Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση μεγάλων πυρκαγιών και την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα.
- **RADARSAT και Sentinel-1** (Choe, 2021): Χρησιμοποιούν ραντάρ συνθετικού διαφράγματος (SAR) για την παρακολούθηση πλημμυρών ακόμα και σε συνθήκες νεφοκάλυψης.

Η χρήση τεχνητής νοημοσύνης για την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων αντιπροσωπεύει σημαντική πρόοδο στην περιβαλλοντική παρακολούθηση. Αυτή η καινοτόμος προσέγγιση επιτρέπει την ακριβή πρόβλεψη φυσικών καταστροφών όπως πυρκαγιές και πλημμύρες, επιτρέποντας στις αρχές να ανταποκρίνονται πιο γρήγορα. Η αυτοματοποιημένη ανάλυση ενισχύει τη λήψη επιχειρησιακών αποφάσεων, συμβάλλοντας τελικά στην προστασία των κοινοτήτων και στη διατήρηση των οικοσυστημάτων πιο αποτελεσματικά.

(SAR)

SYNTETHIC-APERTURE RADAR

The swath is always visible to the satellite while traveling from Point **A** to **B**.
The data can be processed similarly as if it were the aperture of a huge radar.



Εικόνα 1 SAR Ραντάρ



Εικόνα 2 Οπτικές κάμερες

4.4 Εναέρια Μέσα Ανίχνευσης: Drones και Ελικόπτερα

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (drones) και τα επανδρωμένα εναέρια μέσα, όπως ελικόπτερα και αεροπλάνα παρατήρησης, συμπληρώνουν τις δορυφορικές εικόνες με δεδομένα υψηλής ανάλυσης και ευελιξία στη χρήση.

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (UAVs ή drones) αποτελούν ένα από τα πλέον καινοτόμα εργαλεία που εντάσσονται στα σύγχρονα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης, ενισχύοντας τη δυνατότητα ανίχνευσης, επιτήρησης και απόκρισης σε φυσικές καταστροφές. Εξοπλισμένα με θερμικές κάμερες, πολυφασματικούς και υπερφασματικούς αισθητήρες, καθώς και προηγμένα συστήματα LiDAR (Light Detection and Ranging) (Villa, 2021), τα drones επιτρέπουν την άμεση και ακριβή συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, σε περιοχές που συχνά είναι αδύνατο ή επικίνδυνο να προσεγγίσουν επανδρωμένα μέσα.

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα των drones είναι η εξαιρετική ταχύτητα ανάπτυξής τους και η ευελιξία κίνησης. Μπορούν να απογειώνονται σε λίγα λεπτά από οποιοδήποτε σημείο, ακόμα και από δυσπρόσιτα εδάφη, επιτρέποντας την κάλυψη απομακρυσμένων περιοχών όπου υπάρχει περιορισμένη επίγεια πρόσβαση ή κατεστραμμένες υποδομές. Στο πλαίσιο αυτό, τα drones λειτουργούν ως πολλαπλασιαστές ισχύος για τις ομάδες πρώτης απόκρισης, προσφέροντας οπτική επιτήρηση σε πραγματικό χρόνο και χωρίς να θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές.

Η ακρίβεια μέτρησης που προσφέρουν είναι κρίσιμη για τη διαχείριση φαινομένων όπως οι δασικές πυρκαγιές. Μέσω θερμικών καμερών και πολυφασματικής απεικόνισης, τα drones είναι σε θέση να καταγράφουν τη θερμοκρασιακή κατανομή του εδάφους και της βλάστησης, να εντοπίζουν θερμές εστίες και να αναλύουν τη δυναμική της φωτιάς, ακόμη και υπό συνθήκες περιορισμένης ορατότητας λόγω καπνού ή νυχτερινών επιχειρήσεων. Παράλληλα, η χρήση LiDAR επιτρέπει τη δημιουργία εξαιρετικά ακριβών τρισδιάστατων χαρτών τοπογραφίας και βλάστησης, συμβάλλοντας στον προσδιορισμό των περιοχών με υψηλό δυναμικό ανάφλεξης ή ταχύτερης διάδοσης της πυρκαγιάς.

Στην περίπτωση πλημμυρικών φαινομένων, τα drones μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτύπωση της έκτασης των πλημμυρισμένων περιοχών, την καταγραφή ζημιών σε υποδομές (όπως γέφυρες, δρόμοι, φράγματα) και τον εντοπισμό παγιδευμένων ατόμων. Χρησιμοποιώντας αισθητήρες υψηλής ευκρίνειας και λογισμικά φωτογραμμετρίας, επιτυγχάνεται η λεπτομερής χαρτογράφηση πλημμυρικών λεκανών και η τροφοδότηση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS) με κρίσιμα δεδομένα για τον σχεδιασμό της αποκατάστασης. Τα drones διαθέτουν επίσης ηχογραφικά συστήματα, τα οποία μπορούν να μεταδώσουν προειδοποιητικά μηνύματα ή οδηγίες εκκένωσης στους πολίτες, σε περιπτώσεις όπου τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας είναι εκτός λειτουργίας ή υπάρχει κίνδυνος αποκοπής περιοχών.

Στην Ελλάδα, η χρήση drones στα EWS έχει γνωρίσει αξιοσημείωτη πρόοδο, ιδίως μετά τις φυσικές καταστροφές των τελευταίων ετών. Κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών του 2023 σε Δαδιά και Ρόδο, μη επανδρωμένα αεροσκάφη του Πυροσβεστικού Σώματος και της Πολιτικής Προστασίας χρησιμοποιήθηκαν για την επιτήρηση της πυρκαγιάς σε πραγματικό χρόνο, την κατεύθυνση των επίγειων

δυνάμεων και την ανίχνευση νέων εστιών σε δύσβατες δασικές περιοχές. Παρομοίως, μετά την καταστροφική πλημμύρα «Daniel» στη Θεσσαλία το φθινόπωρο του 2023, drones συνέδραμαν στην εκτίμηση των πλημμυρισμένων περιοχών, στον εντοπισμό θυμάτων και στην τεκμηρίωση των ζημιών με βάση υψηλής ακρίβειας φωτογραφικές και γεωμετρικές απεικονίσεις.

Η ταχεία πρόοδος της τεχνολογίας των drones, σε συνδυασμό με τις δυνατότητες τεχνητής νοημοσύνης και αυτόματης ανάλυσης δεδομένων, προδιαγράφει έναν ακόμη πιο ουσιαστικό ρόλο τους στο μέλλον των EWS. Η ενσωμάτωσή τους σε ολοκληρωμένα δίκτυα ανίχνευσης και απόκρισης ενισχύει τη συνολική ανθεκτικότητα των συστημάτων πολιτικής προστασίας και καθιστά τις τοπικές κοινωνίες πιο έτοιμες απέναντι σε σύνθετες και ταχύτατα εξελισσόμενες απειλές.

Τα drones δημιουργούν αποτελεσματικά λεπτομερείς τρισδιάστατους χάρτες που ενισχύουν σημαντικά τις προσπάθειες σχεδιασμού διάσωσης. Επιπλέον, χρησιμοποιούν προηγμένα συστήματα μετάδοσης ήχου για την άμεση διάδοση σημαντικών προειδοποιήσεων και πληροφοριών, διασφαλίζοντας ότι οι κοινότητες ενημερώνονται γρήγορα και προστατεύονται κατά τη διάρκεια έκτακτης ανάγκης.



Εικόνα 3 Drone

Ελικόπτερα και Αεροπλάνα Παρατήρησης: Ελικόπτερα, αεροπλάνα παρατήρησης και δορυφορικά μέσα αποτελούν κρίσιμους πυλώνες σε κάθε φάση λειτουργίας ενός EWS: από την έγκαιρη ανίχνευση της απειλής, έως την αποστολή ειδοποιήσεων και την παρακολούθηση της απόκρισης.

Τα επανδρωμένα εναέρια μέσα, όπως τα ελικόπτερα και τα αεροπλάνα παρατήρησης, διαθέτουν εξειδικευμένο εξοπλισμό – μεταξύ αυτών υπέρυθρες και θερμικές κάμερες, ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR), αισθητήρες καπνού και αερίων, καθώς και προηγμένα συστήματα επικοινωνίας και γεωεντοπισμού. Η χρήση τους επιτρέπει την

ταχεία κάλυψη μεγάλων γεωγραφικών περιοχών, την αποτύπωση εικόνας υψηλής ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο, καθώς και τη μετάδοση κρίσιμων πληροφοριών προς τα επιχειρησιακά κέντρα. Αυτό καθιστά δυνατή την άμεση αξιολόγηση της σοβαρότητας ενός φαινομένου, όπως για παράδειγμα η εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς ή η ραγδαία πλημμυρική απορροή σε αστικά και αγροτικά δίκτυα. Στο πλαίσιο των EWS, τα εναέρια μέσα ενισχύουν τη φάση της παρακολούθησης και εκτίμησης κινδύνου, παρέχοντας ακριβή δεδομένα που επιτρέπουν την πρόβλεψη της εξέλιξης των φαινομένων και τον προγραμματισμό προληπτικών ενεργειών.

Παράλληλα, τα δορυφορικά δεδομένα διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη λειτουργία των EWS, λόγω της δυνατότητας που προσφέρουν για διαρκή, ευρεία και ανεξάρτητη από καιρικές συνθήκες παρακολούθηση της γήινης επιφάνειας. Μέσω συστημάτων όπως τα Sentinel του προγράμματος Copernicus της Ευρωπαϊκής Ένωσης ή τα Landsat των ΗΠΑ, δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης μεταβολών σε βλάστηση, θερμοκρασία εδάφους, υγρασία, στάθμη υδάτων και γεωλογικές ασυνέχειες. Η χρήση πολυφασματικών και υπερφασματικών αισθητήρων διευκολύνει την ανίχνευση πρώιμων δεικτών κινδύνου, ενώ η ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων μέσω αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης επιτρέπει την εξαγωγή προβλέψεων και μοντέλων διάδοσης φυσικών φαινομένων. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να ενσωματωθούν σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS), ώστε να παραχθούν χάρτες κινδύνου και δυναμικές εκτιμήσεις έκθεσης, οι οποίες υποστηρίζουν τη φάση της ειδοποίησης και της απόφασης ενεργοποίησης των συναγερμών.

Η συνέργεια ανάμεσα στα επανδρωμένα εναέρια μέσα και τα δορυφορικά συστήματα ενισχύεται περαιτέρω μέσω της χρήσης μη επανδρωμένων αεροσκαφών (drones), τα οποία μπορούν να πραγματοποιούν λεπτομερή και στοχευμένη παρακολούθηση, ακόμα και σε δυσπρόσιτες περιοχές. Εντός του πλαισίου ενός EWS, τα drones αναλαμβάνουν επικουρικό ρόλο, διενεργώντας αναγνωρίσεις μετά από ένα αρχικό δορυφορικό σήμα ή λειτουργώντας προληπτικά σε περιοχές υψηλής επικινδυνότητας. Η δυνατότητα συλλογής δεδομένων με υψηλό χωρικό και χρονικό βάθος καθιστά τα μη επανδρωμένα μέσα ιδανικά για την παρακολούθηση ρωγμών, καθιζήσεων, διαρροών και μικρομεταβολών στο έδαφος, με στόχο την αποφυγή καταρρεύσεων ή άλλων επικίνδυνων εξελίξεων.

Σε όλα τα παραπάνω προστίθεται η αξία των συστημάτων επικοινωνίας που ενσωματώνονται στις τεχνολογικές αυτές υποδομές. Τα δεδομένα που συλλέγονται από εναέρια και δορυφορικά μέσα διοχετεύονται σε πραγματικό χρόνο σε βάσεις δεδομένων και κέντρα ανάλυσης, όπου αξιολογούνται, συσχετίζονται και μετατρέπονται σε κατανοητές και εφαρμόσιμες προειδοποιήσεις για τις τοπικές αρχές και τους πολίτες. Οι σύγχρονες τεχνολογίες επιτρέπουν την αυτόματη ενεργοποίηση συστημάτων ειδοποίησης, όπως SMS, φωνητικά μηνύματα, σειρήνες, push notifications και ανακοινώσεις στα μέσα μαζικής ενημέρωσης, διασφαλίζοντας ότι οι κοινότητες που βρίσκονται σε κίνδυνο θα ενημερωθούν έγκαιρα και αξιόπιστα.

Η χρήση εναέριων και δορυφορικών μέσων στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης ενισχύει την ικανότητα πρόληψης, ετοιμότητας και απόκρισης σε ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον κινδύνων. Η τεχνολογία δεν λειτουργεί αυτόνομα, αλλά ως τμήμα ενός ολοκληρωμένου συστήματος που περιλαμβάνει επιστημονική γνώση, διακυβερνητική συνεργασία και ενεργή συμμετοχή των τοπικών κοινωνιών. Η

επένδυση σε αυτά τα μέσα δεν αποτελεί απλώς τεχνική επιλογή, αλλά ουσιαστικό εργαλείο για την προστασία της ανθρώπινης ζωής, των υποδομών και του φυσικού περιβάλλοντος από τις επιπτώσεις καταστροφών.

Στις καταστροφικές πυρκαγιές του καλοκαιριού του 2021, που έπληξαν την Εύβοια, την Αττική και άλλες περιοχές, καταγράφηκαν φαινόμενα μεγάλης έντασης και διάρκειας, τα οποία κατέστησαν εξαιρετικά δύσκολη τη διαχείρισή τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα ελικόπτερα και τα αεροσκάφη επιτήρησης χρησιμοποιήθηκαν όχι μόνο για καταστολή των πυρκαγιών, αλλά και για την άμεση αξιολόγηση της εξάπλωσης και την καθοδήγηση των δυνάμεων πυρόσβεσης. Παράλληλα, το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και άλλοι οργανισμοί αξιοποίησαν δορυφορικά δεδομένα (Sentinel-2, MODIS, VIIRS) για τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων και την παρακολούθηση της εξέλιξης των θερμικών εστιών. Μέσω αυτών των τεχνολογιών, το κράτος και οι αρμόδιες αρχές κατάφεραν να εντοπίσουν περιοχές αυξημένου κινδύνου για αναζωπυρώσεις, καθώς και να δημιουργήσουν διαδραστικούς χάρτες προς ενημέρωση των πολιτών και υποστήριξη των διασωστικών επιχειρήσεων.

Αντίστοιχα, στις μεγάλες πλημμύρες που προκάλεσε ο μεσογειακός κυκλώνας "Ιανός" το φθινόπωρο του 2020, κυρίως στην Καρδίτσα και τη Θεσσαλία, τα EWS ενεργοποιήθηκαν με βάση δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς, ραντάρ βροχόπτωσης και δορυφορικές παρατηρήσεις. Πριν από την έλευση του κυκλώνα, αξιοποιήθηκαν προβλέψεις από το Ευρωπαϊκό Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης Πλημμυρών (EFAS), ενώ κατά τη διάρκεια του φαινομένου δόθηκαν ειδοποιήσεις σε κατοίκους μέσω του 112, βοηθώντας στην εκκένωση περιοχών υψηλού κινδύνου. Μετά τις πλημμύρες, τα εναέρια μέσα χαρτογράφησαν τις κατεστραμμένες υποδομές, τις πλημμυρισμένες εκτάσεις και τις ρηγματώσεις του εδάφους, διευκολύνοντας την αποκατάσταση και την τεκμηρίωση των ζημιών. Η καταγραφή από δορυφόρους, όπως οι Sentinel-1 (με δυνατότητα ραντάρ σε συνθήκες νεφών), αποδείχθηκε κρίσιμη για την απεικόνιση του εύρους της πλημμυρικής κάλυψης, ιδιαίτερα σε περιοχές με δυσκολία πρόσβασης.

Τα παραδείγματα αυτά αναδεικνύουν πώς η τεχνολογική καινοτομία, όταν ενσωματώνεται οργανωμένα στο πλαίσιο ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης, μπορεί να σώσει ζωές, να περιορίσει τις καταστροφές και να ενισχύσει την ανθεκτικότητα των κοινοτήτων απέναντι σε κλιμακούμενους κινδύνους. Στην περίπτωση της Ελλάδας, η συνδυασμένη χρήση εναέριων μέσων, δορυφορικών δεδομένων και συστημάτων επικοινωνίας, όπως το 112, συνιστά πλέον ένα αναπόσπαστο τμήμα της πολιτικής προστασίας, με τη συνεχή πρόκληση της βελτιστοποίησης και της διαλειτουργικότητας μεταξύ τοπικών, εθνικών και ευρωπαϊκών φορέων.



Εικόνα 4 Ελικόπτερο SAR

4.5 Δίκτυα αισθητήρων και Internet of Things (IoT)

Στην εποχή της ψηφιακής μετάβασης και της κλιματικής κρίσης, τα δίκτυα αισθητήρων και οι τεχνολογίες Internet of Things (IoT) διαμορφώνουν ένα νέο, καινοτόμο πλαίσιο για την πρόληψη και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών. Το IoT μετατρέπει τον παραδοσιακό παθητικό εντοπισμό κινδύνων σε ένα δυναμικό, διασυνδεδεμένο σύστημα, ικανό να παρακολουθεί το περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο, να προβλέπει απειλές και να ενεργοποιεί αυτόματες ειδοποιήσεις για λήψη αποφάσεων υψηλής ταχύτητας και ακρίβειας.

Η σύγχρονη υποδομή IoT περιλαμβάνει αισθητήρες εδάφους και ατμόσφαιρας, οι οποίοι παρακολουθούν συνεχώς παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, τα επίπεδα καπνού, η συγκέντρωση αερίων, καθώς και τη σεισμική και γεωλογική δραστηριότητα. Όλα τα δεδομένα διαβιβάζονται μέσω ασύρματων δικτύων (π.χ. LoRaWAN, NB-IoT, 5G) (Ugwuanyi, 2021) σε κεντρικές πλατφόρμες ανάλυσης, όπου αξιοποιούνται αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης για την άμεση αναγνώριση επικίνδυνων μοτίβων και την αυτόματη ενεργοποίηση προειδοποιήσεων. Αυτή η διαλειτουργικότητα ενισχύει τη συνολική αποτελεσματικότητα των EWS, επιτρέποντας ταυτόχρονα στους φορείς πολιτικής προστασίας να παρακολουθούν με ακρίβεια τη δυναμική εξέλιξη κρίσεων, όπως δασικές πυρκαγιές ή πλημμύρες.

Στην περίπτωση των πλημμυρών, το IoT προσφέρει σημαντικές δυνατότητες μέσω αισθητήρων στάθμης νερού, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε στρατηγικά σημεία όπως ποτάμια, κανάλια και φράγματα. Οι αισθητήρες αυτοί μετρούν συνεχώς την

υψομετρική μεταβολή της στάθμης του νερού, ειδοποιώντας άμεσα όταν πλησιάζουν κρίσιμα όρια υπερχειλίσης. Όταν συνδυαστούν με μετεωρολογικά δεδομένα, γεωλογικές παραμέτρους και προγνωστικά υδρολογικά μοντέλα, παρέχουν ένα σύστημα ανίχνευσης υψηλής πιστότητας, που ενισχύει τη δυνατότητα πρόβλεψης και προληπτικής δράσης. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η υλοποίηση πιλοτικών IoT προγραμμάτων στην Περιφέρεια Θεσσαλίας και στη Δυτική Ελλάδα, όπου μετά τις επαναλαμβανόμενες πλημμύρες των τελευταίων ετών, τοποθετήθηκαν αισθητήρες σε ρέματα και υδατοφράκτες, οι οποίοι τροφοδοτούν ψηφιακές πλατφόρμες παρακολούθησης κινδύνου.

Αντίστοιχα, σε δασικές περιοχές υψηλού κινδύνου ανάφλεξης, οι αισθητήρες IoT εγκαθίστανται για την παρακολούθηση μικροκλιματικών μεταβολών που προηγούνται της εκδήλωσης πυρκαγιάς. Έχουν ήδη εφαρμοστεί πιλοτικά προγράμματα, όπως το «Smart Forest» στην Ανατολική Αττική, όπου οι αισθητήρες καταγράφουν στοιχεία όπως η εδαφική υγρασία, η πυκνότητα της βλάστησης και η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα, συμβάλλοντας στον άμεσο εντοπισμό εστιών ή αυξημένων πιθανοτήτων ανάφλεξης. Συνδεδεμένοι με συστήματα GIS και έξυπνες εφαρμογές, αυτοί οι αισθητήρες επιτρέπουν τη στοχευμένη κινητοποίηση δυνάμεων, μειώνοντας τον χρόνο αντίδρασης και βελτιώνοντας την κατανομή των πόρων.

Επιπλέον, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν πλέον γίνει οικονομικά προσιτά και ενεργειακά αυτόνομα. Με τη χρήση ηλιακής ενέργειας και τεχνολογιών χαμηλής κατανάλωσης, οι συσκευές μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα για μεγάλες χρονικές περιόδους, ακόμη και σε περιοχές με περιορισμένη συντήρηση ή χωρίς πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αυτό τις καθιστά ιδανικές για εγκατάσταση σε ορεινές ή νησιωτικές περιοχές της Ελλάδας, όπως η Εύβοια, η Πίνδος ή οι Κυκλάδες.

Σε επίπεδο λειτουργικότητας, οι IoT πλατφόρμες ενοποιούνται πλήρως με έξυπνες εφαρμογές κινητών, διαδραστικούς χάρτες και περιβάλλοντα cloud, επιτρέποντας άμεση πληροφόρηση σε πολίτες και αρμόδιες αρχές. Οι ειδοποιήσεις μπορούν να σταλούν αυτόματα μέσω SMS, ειδοποιήσεων εφαρμογών ή ακόμα και μέσω του συστήματος 112, δίνοντας στους χρήστες εξατομικευμένες προειδοποιήσεις ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση και τον βαθμό κινδύνου. Αυτή η αλληλεπίδραση ενδυναμώνει τις τοπικές κοινωνίες, οι οποίες πλέον μπορούν να ενεργούν προληπτικά και όχι μόνο κατόπιν της εκδήλωσης της καταστροφής.

Η ενσωμάτωση των τεχνολογιών IoT στα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης δεν είναι πλέον μια τεχνική επιλογή, αλλά μια στρατηγική ανάγκη. Μέσα από τον έγκαιρο εντοπισμό, την αξιόπιστη ανάλυση και τη συντονισμένη αντίδραση, οι αισθητήρες και τα διασυνδεδεμένα δίκτυα ενισχύουν την ανθεκτικότητα των κοινοτήτων και συμβάλλουν αποφασιστικά στην προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης ζωής στον διαρκώς μεταβαλλόμενο κόσμο των φυσικών κινδύνων.

Μετεωρολογικά μοντέλα και προγνωστικά συστήματα

Η πρόβλεψη και η έγκαιρη προειδοποίηση για φυσικές καταστροφές βασίζονται σε προηγμένα μετεωρολογικά και προγνωστικά συστήματα, τα οποία επεξεργάζονται ένα ευρύ φάσμα δεδομένων από διαφορετικές πηγές. Τα εξειδικευμένα

μετεωρολογικά μοντέλα αξιοποιούν πληροφορίες από δορυφόρους, ραντάρ, μετεωρολογικούς σταθμούς, αισθητήρες εδάφους και ατμοσφαιρικές μετρήσεις για να αναλύσουν κλιματικές και καιρικές συνθήκες, να εντοπίσουν επικίνδυνα μοτίβα και να υπολογίσουν την πιθανότητα εκδήλωσης έντονων καιρικών φαινομένων, όπως καταιγίδες, ισχυρές βροχοπτώσεις, καύσωνες ή θυελλώδεις άνεμοι.

Στην περίπτωση των πλημμυρών, τα μετεωρολογικά δεδομένα συνδυάζονται με υδρολογικά μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη την τοπογραφία της περιοχής, τη μορφολογία της υδρολογικής λεκάνης, τη διαπερατότητα και τον κορεσμό του εδάφους, καθώς και την ένταση και διάρκεια των βροχοπτώσεων. Τα μοντέλα αυτά είναι κρίσιμα για την έγκαιρη εκτίμηση του κινδύνου υπερχειλίσης ποταμών και ρεμάτων. Συστήματα μεγάλης κλίμακας, όπως το *European Flood Awareness System (EFAS)* (Z{\A}BORI, 2024) και το *Global Flood Awareness System (GloFAS)* (Prudhomme, 2024), έχουν ενσωματωθεί και στην Ελλάδα, υποστηρίζοντας τις υπηρεσίες πολιτικής προστασίας, ειδικά μετά τα επαναλαμβανόμενα ακραία καιρικά φαινόμενα που έπληξαν περιοχές όπως η Θεσσαλία και η Εύβοια. Συγχρόνως, προγνωστικά εργαλεία που αναπτύσσονται από ελληνικούς φορείς, όπως το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (μέσω του συστήματος *meteo.gr*), παρέχουν επιχειρησιακή πληροφόρηση και στοχευμένες προγνώσεις με υψηλή ανάλυση για τις τοπικές Αρχές.

Αντίστοιχα, η πρόβλεψη δασικών πυρκαγιών στηρίζεται σε μοντέλα που συνδυάζουν μετεωρολογικά δεδομένα με πληροφορίες για τη βλάστηση, την ξηρότητα του εδάφους και τη μορφολογία της περιοχής. Το *Fire Weather Index (FWI)* (Ntinopoulos, 2022), που εφαρμόζεται και στην Ελλάδα, υπολογίζει την επικινδυνότητα ανάφλεξης και εξάπλωσης φωτιάς βάσει παραμέτρων όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και το φορτίο καύσιμης ύλης. Η πλατφόρμα *FireCast*, μέσω δορυφορικής παρακολούθησης, ενισχύει τη δυνατότητα πρόβλεψης για την ανάπτυξη ενεργών μετώπων. Αυτά τα εργαλεία αποτελούν πλέον βασικά συστατικά του εθνικού μηχανισμού πρόληψης πυρκαγιών, παρέχοντας ημερήσια στοιχεία σε δασικές υπηρεσίες, περιφέρειες και την Πυροσβεστική Υπηρεσία.

Η ενσωμάτωση της τεχνητής νοημοσύνης (Artificial Intelligence - AI) και της μηχανικής μάθησης (Machine Learning - ML) (Rahmani, 2021) έχει ενισχύσει θεαματικά την ακρίβεια, την ταχύτητα και τη δυνατότητα προσαρμογής αυτών των συστημάτων. Μέσω της ανάλυσης τεράστιων όγκων δεδομένων, οι αλγόριθμοι μπορούν να ανιχνεύσουν πολύπλοκα μοτίβα που υποδεικνύουν την έναρξη ή την πιθανή εξέλιξη καταστροφικών φαινομένων, τα οποία δύσκολα θα μπορούσαν να εντοπιστούν από τον άνθρωπο ή συμβατικά συστήματα.

Στην πρόβλεψη πυρκαγιών, τεχνολογίες AI χρησιμοποιούν δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης, δεδομένα από αισθητήρες IoT και γεωχωρικά δεδομένα για να εντοπίσουν πρόδρομες συνθήκες ανάφλεξης —όπως αυξημένη θερμοκρασία και μειωμένη υγρασία στη βλάστηση— καθώς και την πιθανή διαδρομή εξάπλωσης της φωτιάς. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η συνεργασία μεταξύ της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και ερευνητικών ιδρυμάτων, όπου εφαρμόζονται πειραματικά προγράμματα βασισμένα σε ML για την αυτόματη ταξινόμηση περιοχών υψηλού κινδύνου.

Στην περίπτωση των πλημμυρών, τα συστήματα ΑΙ εκπαιδεύονται με ιστορικά δεδομένα βροχοπτώσεων, τοπογραφίας, χρήσεων γης και παρελθοντικών συμβάντων, προκειμένου να προβλέψουν το πιθανό βάθος, την ταχύτητα και την κατεύθυνση ροής των υδάτων. Αυτά τα εργαλεία έχουν εφαρμοστεί σε αστικά περιβάλλοντα, όπως στην Αττική και τη Λάρισα, για την ανάπτυξη έξυπνων χαρτών κινδύνου και την υποστήριξη του σχεδιασμού έργων αντιπλημμυρικής προστασίας.

Η χρήση τεχνητής νοημοσύνης προσδίδει στα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης μια αυτοματοποιημένη και προσαρμοστική διάσταση. Η δυνατότητα επαναεκπαίδευσης των αλγορίθμων με νέα δεδομένα οδηγεί σε συνεχή βελτίωση της ακρίβειας και μειώνει σημαντικά τον χρόνο απόκρισης. Επιπλέον, τα ΑΙ συστήματα μπορούν να ενσωματωθούν απρόσκοπτα με άλλες πλατφόρμες (GIS, IoT, δορυφορικά δίκτυα, έξυπνες εφαρμογές), δημιουργώντας ένα ολιστικό σύστημα διαχείρισης κινδύνου, το οποίο λειτουργεί τόσο προληπτικά όσο και κατασταλτικά.

Σε μια εποχή όπου οι φυσικές καταστροφές γίνονται πιο έντονες και συχνές, η αξιοποίηση μετεωρολογικών μοντέλων σε συνδυασμό με την τεχνητή νοημοσύνη καθιστά τα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης στην Ελλάδα ισχυρότερα, πιο προσαρμοστικά και πιο ανθεκτικά απέναντι στις προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής.

5. Μέθοδοι ειδοποίησης και ενημέρωσης του πληθυσμού για πυρκαγιές και φωτιές

Η έγκαιρη ειδοποίηση και ενημέρωση του πληθυσμού για πυρκαγιές και φωτιές αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την προστασία της ανθρώπινης ζωής, της περιουσίας και του φυσικού περιβάλλοντος. Οι μέθοδοι ειδοποίησης και ενημέρωσης έχουν εξελιχθεί σημαντικά με τη χρήση νέων τεχνολογιών και την ενίσχυση των επικοινωνιακών συστημάτων.

Οι αρχές και οι υπηρεσίες πολιτικής προστασίας αναπτύσσουν συνεχώς νέες προσεγγίσεις για την άμεση ενημέρωση των πολιτών και την αποτελεσματική αντιμετώπιση των κρίσεων. Οι διαθέσιμες μέθοδοι περιλαμβάνουν τόσο παραδοσιακές όσο και σύγχρονες τεχνολογικές λύσεις, εξασφαλίζοντας ότι η ενημέρωση φτάνει έγκαιρα σε κάθε πολίτη.

5.1 Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης

Τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης αποτελούν κρίσιμη συνιστώσα της πολιτικής προστασίας, καθώς στοχεύουν στην έγκαιρη ανίχνευση κινδύνων και την άμεση ενημέρωση του πληθυσμού ώστε να περιοριστούν οι επιπτώσεις φυσικών καταστροφών. Στην καρδιά αυτών των συστημάτων βρίσκονται οι μηχανισμοί παρακολούθησης και επικοινωνίας που ενεργοποιούνται όταν εντοπιστεί πιθανή απειλή. Παραδοσιακά μέσα, όπως οι σειρήνες και τα μεγάφωνα, συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται σε πολλές περιοχές, ιδίως σε ζώνες που είναι πιο επιρρεπείς σε φαινόμενα όπως πυρκαγιές, πλημμύρες ή σεισμοί. Αυτά τα εργαλεία παρέχουν άμεση

και ηχηρή ειδοποίηση στους κατοίκους, συχνά λειτουργώντας ως το πρώτο σήμα κινδύνου.

Ωστόσο, η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια έχει φέρει πιο προηγμένες μορφές επικοινωνίας στο προσκήνιο. Τα κινητά τηλέφωνα, μέσω τεχνολογιών όπως τα μαζικά SMS και τα push notifications (Gavilan, 2022), επιτρέπουν την άμεση αποστολή μηνυμάτων κινδύνου σε μεγάλες ομάδες πληθυσμού. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της προσέγγισης είναι το ευρωπαϊκό σύστημα 112, το οποίο επιτρέπει στις αρμόδιες αρχές να στείλουν προειδοποιήσεις στους πολίτες που βρίσκονται εντός της ζώνης κινδύνου. Μέσω των ειδοποιήσεων αυτών, οι πολίτες λαμβάνουν κρίσιμες πληροφορίες για τη φύση της απειλής, οδηγίες εκκένωσης, σημεία συγκέντρωσης και προτεινόμενες ασφαλείς διαδρομές.

Παράλληλα, σημαντικό ρόλο παίζουν και τα παραδοσιακά μέσα ενημέρωσης, όπως το ραδιόφωνο και η τηλεόραση, τα οποία εξακολουθούν να είναι αξιόπιστοι φορείς επικοινωνίας σε περιόδους κρίσης. Σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης, τα κρατικά ή τοπικά μέσα μεταδίδουν διαρκώς ενημερώσεις και οδηγίες που καθοδηγούν τον πληθυσμό, ειδικά σε περιοχές όπου η πρόσβαση στο διαδίκτυο μπορεί να είναι περιορισμένη ή να έχει διακοπεί λόγω της καταστροφής.

Η λειτουργικότητα αυτών των συστημάτων ενισχύεται περαιτέρω από τις δυνατότητες που προσφέρουν οι δορυφορικές και μετεωρολογικές τεχνολογίες. Η συλλογή και ανάλυση δεδομένων από δορυφόρους και μετεωρολογικούς σταθμούς επιτρέπουν την πρόβλεψη της εξέλιξης ενός φαινομένου, όπως η διασπορά μιας πυρκαγιάς ή η άνοδος της στάθμης των υδάτων σε μια πλημμύρα. Αυτές οι πληροφορίες ενσωματώνονται σε ψηφιακές πλατφόρμες προειδοποίησης, συμβάλλοντας στη λήψη στοχευμένων αποφάσεων και στην αποστολή εξατομικευμένων ειδοποιήσεων. Συνεπώς, τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, συνδυάζοντας τεχνολογικά μέσα και πολυκαναλική επικοινωνία, διαδραματίζουν πρωταγωνιστικό ρόλο στη μείωση των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών και στην ενίσχυση της ετοιμότητας των κοινωνιών.

5.2 Ψηφιακά και Διαδικτυακά Μέσα

Η ραγδαία ανάπτυξη των ψηφιακών τεχνολογιών και του διαδικτύου έχει ενισχύσει ουσιαστικά την ικανότητα των αρμόδιων αρχών να επικοινωνούν άμεσα και αποτελεσματικά με τον πληθυσμό σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Τα κοινωνικά δίκτυα, όπως το Facebook, το Twitter και το Instagram, αποτελούν πλέον βασικά εργαλεία επικοινωνίας, παρέχοντας τη δυνατότητα ταχύτατης διάδοσης κρίσιμων πληροφοριών. Οι υπηρεσίες πολιτικής προστασίας και οι τοπικές αρχές χρησιμοποιούν τις πλατφόρμες αυτές για να ενημερώνουν τους πολίτες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με το ξέσπασμα πυρκαγιών ή την επικείμενη απειλή πλημμυρών, μεταδίδοντας οδηγίες προστασίας, περιοχές προς αποφυγή και ενημερώσεις για την εξέλιξη του φαινομένου.

Η αμφίδρομη φύση των κοινωνικών δικτύων καθιστά τους πολίτες όχι μόνο αποδέκτες αλλά και πηγές πληροφοριών. Μέσω αναρτήσεων, φωτογραφιών ή βίντεο, οι χρήστες μπορούν να αναφέρουν νέες εστίες φωτιάς ή περιοχές όπου απαιτείται

άμεση επέμβαση, ενισχύοντας έτσι το έργο των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης. Αυτή η συμμετοχική διάσταση συμβάλλει στη δημιουργία ενός πιο διαδραστικού και αποτελεσματικού μοντέλου διαχείρισης κινδύνων.

Πέρα από τα κοινωνικά δίκτυα, έχουν αναπτυχθεί και εξειδικευμένες ψηφιακές εφαρμογές και διαδικτυακές πλατφόρμες πρόβλεψης και παρακολούθησης φυσικών καταστροφών. Αυτές οι υπηρεσίες, που προσφέρονται είτε από δημόσιους φορείς είτε από ιδιωτικές πρωτοβουλίες, παρέχουν στους χρήστες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τη θέση και την ένταση πυρκαγιών, την εξέλιξη των καιρικών φαινομένων ή τη στάθμη των υδάτων σε περιοχές υψηλού κινδύνου. Οι πολίτες έχουν τη δυνατότητα να εγγραφούν σε αυτά τα συστήματα και να λαμβάνουν ειδοποιήσεις μέσω email ή μέσω push notifications στα κινητά τους τηλέφωνα, προσφέροντας έτσι άμεση ενημέρωση ανεξαρτήτως της τοποθεσίας τους.

Η χρήση των ψηφιακών και διαδικτυακών μέσων έχει αναβαθμίσει σημαντικά το επίπεδο προετοιμασίας και αντίδρασης σε φυσικές καταστροφές. Μέσω της τεχνολογίας, επιτυγχάνεται η αποτελεσματικότερη διάδοση των προειδοποιήσεων, η ενίσχυση της κοινωνικής συμμετοχής και η δημιουργία ενός συστήματος διαχείρισης κρίσεων που βασίζεται στη συλλογική ευθύνη και την έγκαιρη ανταπόκριση.

5.3 Τοπική και Κοινοτική Ενημέρωση

Η τοπική συμμετοχή και η ενεργοποίηση των κοινοτήτων αποτελούν κρίσιμο στοιχείο για την αποτελεσματική πρόληψη και διαχείριση φυσικών καταστροφών, όπως οι δασικές πυρκαγιές. Μέσω οργανωμένων ενημερωτικών εκστρατειών σε σχολεία, πολιτιστικά κέντρα, δήμους και τοπικές κοινότητες, ενισχύεται η γνώση των πολιτών γύρω από θέματα πολιτικής προστασίας, ενώ προωθείται η κουλτούρα της πρόληψης και της έγκαιρης αντίδρασης. Οι δράσεις αυτές εστιάζουν στην εκπαίδευση του πληθυσμού σχετικά με τα βασικά μέτρα προστασίας, τις διαδικασίες εκκένωσης και την ορθή αντίδραση σε καταστάσεις κινδύνου.

Η εκπαίδευση περιλαμβάνει, μεταξύ άλλων, τη χρήση βασικού εξοπλισμού πυρασφάλειας, την αναγνώριση επικίνδυνων καταστάσεων στο περιβάλλον και την ενημέρωση για τα διαθέσιμα μέσα επικοινωνίας σε περίπτωση ανάγκης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε ευάλωτες ομάδες του πληθυσμού, όπως τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι, με σκοπό την ενίσχυση της προστασίας τους μέσα από στοχευμένες ενημερώσεις και πρακτικές οδηγίες.

Εξαιρετικό παράδειγμα κοινοτικής οργάνωσης αποτελεί η περίπτωση του δήμου Ρεθύμνου στην Κρήτη, όπου μέσω τακτικών ασκήσεων ετοιμότητας, μαθημάτων σε σχολεία και ενημερωτικών φυλλαδίων, οι κάτοικοι έχουν εκπαιδευτεί στον έγκαιρο εντοπισμό πυρκαγιών και στη χρήση τοπικών διαύλων επικοινωνίας. Η τοπική αυτοδιοίκηση, σε συνεργασία με την Πυροσβεστική Υπηρεσία και τις εθελοντικές ομάδες, έχει δημιουργήσει ένα οργανωμένο σχέδιο αντίδρασης με χάρτες εκκένωσης, καθορισμένα σημεία συνάντησης και σχέδια υποδοχής για άτομα με κινητικές δυσκολίες.

Οι εθελοντικές ομάδες, οι οποίες συγκροτούνται σε επίπεδο κοινότητας, διαδραματίζουν επίσης καθοριστικό ρόλο. Συμμετέχουν τόσο στην πρόληψη – μέσω καθαρισμού εύφλεκτων υλικών από δασικές εκτάσεις και περιπολιών – όσο και στην

ενεργή υποστήριξη των αρχών κατά τη διάρκεια έκτακτων περιστατικών, λειτουργώντας ως συνδετικός κρίκος μεταξύ πολιτών και υπηρεσιών. Παράλληλα, η συνεργασία των τοπικών αρχών με τους κατοίκους μέσα από ανοιχτές συνεδριάσεις και δημόσιες διαβουλεύσεις ενισχύει την εμπιστοσύνη και την αποτελεσματική ροή πληροφοριών, δημιουργώντας ένα πλαίσιο συνεργασίας που βασίζεται στην εμπειρία, την εγγύτητα και την αλληλεγγύη.

Συνολικά, η τοπική και κοινοτική ενημέρωση δεν αποτελεί απλώς συμπληρωματικό μέτρο, αλλά βασικό πυλώνα στην αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών, ενδυναμώνοντας τον πληθυσμό και προωθώντας την ανθεκτικότητα σε επίπεδο βάσης.

5.4 Παραδοσιακά Μέσα Ενημέρωσης

Παρά τη ραγδαία ανάπτυξη των ψηφιακών μέσων και της επικοινωνίας μέσω διαδικτύου, τα παραδοσιακά μέσα ενημέρωσης εξακολουθούν να διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενημέρωση του πληθυσμού, ειδικά σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης και σε απομακρυσμένες ή τεχνολογικά αποκλεισμένες περιοχές. Οι τοπικοί ραδιοφωνικοί σταθμοί, ιδίως σε αγροτικές και ορεινές κοινότητες, παραμένουν αξιόπιστοι φορείς μετάδοσης πληροφοριών. Η δυνατότητά τους να εκπέμπουν χωρίς να εξαρτώνται από ευρυζωνικές υποδομές καθιστά το ραδιόφωνο ένα από τα πιο ανθεκτικά μέσα σε συνθήκες κρίσης, όπως διακοπές ρεύματος ή κατάρρευση τηλεπικοινωνιακών δικτύων.

Οι ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές εκπομπές έκτακτης ανάγκης παρέχουν ζωτικής σημασίας πληροφορίες στους πολίτες σχετικά με την πορεία πυρκαγιών, οδηγίες εκκένωσης, εναλλακτικές διαδρομές διαφυγής και μέτρα αυτοπροστασίας. Σε περιόδους έντονων καταστροφικών φαινομένων, όταν τα σύγχρονα μέσα ενδέχεται να παρουσιάσουν προβλήματα συνδεσιμότητας ή υπερφόρτωσης, τα παραδοσιακά μέσα αποδεικνύονται σταθερά και αποτελεσματικά.

Επιπλέον, οι έντυπες εκδόσεις, όπως οι εφημερίδες και τα περιοδικά, παρότι δεν ενδείκνυνται για άμεσες ειδοποιήσεις, συμβάλλουν σημαντικά στην ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού σε βάθος χρόνου. Μέσα από άρθρα, αφιερώματα και οδηγούς πολιτικής προστασίας, παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με προληπτικά μέτρα, στρατηγικές ετοιμότητας και παραδείγματα καλών πρακτικών από άλλες περιοχές. Η συνεχής παρουσία αυτών των θεμάτων στον έντυπο Τύπο ενισχύει τη γενικότερη κουλτούρα πρόληψης και ενδυναμώνει την κοινωνική συνείδηση απέναντι στους κινδύνους των φυσικών καταστροφών.

Σε συνδυασμό με τις σύγχρονες τεχνολογίες, τα παραδοσιακά μέσα μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά, εξασφαλίζοντας ότι οι πληροφορίες φτάνουν σε όλα τα κοινωνικά στρώματα και γεωγραφικές περιοχές, ανεξάρτητα από την πρόσβασή τους στην ψηφιακή τεχνολογία. Η αξιοποίηση κάθε διαθέσιμου μέσου, παραδοσιακού ή ψηφιακού, είναι επομένως απαραίτητη για τη δημιουργία ενός αποτελεσματικού και καθολικού συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης.

6. Προκλήσεις και τους περιορισμούς των υφιστάμενων συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης (EWS)

Ένας από τους βασικότερους περιορισμούς των υφιστάμενων συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης αφορά τις τεχνικές ελλείψεις και την ανάγκη αναβάθμισης του εξοπλισμού και των υποδομών. Πολλά EWS βασίζονται σε παρωχημένες τεχνολογίες, οι οποίες αδυνατούν να ανταποκριθούν στην ταχύτητα και τον όγκο των δεδομένων που απαιτεί η σύγχρονη εποχή. Για παράδειγμα, σε ορισμένες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών, παλαιότερα EWS για ανεμοστρόβιλους βασίζονται ακόμη σε ραδιοσήματα και συμβατικές σειρήνες, χωρίς να αξιοποιούν σύγχρονες δυνατότητες ειδοποίησης μέσω κινητών τηλεφώνων ή εφαρμογών. Αντίστοιχα, σε χώρες της Ευρώπης, όπως η Ιταλία, έχουν αναφερθεί καθυστερήσεις στην επικαιροποίηση συστημάτων προειδοποίησης για σεισμούς λόγω της πολυπλοκότητας των εθνικών δικτύων μέτρησης. Η ταχεία τεχνολογική πρόοδος καθιστά απαραίτητη την τακτική αναβάθμιση των EWS, ώστε να ενσωματώνουν αξιόπιστες μεθόδους ανάλυσης βασισμένες σε τεχνητή νοημοσύνη και δίκτυα αισθητήρων νέας γενιάς.

Σημαντική πρόκληση αποτελεί επίσης η άνιση πρόσβαση και η δυσκολία υιοθέτησης αυτών των τεχνολογιών σε αναπτυσσόμενες χώρες. Οι περιοχές αυτές συχνά στερούνται βασικών υποδομών, όπως αξιόπιστο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας ή σταθερές τηλεπικοινωνίες, γεγονός που καθιστά προβληματική τη λειτουργία των EWS. Στη Μοζαμβίκη, για παράδειγμα, η περιορισμένη διαθεσιμότητα κινητής τηλεφωνίας και η έλλειψη εκπαιδευμένων τεχνικών προσωπικών έχει καθυστερήσει την πλήρη εφαρμογή ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης για κυκλώνες, παρά τη μεγάλη έκθεση της χώρας σε τέτοιες καταστροφές. Αντίστοιχα, στην Ινδονησία, οι γεωγραφικές ιδιαιτερότητες των νησιωτικών περιοχών καθιστούν εξαιρετικά δύσκολη την εγκατάσταση ομοιογενούς δικτύου προειδοποίησης για τσουνάμι, παρά τις τεχνολογικές προσπάθειες που έχουν γίνει μετά το καταστροφικό τσουνάμι του 2004.

Τέλος, καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη και επέκταση των EWS διαδραματίζουν τα χρηματοδοτικά και νομικά εμπόδια. Η ανάπτυξη και λειτουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος απαιτεί σημαντικές επενδύσεις, τις οποίες πολλές διοικητικές αρχές δυσκολεύονται να καλύψουν χωρίς εξωτερική χρηματοδότηση. Για παράδειγμα, στην Καραϊβική, μικρά νησιωτικά κράτη έχουν αναγκαστεί να βασιστούν σε διεθνή προγράμματα και χρηματοδότηση από τον ΟΗΕ για την ανάπτυξη EWS ενάντια σε τυφώνες, καθώς δεν διαθέτουν τους απαιτούμενους εθνικούς πόρους. Παράλληλα, η απουσία ενιαίου νομικού πλαισίου στην Ευρωπαϊκή Ένωση για τη διασυννοιακή διαχείριση κρίσεων, όπως οι πλημμύρες σε ποταμούς που διασχίζουν πολλές χώρες, έχει καθυστερήσει τη συνεργασία μεταξύ κρατών για κοινές υποδομές έγκαιρης προειδοποίησης. Αυτά τα παραδείγματα αναδεικνύουν την ανάγκη για ευέλικτες στρατηγικές και ενιαίες πολιτικές που θα προωθούν την ανάπτυξη και αξιοποίηση των EWS σε παγκόσμιο επίπεδο.

7. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

Η ανάπτυξη Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης (ΣΕΠ) για φυσικές καταστροφές, όπως οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες, έχει εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, με την ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών, συμπεριλαμβανομένης της Τεχνητής Νοημοσύνης (TN) (Kelly, 2023). Αυτές οι καινοτομίες έχουν ενισχύσει την ικανότητα πρόβλεψης και διαχείρισης τέτοιων φαινομένων, συμβάλλοντας στην προστασία ανθρώπινων ζώων και περιουσιών.

7.1 Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Πυρκαγιές

Η χρήση της TN έχει βελτιώσει την ακρίβεια πρόβλεψης των πυρκαγιών. Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Προγνώσεων Καιρού ανέπτυξε το μοντέλο Probability of Fire (PoF) (McNorton, 2024), το οποίο αναλύει δεδομένα όπως καιρικές συνθήκες, βλάστηση και ανθρώπινες δραστηριότητες για τον εντοπισμό πιθανών εστιών πυρκαγιάς με μεγαλύτερη ακρίβεια από τις παραδοσιακές μεθόδους. Παράλληλα, η Καλιφόρνια συνεργάζεται με οργανισμούς για την ανάπτυξη του δικτύου Firesat (Groß, 2012), ενός συνόλου δορυφόρων χαμηλής τροχιάς εξοπλισμένων με υπέρυθρους αισθητήρες, που θα παρακολουθούν ακόμη και μικρές πυρκαγιές, παρέχοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για τη βελτίωση της απόκρισης.

7.2 Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Πλημμύρες

Στον τομέα των πλημμυρών, η ενσωμάτωση της TN σε συνδυασμό με μοντέλα βασισμένα σε φυσικές διεργασίες έχει οδηγήσει σε πιο αξιόπιστα ΣΕΠ. Μια μελέτη που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό *Natural Hazards* προτείνει τη χρήση μοντέλου βαθιάς μάθησης με στρώματα μακροπρόθεσμης βραχυπρόθεσμης μνήμης (LSTM) (Staudemeyer, 2019) για την πρόβλεψη της ροής ποταμών, το οποίο συνδυάζεται με υδροδυναμικό μοντέλο για την προσομοίωση των επιπέδων νερού σε εκβολές ποταμών. Αυτή η προσέγγιση επέτρεψε προβλέψεις με ακρίβεια έως και 36 ώρες νωρίτερα. Επιπλέον, ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για πλημμύρες στην περιοχή Tomebamba των Άνδεων του Ισημερινού χρησιμοποίησε τεχνικές μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη πλημμυρών, αξιοποιώντας δεδομένα βροχοπτώσεων και ροής ποταμών, βελτιώνοντας την ικανότητα πρόβλεψης και την προετοιμασία των κοινοτήτων.

7.3 Προκλήσεις και Περιορισμοί

Παρά τις τεχνολογικές προόδους, υπάρχουν προκλήσεις στην εφαρμογή αυτών των συστημάτων. Για παράδειγμα, αν και τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης με TN μπορούν να προβλέψουν ακραία καιρικά φαινόμενα, η αποτελεσματική χρήση αυτών των πληροφοριών και η επένδυση σε αξιόπιστα μοντέλα συλλογής δεδομένων παραμένουν κρίσιμα ζητήματα. Η επικοινωνία σχετικά με τη σοβαρότητα των πιθανών γεγονότων είναι ζωτικής σημασίας για την κατάλληλη προετοιμασία. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα των συστημάτων ειδοποίησης και οι τεχνικές προκλήσεις μπορεί να οδηγήσουν σε καθυστερήσεις στην ενημέρωση των κατοίκων, όπως παρατηρήθηκε σε πρόσφατες πυρκαγιές στο Λος Άντζελες.

Συνολικά, οι πρόσφατες έρευνες και μελέτες υπογραμμίζουν τη σημασία της ενσωμάτωσης προηγμένων τεχνολογιών, όπως η ΤΝ, στα ΣΕΠ για πυρκαγιές και πλημμύρες. Παρόλο που υπάρχουν προκλήσεις, η συνεχής εξέλιξη αυτών των συστημάτων είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική διαχείριση και μετριασμό των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών.

Η εφαρμογή επιτυχημένων Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης (ΣΕΠ) για φυσικές καταστροφές, όπως οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες, έχει αποδειχθεί ζωτικής σημασίας για την προστασία ανθρώπινων ζωών και περιουσιών. Παρακάτω παρουσιάζονται παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών:

8. Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Πυρκαγιές

8.1 Δίκτυο Καμερών ALERTCalifornia

Ένα από τα πλέον εντυπωσιακά παραδείγματα ενσωμάτωσης τεχνητής νοημοσύνης (ΑΙ) στα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης (EWS) αποτελεί το δίκτυο ALERTCalifornia (Jackson, 2000) στις Ηνωμένες Πολιτείες. Πρόκειται για ένα προηγμένο δίκτυο που περιλαμβάνει περισσότερες από 1.150 σταθερές κάμερες υψηλής ευκρίνειας εγκατεστημένες σε κρίσιμα σημεία υψηλού κινδύνου σε ολόκληρη την Πολιτεία της Καλιφόρνια. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για τη συνεχή παρακολούθηση των δασικών εκτάσεων, με στόχο την ταχύτερη δυνατή ανίχνευση πυρκαγιών.

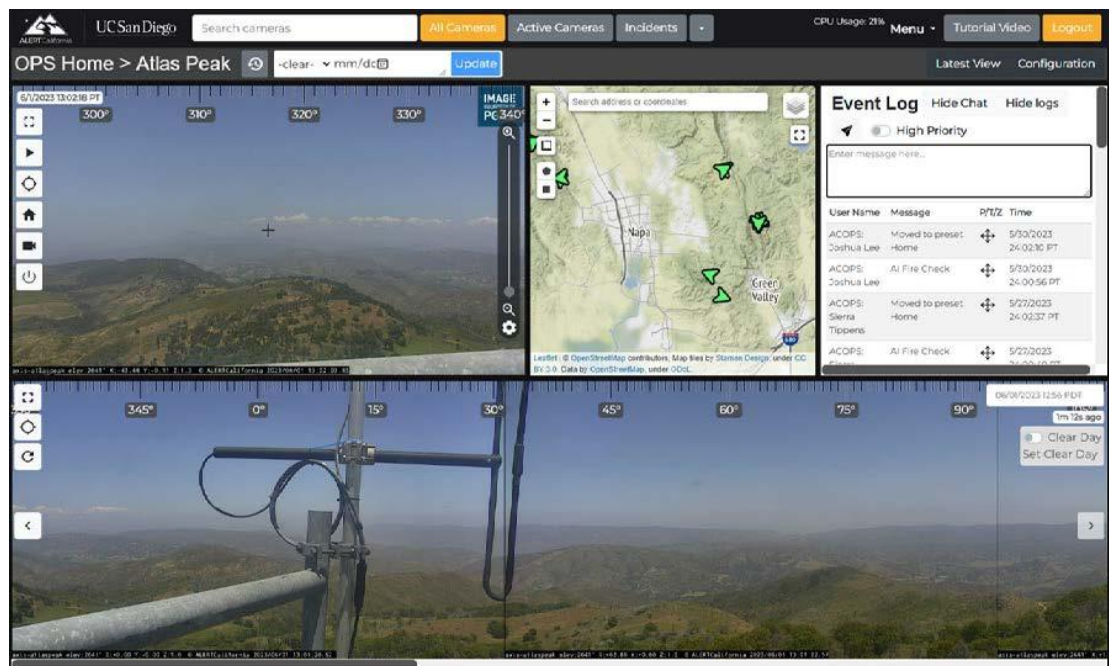
Αυτό που καθιστά το ALERTCalifornia εξαιρετικά καινοτόμο είναι η ενσωμάτωση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης, οι οποίοι επεξεργάζονται ζωντανές εικόνες σε πραγματικό χρόνο, εντοπίζοντας ασυνήθιστες μεταβολές στο οπτικό πεδίο—όπως καπνό ή αυξημένη θερμότητα—και εκπέμπουν αυτόματες ειδοποιήσεις στις πυροσβεστικές και διαχειριστικές αρχές. Η ικανότητα του συστήματος να παρατηρεί μεγάλες εκτάσεις χωρίς διακοπή, 24 ώρες το 24ωρο, υπερβαίνει σε αποτελεσματικότητα τις παραδοσιακές μεθόδους αναφοράς, όπως οι τηλεφωνικές κλήσεις από πολίτες ή περιπολίες.

Η επιτυχία του συστήματος αποτυπώνεται ξεκάθαρα στην πρακτική του εφαρμογή. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα σημειώθηκε τον Δεκέμβριο, όταν οι κάμερες του δικτύου εντόπισαν πυρκαγιά σε φαράγγι της κομητείας Orange κατά τη διάρκεια της νύχτας. Χάρη στην άμεση ειδοποίηση μέσω του αυτόματου συστήματος, οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης επενέβησαν σε ελάχιστο χρόνο, αποτρέποντας την εξάπλωση της φωτιάς και περιορίζοντας τις ζημιές. Σε παρόμοια περιστατικά, η έγκαιρη ενεργοποίηση του συστήματος έχει αποδειχθεί καθοριστική για τη διάσωση ανθρώπινων ζωών και την προστασία κρίσιμων υποδομών.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι μέχρι σήμερα, το δίκτυο έχει συμβάλει στον εντοπισμό πάνω από 1.200 πυρκαγιών, αριθμός που επιβεβαιώνει την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα της τεχνολογίας. Η συνεχής μάθηση των αλγορίθμων μέσω Machine Learning επιτρέπει στο σύστημα να βελτιώνεται διαρκώς, μειώνοντας τα ψευδώς θετικά σήματα και αυξάνοντας την ακρίβεια της αναγνώρισης.

Το παράδειγμα του ALERTCalifornia αναδεικνύει τη μεταμορφωτική δύναμη της Τεχνητής Νοημοσύνης στον τομέα της πρόληψης φυσικών καταστροφών. Η εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών προσφέρει πολύτιμα διδάγματα και για άλλες χώρες, όπως η Ελλάδα, η οποία αντιμετωπίζει παρόμοιες προκλήσεις λόγω της έντονης πυροπληξίας και των επιπτώσεων της κλιματικής κρίσης. Η επένδυση σε έξυπνα οπτικά δίκτυα παρακολούθησης, εφοδιασμένα με AI, θα μπορούσε να ενισχύσει κατακόρυφα την επιχειρησιακή ετοιμότητα των ελληνικών Αρχών, ιδιαίτερα σε περιοχές όπως η Πάρνηθα, η Ρόδος και η Εύβοια, που έχουν πληγεί κατ' επανάληψη από καταστροφικές πυρκαγιές.

Σε ένα ευρύτερο πλαίσιο, η επιτυχία του ALERTCalifornia αποδεικνύει πως η τεχνολογία μπορεί να αποτελέσει πυλώνα πρόληψης και όχι μόνο απόκρισης, μετατρέποντας τον χρόνο σε σύμμαχο των κοινωνιών που απειλούνται από φυσικούς κινδύνους.



Εικόνα 5 Alert-California

8.2 Εφαρμογή Watch Duty

Η εφαρμογή Watch Duty (<https://www.watchduty.org/how-it-works/overview>, n.d.) αποτελεί ένα καινοτόμο παράδειγμα αξιοποίησης της τεχνολογίας και της συλλογικής συμμετοχής των πολιτών για την έγκαιρη και αξιόπιστη ενημέρωση σε περιπτώσεις πυρκαγιών. Αναπτύχθηκε για τις δυτικές πολιτείες των Ηνωμένων Πολιτειών, όπου οι δασικές πυρκαγιές είναι συχνό και καταστροφικό φαινόμενο, και σήμερα εξυπηρετεί πάνω από 7,2 εκατομμύρια ενεργούς χρήστες.

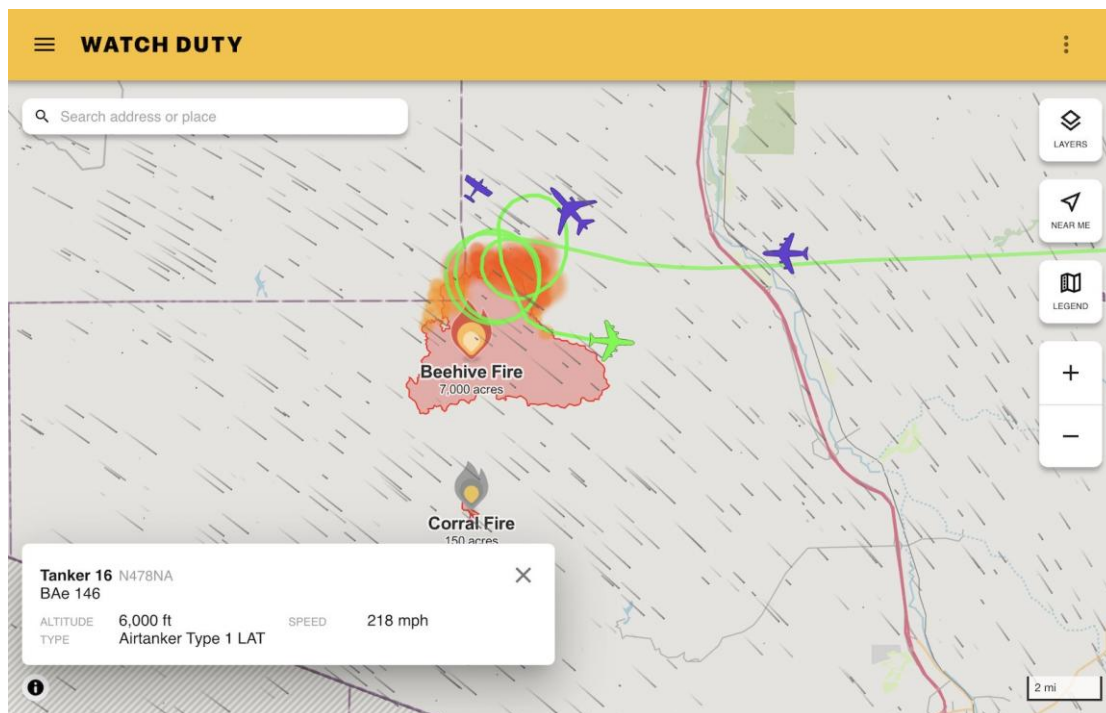
Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές εφαρμογές που βασίζονται αποκλειστικά σε αυτόματα δεδομένα, η Watch Duty λειτουργεί μέσω ενός συνεργατικού μοντέλου πληροφόρησης, αξιοποιώντας ένα δίκτυο εθελοντών υψηλής εξειδίκευσης – μεταξύ αυτών ενεργοί και απόστρατοι πυροσβέστες, αποστολείς έκτακτης ανάγκης, και ειδικοί στην ανάλυση χαρτών και δεδομένων. Οι εθελοντές αυτοί παρακολουθούν και επαληθεύουν τις πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, μετατρέποντας τις σε άμεσες, κατανοητές ενημερώσεις για το ευρύ κοινό, με γεωεντοπισμό, περιγραφή κινδύνου, εντολές εκκένωσης και επιχειρησιακές εξελίξεις.

Η εφαρμογή έχει καθιερωθεί ως ένα κρίσιμο εργαλείο επικοινωνίας μεταξύ αρχών και κοινού, ειδικά σε περιόδους κρίσης, όταν η ταχύτητα της πληροφορίας μπορεί να κάνει τη διαφορά ανάμεσα στην ασφάλεια και τον κίνδυνο. Για παράδειγμα, σε μεγάλης έκτασης φωτιές στην Καλιφόρνια, η Watch Duty ειδοποίησε εγκαίρως τους κατοίκους για τις μεταβολές του ανέμου και την κατεύθυνση της φωτιάς, πολύ πριν φτάσουν επίσημες ανακοινώσεις, επιτρέποντας ταχύτερες εκκενώσεις και καλύτερο συντονισμό.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της εφαρμογής είναι ότι συνδυάζει ανθρώπινη κρίση με τεχνολογική αμεσότητα. Οι εθελοντές αξιοποιούν πληροφορίες από επίσημες ραδιοσυχνότητες, δορυφορικές εικόνες, κοινωνικά μέσα και επίγειες κάμερες, τις διασταυρώνουν και τις μεταφέρουν στην εφαρμογή με εντυπωσιακή ακρίβεια και ταχύτητα. Παράλληλα, οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε χάρτες σε πραγματικό χρόνο, φωτογραφίες και livestreams από τοπικά σημεία, ενισχύοντας τη διαφάνεια και την ενεργή συμμετοχή της κοινότητας.

Η Watch Duty αναδεικνύει πώς η τεχνολογία των πολιτών (civic tech) μπορεί να ενισχύσει δραστικά τα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης. Δεν πρόκειται απλώς για ένα τεχνολογικό εργαλείο, αλλά για ένα δίκτυο αλληλεγγύης και διαμοιρασμένης γνώσης, που βασίζεται στην εμπιστοσύνη και τη συνεργασία. Το παράδειγμα αυτό είναι εξαιρετικά χρήσιμο και για χώρες όπως η Ελλάδα, όπου η συμμετοχή της κοινωνίας των πολιτών και η ενεργοποίηση των τοπικών κοινοτήτων αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες στην επιτυχή αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών.

Η πιθανή υιοθέτηση ενός αντίστοιχου μοντέλου στη χώρα μας—με γεωεντοπισμένες ειδοποιήσεις, συνεργατικά δίκτυα ενημέρωσης και πρόσβαση σε πραγματικό χρόνο σε κρίσιμα δεδομένα—θα μπορούσε να ενισχύσει καθοριστικά τον μηχανισμό πρόληψης και απόκρισης, ιδίως σε περιοχές υψηλής πυροεπικινδυνότητας, όπως η Αττική, η Εύβοια και η Πελοπόννησος.



Εικόνα 6 Watch-Duty

8.3 EFFIS (European Forest Fire Information System) – Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών για Δασικές Πυρκαγιές

Το European Forest Fire Information System (EFFIS) (San-Miguel-Ayanz, 2012) αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους πυλώνες της ευρωπαϊκής στρατηγικής για την πρόληψη, ανίχνευση και διαχείριση δασικών πυρκαγιών. Αναπτύχθηκε από το Joint Research Centre (JRC) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και λειτουργεί ως ένα πλήρως ολοκληρωμένο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης, προσφέροντας καθημερινές προβλέψεις κινδύνου πυρκαγιάς σε επίπεδο ηπείρου, με εξαιρετικά υψηλή ακρίβεια.

Το EFFIS βασίζεται σε μετεωρολογικά δεδομένα, δορυφορικές εικόνες, αλγοριθμική πρόβλεψη και γεωχωρικά εργαλεία. Μέσα από την ενσωμάτωση αυτών των δεδομένων, υπολογίζει κρίσιμους δείκτες όπως το Fire Weather Index (FWI) (Varela, 2018), προβλέποντας τις συνθήκες που ευνοούν την έναρξη και την εξάπλωση πυρκαγιών. Οι προβλέψεις του παρουσιάζονται μέσω διαδραστικών χαρτών, παρέχοντας οπτικοποιημένα επίπεδα κινδύνου για κάθε περιοχή, έως και 5 ημέρες νωρίτερα.

Ιδιαίτερα το καλοκαίρι του 2022, όταν πολλές χώρες της Νότιας Ευρώπης, ανάμεσά τους η Ελλάδα και η Ισπανία, βρέθηκαν αντιμέτωπες με μία από τις πιο καταστροφικές περιόδους πυρκαγιών της τελευταίας δεκαετίας, το EFFIS έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην προετοιμασία και την επιχειρησιακή απόκριση. Οι προβλέψεις του βοήθησαν τις ελληνικές αρχές να ενισχύσουν προληπτικά μέτρα επιτήρησης και ετοιμότητας σε περιοχές υψηλού κινδύνου, όπως η Εύβοια, η Αττική και η Ρόδος, αποτρέποντας σε αρκετές περιπτώσεις ανεξέλεγκτη εξάπλωση.

Πέρα από τις καθημερινές προγνώσεις, το EFFIS προσφέρει ένα εκτενές ιστορικό αρχείο με δεδομένα καμένων εκτάσεων, διάρκεια πυρκαγιών, συχνότητα εκδήλωσης και επίπεδα κινδύνου σε βάθος δεκαετιών. Αυτό επιτρέπει την επιστημονική ανάλυση των τάσεων, τον εντοπισμό περιοχών με συστηματική επαναφλεξιμότητα, αλλά και τη χάραξη πολιτικών πυροπροστασίας και αναδάσωσης σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο.

Αξιοσημείωτο είναι πως το EFFIS ενσωματώνεται πλήρως στο Copernicus Emergency Management Service, ενώ συνεργάζεται στενά με εθνικούς φορείς όπως το Υπουργείο Κλιματικής Κρίσης και Πολιτικής Προστασίας στην Ελλάδα. Η διασύνδεση με τα συστήματα πολιτικής προστασίας κάθε κράτους επιτρέπει την αυτόματη ενημέρωση των επιχειρησιακών κέντρων, εξασφαλίζοντας συντονισμό σε διασυνοριακές κρίσεις και βελτιστοποίηση των πόρων απόκρισης, όπως εναέρια μέσα και επίγειες δυνάμεις.

Σε ένα περιβάλλον αυξανόμενης κλιματικής αστάθειας, η ύπαρξη συστημάτων όπως το EFFIS δεν είναι απλώς χρήσιμη, αλλά απολύτως αναγκαία. Παρέχει τις βάσεις για τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων, στοχευμένη πρόληψη και δημιουργία μιας ανθεκτικής Ευρώπης απέναντι στις δασικές πυρκαγιές. Η περαιτέρω αξιοποίησή του από τις ελληνικές αρχές, σε συνδυασμό με συστήματα τεχνητής νοημοσύνης και αισθητήρων πεδίου, θα μπορούσε να προσφέρει ένα ολοκληρωμένο πλέγμα έγκαιρης προειδοποίησης και προληπτικής δράσης, με ουσιαστική μείωση των συνεπειών των φυσικών καταστροφών.



Εικόνα 7 Effis

8.4 AFIS (Advanced Fire Information System) – Νότια Αφρική

Το AFIS (Advanced Fire Information System) (Frost, 2012) αποτελεί μια από τις πιο καινοτόμες πλατφόρμες έγκαιρης προειδοποίησης πυρκαγιών που εφαρμόζονται σε παγκόσμιο επίπεδο. Αναπτύχθηκε από το Συμβούλιο Επιστημονικής και Βιομηχανικής Έρευνας (CSIR) της Νότιας Αφρικής και αξιοποιεί προηγμένη δορυφορική παρακολούθηση σε συνδυασμό με αισθητήρες θερμικής ανίχνευσης για την άμεση εντόπιση και συνεχή παρακολούθηση ενεργών εστιών φωτιάς.

Η λειτουργία του βασίζεται σε δεδομένα από δορυφόρους χαμηλής και μέσης τροχιάς, όπως το MODIS και το VIIRS, τα οποία συλλέγουν πληροφορίες για τη θερμική ακτινοβολία και τα μοτίβα καύσης σε μεγάλης κλίμακας εκτάσεις. Τα δεδομένα αυτά αναλύονται σε πραγματικό χρόνο μέσω εξειδικευμένων αλγορίθμων, ώστε να εντοπίζονται άμεσα νέες εστίες πυρκαγιάς, ακόμα και σε απομακρυσμένες ή μη προσβάσιμες περιοχές.

Το AFIS έχει αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμο για την προστασία εθνικών πάρκων, αγροτικών κοινοτήτων και φυσικών αποθεμάτων στη Νότια Αφρική. Για παράδειγμα, έχει εφαρμοστεί εκτενώς στο Kruger National Park, όπου οι διαχειριστές των πάρκων λαμβάνουν αυτόματες ειδοποιήσεις μέσω email και SMS, επιτρέποντας ταχεία κινητοποίηση και περιορισμό της ζημιάς στα οικοσυστήματα. Επιπλέον, έχει συμβάλει στην προστασία ευάλωτων αγροτικών περιοχών, προειδοποιώντας τις τοπικές κοινότητες και τους παραγωγούς πριν η φωτιά εξαπλωθεί.

Ιδιαίτερης σημασίας είναι η διεθνής εφαρμογή του συστήματος. Το AFIS έχει υιοθετηθεί σε χώρες όπως η Βραζιλία και η Αυστραλία, περιοχές με παρόμοιες προκλήσεις πυρκαγιών μεγάλης κλίμακας και πολύτιμα οικοσυστήματα. Στην περίπτωση της Βραζιλίας, έχει χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση πυρκαγιών στον Αμαζόνιο, προσφέροντας εργαλεία παρακολούθησης για περιβαλλοντικές οργανώσεις και κυβερνητικές υπηρεσίες. Αντίστοιχα, στην Αυστραλία, έχει συνδράμει στην παρακολούθηση της εξάπλωσης φωτιάς σε δύσβατες περιοχές, επιτρέποντας τον καλύτερο συντονισμό των δυνάμεων πυρόσβεσης.

Η πλατφόρμα AFIS είναι προσβάσιμη μέσω διαδικτυακής εφαρμογής με διαδραστικούς χάρτες και εξατομικευμένες ρυθμίσεις προειδοποίησης, επιτρέποντας σε χρήστες από όλο τον κόσμο να παρακολουθούν περιοχές ενδιαφέροντος. Η ευκολία πρόσβασης, η ακρίβεια εντοπισμού και η άμεση διάχυση πληροφορίας καθιστούν το AFIS ένα ισχυρό εργαλείο όχι μόνο για τις αρχές, αλλά και για ιδιώτες, ΜΚΟ, ερευνητικά ιδρύματα και διαχειριστές γης.

Σε μια εποχή που οι δασικές πυρκαγιές εντείνονται λόγω της κλιματικής αλλαγής, συστήματα όπως το AFIS αποκτούν κομβική σημασία για τη διαχείριση του κινδύνου. Η ενσωμάτωση τεχνολογιών παρατήρησης της Γης με τεχνητή νοημοσύνη και η δυνατότητα διακρατικής εφαρμογής επιβεβαιώνουν τη σημασία της διεθνούς συνεργασίας και της μεταφοράς τεχνογνωσίας στον τομέα της περιβαλλοντικής προστασίας.



Εικόνα 8 Afis

8.5 ΣΕΠ Πυρκαγιών στην Αυστραλία – Phoenix RapidFire

Το Phoenix RapidFire (Tolhurst, 2011) είναι ένα εξελιγμένο σύστημα προσομοίωσης της εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών, που αναπτύχθηκε στην Αυστραλία από το Bushfire and Natural Hazards CRC και το University of Melbourne. Σχεδιάστηκε με σκοπό να βοηθήσει στη δυναμική πρόβλεψη της συμπεριφοράς της φωτιάς, ενσωματώνοντας μεγάλο όγκο δεδομένων από την τοπογραφία, τη βλάστηση, τις μετεωρολογικές συνθήκες και το ιστορικό καύσεων.

Το σύστημα προσομοιώνει την πορεία της πυρκαγιάς με βάση παραμέτρους όπως:

- Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου
- Θερμοκρασία και σχετική υγρασία
- Τύποι και πυκνότητα βλάστησης
- Κλίση και προσανατολισμός εδάφους
- Ιστορικά δεδομένα πυρκαγιών και προηγούμενων καύσεων

Η προσομοίωση πραγματοποιείται σε κλίμακα λεπτομερειών της τάξης των 25 μέτρων, επιτρέποντας εξαιρετικά ακριβείς χωρικές εκτιμήσεις για την πιθανή επέκταση της φωτιάς σε διάστημα ωρών ή ημερών. Αυτή η ακρίβεια είναι καθοριστική για την επιχειρησιακή σχεδίαση και την προστασία υποδομών και ανθρώπινων ζωνών.

Κατά την καταστροφική περίοδο πυρκαγιών 2019–2020, γνωστή ως "Black Summer", το Phoenix RapidFire διαδραμάτισε κομβικό ρόλο στον στρατηγικό σχεδιασμό των επιχειρήσεων. Οι αρχές πολιτικής προστασίας, όπως το Country Fire Authority (CFA) (Tyler, 2019) και το NSW Rural Fire Service (Wallace, 2021), χρησιμοποίησαν το σύστημα για να εκτιμήσουν τη δυναμική εξάπλωσης των πυρίνων μετώπων σε διάφορα σενάρια. Αυτό βοήθησε:

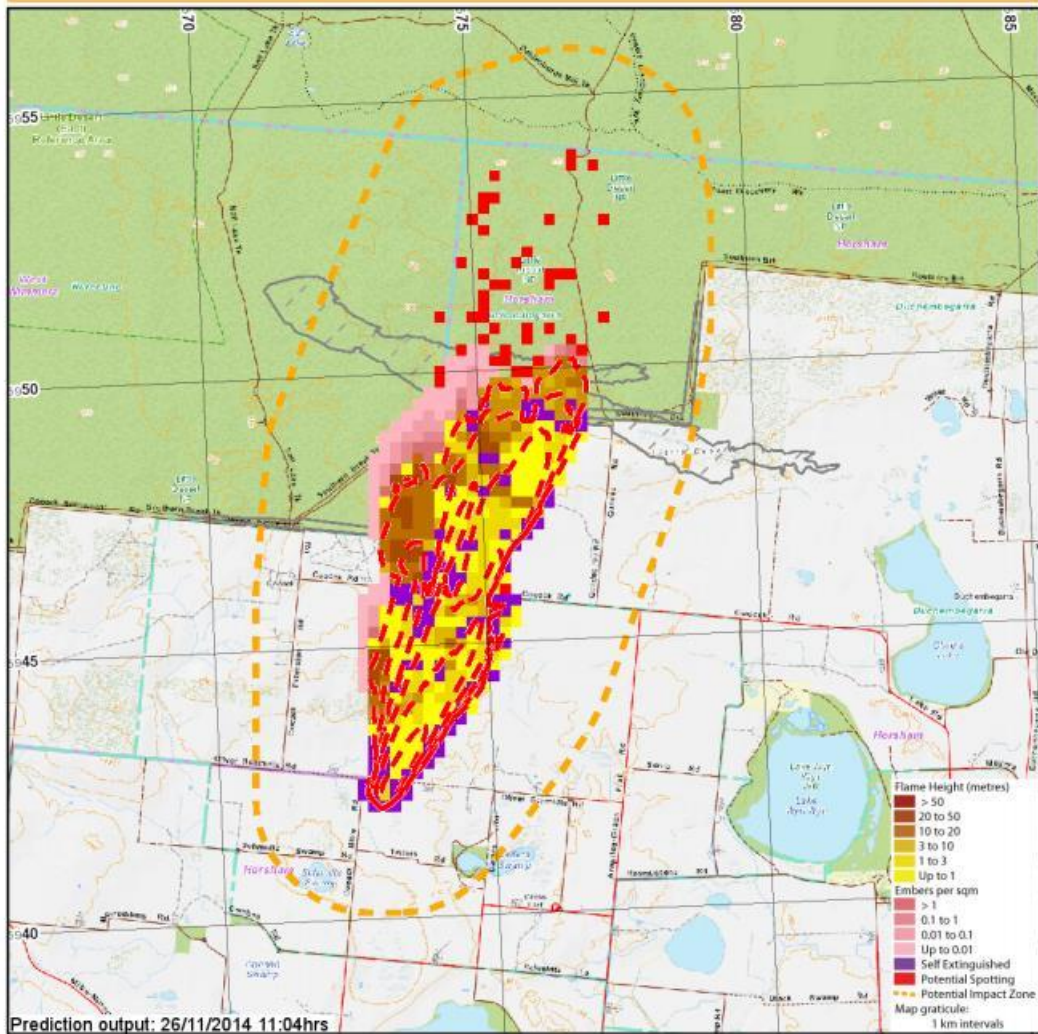
- Στον έγκαιρο σχεδιασμό εκκενώσεων σε επικίνδυνες περιοχές
- Στην οργάνωση δυνάμεων πυρόσβεσης με βέλτιστο τρόπο
- Στον προσδιορισμό σημείων υψηλής επικινδυνότητας, όπως κρίσιμες υποδομές, οδικά δίκτυα και αγροτικές εγκαταστάσεις

Το Phoenix RapidFire είναι πλέον ενσωματωμένο σε εθνικά και περιφερειακά επιχειρησιακά κέντρα, παρέχοντας διαδραστικά εργαλεία οπτικοποίησης για τον συντονισμό και την ενημέρωση των εμπλεκόμενων φορέων.

Η πρόβλεψη της συμπεριφοράς των πυρκαγιών σε πραγματικό χρόνο ενισχύει σημαντικά την ανθεκτικότητα των κοινοτήτων, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει ένα ισχυρό εργαλείο για την εκπαίδευση και προετοιμασία πυροσβεστών και πολιτικής προστασίας. Η ενσωμάτωση του Phoenix RapidFire με άλλες τεχνολογίες, όπως δορυφορικά δεδομένα, UAVs και δίκτυα IoT, καθιστά το σύστημα πρωτοποριακό σε παγκόσμιο επίπεδο.

PHOENIX PREDICTION SUMMARY REPORT

Executive Summary:



Name:	COOACK MITRE RD		
Prediction start time(24hr):	26 Nov 2014 11:11:00	Prediction end time(24hr):	26 Nov 2014 17:00:00
Area burnt:	1466 ha	Criticality score:	0
Max spotting distance:	0 km	Ignition pt: Lat/Long	-36.66, 141.81

Εικόνα 9 Phoenix - Rapidifire

9. Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Πλημμύρες

9.1 AQUALERT – Ολοκληρωμένο Σύστημα Πρόγνωσης και Έγκαιρης Προειδοποίησης Πλημμυρών στις Φιλιππίνες

Το AQUALERT (<https://www.aqualertph.com/>, n.d.) είναι ένα καινοτόμο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για πλημμύρες, που αναπτύχθηκε από τη Φιλιππινέζικη εταιρεία Innovative Technologies for Community Disaster Risk Reduction. Το σύστημα στοχεύει στη βελτίωση της ετοιμότητας και της αντίδρασης των κοινοτήτων απέναντι στις συχνές και καταστροφικές πλημμύρες που πλήττουν τη χώρα, ειδικά κατά την περίοδο των μουσώνων και των τροπικών κυκλώνων.

Το AQUALERT βασίζεται σε μια πλήρως αυτοματοποιημένη πλατφόρμα που συνδυάζει:

- Αισθητήρες στάθμης νερού σε ποτάμια και ρέματα για την παρακολούθηση της ανόδου του υδάτινου όγκου
- Βροχόμετρα ακριβείας για την καταγραφή της έντασης και διάρκειας των βροχοπτώσεων
- Καιρικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μέσω διασύνδεσης με εθνικούς και διεθνείς παρόχους πρόγνωσης
- Αυτόματο σύστημα ειδοποιήσεων SMS και push notifications προς κατοίκους, σχολεία και δημοτικές αρχές

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του AQUALERT είναι η προσβασιμότητα των πληροφοριών μέσω ενσωματωμένων χαρτών επικινδυνότητας, οι οποίοι απεικονίζουν τα σημεία με αυξημένο κίνδυνο πλημμύρας σε πραγματικό χρόνο. Οι κάτοικοι μπορούν να δουν τον βαθμό επικινδυνότητας στην περιοχή τους μέσω εφαρμογής στο κινητό ή οθονών LED σε δημόσιους χώρους.

Το σύστημα έχει εφαρμοστεί πιλοτικά σε πολλές επαρχιακές περιοχές με υψηλό δείκτη πλημμυρικής τρωτότητας, όπως οι περιοχές Cagayan Valley και Pampanga, με εξαιρετικά αποτελέσματα. Σύμφωνα με το Εθνικό Συμβούλιο για τη Μείωση Κινδύνων Καταστροφών (NDRRMC) (Chuidian, 2014), η χρήση του AQUALERT συνέβαλε στη μείωση απωλειών σε ζωές και περιουσίες, χάρη στην πρόωρη αποστολή προειδοποιήσεων και την ενίσχυση της τοπικής κινητοποίησης.

Η τεχνολογική αρχιτεκτονική του AQUALERT είναι modular και χαμηλού κόστους, γεγονός που την καθιστά ιδανική για αγροτικές και οικονομικά ευάλωτες περιοχές. Το σύστημα χρησιμοποιεί ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως ηλιακά πάνελ, και διαθέτει ανθεκτικότητα στις καιρικές συνθήκες, εξασφαλίζοντας συνεχή λειτουργία ακόμη και κατά τη διάρκεια έντονων καταιγίδων.

Το AQUALERT αποτελεί πρότυπο εφαρμογής τεχνολογίας σε επίπεδο κοινότητας, αποδεικνύοντας ότι ακόμη και αναπτυσσόμενες χώρες μπορούν να υιοθετήσουν έξυπνες λύσεις έγκαιρης προειδοποίησης, προστατεύοντας ανθρώπινες ζωές και ενισχύοντας την τοπική ανθεκτικότητα απέναντι στην κλιματική κρίση.



Εικόνα 10 Aqualert

9.2 ERLAWS – Σύστημα Συναγερμού και Προειδοποίησης για Λάβαρας στο Όρος Ruapehu, Νέα Ζηλανδία

Το ERLAWS (Eastern Ruapehu Lahar Alarm and Warning System) (Leonard, 2008) είναι ένα πρωτοποριακό σύστημα παρακολούθησης και προειδοποίησης που αναπτύχθηκε από τη γεωλογική υπηρεσία GNS Science και την Υπηρεσία Πολιτικής Άμυνας της Νέας Ζηλανδίας, με στόχο την προστασία της περιοχής γύρω από το ενεργό ηφαίστειο Ruapehu. Το σύστημα σχεδιάστηκε μετά από τις καταστροφικές εκρήξεις του 1995-1996, οι οποίες δημιούργησαν κινδύνους από λάβαρας (lahars) —

δηλαδή χυτούς όγκους ηφαιστειακού υλικού, λάσπης και νερού, που κατεβαίνουν με ορμή τις πλαγιές του ηφαιστείου.

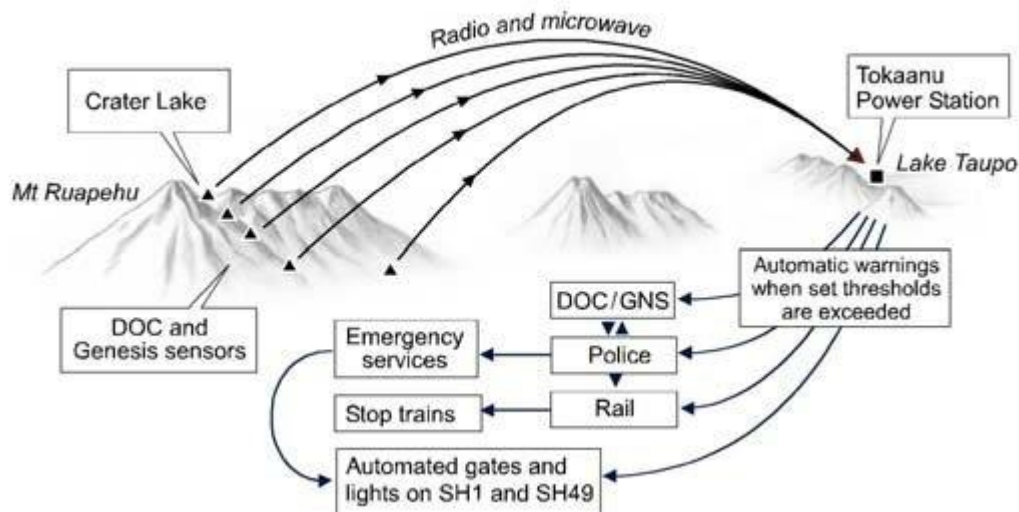
Το ERLAWS αποτελείται από ένα δίκτυο αισθητήρων, ραντάρ, συσκευών μέτρησης στάθμης νερού και επιταχυνσιόμετρων τοποθετημένων σε κρίσιμες τοποθεσίες γύρω από την λίμνη κορυφής Crater Lake και στις διαδρομές που αναμένεται να ακολουθήσουν οι λάβαρες. Τα δεδομένα μεταφέρονται σε πραγματικό χρόνο σε σταθμούς ελέγχου και όταν εντοπιστεί κίνηση ή απότομη μεταβολή στάθμης, ενεργοποιείται αυτόματα το σύστημα προειδοποίησης.

Το 2007, το ERLAWS ανίχνευσε με επιτυχία μια επερχόμενη λάβαρη από υπερχείλιση της λίμνης Crater Lake, προκαλώντας άμεσο συναγερμό και ειδοποιήσεις μέσω σειρήνων, ασύρματης επικοινωνίας και αποκλεισμού σιδηροδρομικών και οδικών δικτύων. Χάρη στο σύστημα, οι αρχές πρόλαβαν να διακόψουν την κυκλοφορία και να απομακρύνουν έγκαιρα ανθρώπους από επικίνδυνες περιοχές, αποτρέποντας πλήρως τυχόν απώλειες σε ζωές ή σοβαρές ζημιές.

Το ERLAWS θεωρείται σήμερα ένα παγκόσμιο πρότυπο συστήματος προειδοποίησης για ηφαιστειακά φαινόμενα, καθώς:

- Συνδυάζει τεχνολογία αισθητήρων, γεωλογική παρατήρηση και αυτοματοποιημένη απόκριση
- Ενσωματώνεται πλήρως στο εθνικό σύστημα πολιτικής προστασίας
- Ενημερώνει το κοινό και τις υπηρεσίες μέσω ειδοποιήσεων σε εθνικά μέσα, εφαρμογές και δίκτυα επικοινωνίας

Η επιτυχία του ERLAWS ενίσχυσε τη στρατηγική της Νέας Ζηλανδίας στην προληπτική διαχείριση φυσικών καταστροφών, αποδεικνύοντας ότι ακόμη και εξαιρετικά απρόβλεπτα φαινόμενα, όπως οι λάβαρες, μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά με τεχνολογία, συνεργασία και σχεδιασμό.



Εικόνα 11 ERLAWS

9.3 Κοινοτικό Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης Πλημμυρών – Νεπάλ

Στο Νεπάλ, μια χώρα με υψηλή τρωτότητα σε πλημμύρες λόγω της ορεινής γεωμορφολογίας και των μουσώνων, αναπτύχθηκε ένα πρωτοποριακό κοινοτικό σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης για πλημμύρες, ως αποτέλεσμα της συνεργασίας της ΜΚΟ Practical Action με το Τμήμα Υδρολογίας και Μετεωρολογίας της κυβέρνησης.

Το σύστημα αποτελεί ένα από τα πρώτα παραδείγματα ενσωμάτωσης τεχνολογίας και συμμετοχής της τοπικής κοινωνίας στην πρόληψη φυσικών καταστροφών.

Αποτελείται από:

- Σταθμούς παρακολούθησης ποταμών που μετρούν σε πραγματικό χρόνο τη στάθμη του νερού
- Αισθητήρες και συστήματα ασύρματης επικοινωνίας που εκπέμπουν σήματα συναγερμού
- Εκπαιδευμένα μέλη της κοινότητας, τα οποία ενεργοποιούν ειδοποιήσεις, ενημερώνουν τους κατοίκους και βοηθούν στον συντονισμό εκκενώσεων

Το σύστημα έχει αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματικό στην κοιλάδα του ποταμού Karnali, όπου οι συχνές πλημμύρες προκαλούσαν καταστροφές. Με την υιοθέτηση του συστήματος, οι κοινότητες απέκτησαν τη δυνατότητα να λάβουν ειδοποιήσεις έως και 3 ώρες πριν από πλημμυρικά φαινόμενα, εξασφαλίζοντας πολύτιμο χρόνο για εκκένωση ή προστασία περιουσιών.

Καθοριστικοί παράγοντες επιτυχίας του συστήματος:

- Συμμετοχικός σχεδιασμός με την τοπική κοινωνία
- Προσβασιμότητα της πληροφορίας μέσω SMS, ραδιοφώνου και μεγαφώνων
- Ενδυνάμωση γυναικών και νέων, που παίζουν ηγετικό ρόλο στην τοπική οργάνωση

Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο μείωσε τον αριθμό θυμάτων και τις υλικές ζημιές, αλλά και καλλιέργησε κουλτούρα πρόληψης και ανθεκτικότητας στις κοινότητες του Νεπάλ. Το μοντέλο έχει γίνει πρότυπο για άλλες περιοχές της Νότιας Ασίας, επιδεικνύοντας πώς η τεχνολογία, σε συνδυασμό με την τοπική γνώση, μπορεί να μεταμορφώσει την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών.

INDEX-BASED FLOOD INSURANCE

What is Index-Based Flood Insurance?

Index-Based Flood Insurance (IBFI) covers possible damage caused by flood based on an objectively measured parameter. If a certain rainfall amount or water level at a defined weather or gauging station is exceeded, the insurance pays out. The critical threshold or the index level is determined using historical data and agreed with insurance company, cooperatives and farmers. Unlike traditional insurance products, no time-consuming and costly inspections are required to determine an insurance event. Therefore, IBFI is more trustworthy, efficient and accessible.

What are we aiming for?

The overall objective of the project is to develop index-based flood insurance product as a risk transfer mechanism targeting to climate-vulnerable smallholder farmers and marginalised people in Western Nepal.

The specific objective of the project is to increase resilience of climate-vulnerable smallholder farmers and marginalised people by enabling access to index-based insurance product and services to the farmers exposed to flood risk in selected 5 local governments of Sudurpashchim and Karnali Provinces.

The outcomes of the project are:

1. Enabling environment and knowledge is created for piloting and scaling up of an index-based flood insurance product that caters to the needs of climate-vulnerable farmers.
2. Vulnerable households have access to index-based flood insurance as an innovative risk transfer mechanism to secure their assets and build resilience to climate shocks and stresses to which they are exposed.

Where do we work?

We work with communities in flood-prone areas of Tilaipuri, Rajupuri and Malluhani Municipalities and Janaki and Gerocha Rural Municipalities in Sudurpashchim and Lumbini Provinces. The IBFI project aims to reach 5,350 households in the first year and a total of 12,872 households by the end of the project i.e., March 2023.

Who we are?

The Index-Based Flood Insurance (IBFI) project is co-funded by InsuResilience Solutions Fund (ISF) and Zurich Flood Resilience Alliance (ZFRRA) through Z Zurich Foundation. Implementation of the IBFI project is led by Practical Action together with its partner Global Parametrics, Shikhar Insurance and Stonestep.

On the ground, our local partner Ujjwala Multipurpose cooperatives work as a lead partner cooperative and work with 10 other cooperatives which are: Rij Biddhi Farmers' Cooperative, Dhausaingpur Khatra Samaj Savings and Credit Cooperative, Mufeldap Savings and Credit Cooperative, Pathraha Women Smallholder Farmers' Cooperative, Daki Bahari Smallholder Farmers Cooperative, Sarad Smallholder Farmers Cooperative, Sewa Madhyawati Savings and Credit Cooperative, Soire Smallholder Farmers Cooperative, Shiva Multipurpose Cooperative and Sorengar Smallholder Farmers Cooperative. These cooperatives will be the group policy holders and responsible to flood resilience to smallholder farmers. Similarly, Centre for Social Development and Research (CSDR) Banka is another implementing partner of Zurich Flood Resilience Project (ZFRP), which is providing co-funding support to the IBFI project.











For more details:
 Mr. Suman Rana
 Project Manager - Introducing Index-Based Flood Insurance (IBFI) in Nepal and Zurich Flood Resilience Project (ZFRP)
Suman.Rana@practicalaction.org.np

Supported by:




Εικόνα 12 Practical - Action

9.4 FloodHub – Παγκόσμιο Σύστημα Πρόγνωσης και Προειδοποίησης Πλημμυρών με Τεχνητή Νοημοσύνη από την Google

Το FloodHub (<http://beyond-eocenter.eu/index.php/web-services/floodhub>, n.d.) είναι ένα παγκόσμιο σύστημα πρόγνωσης πλημμυρών, που αναπτύχθηκε από την Google, σε συνεργασία με εθνικές μετεωρολογικές υπηρεσίες, επιστημονικά ινστιτούτα και κυβερνήσεις. Πρόκειται για μία από τις πιο προηγμένες εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης (AI) στον τομέα της πρόληψης φυσικών καταστροφών, σχεδιασμένο να προβλέπει πλημμυρικά φαινόμενα έως και 7 ημέρες νωρίτερα.

Το FloodHub χρησιμοποιεί ένα συνδυαστικό μοντέλο που βασίζεται σε:

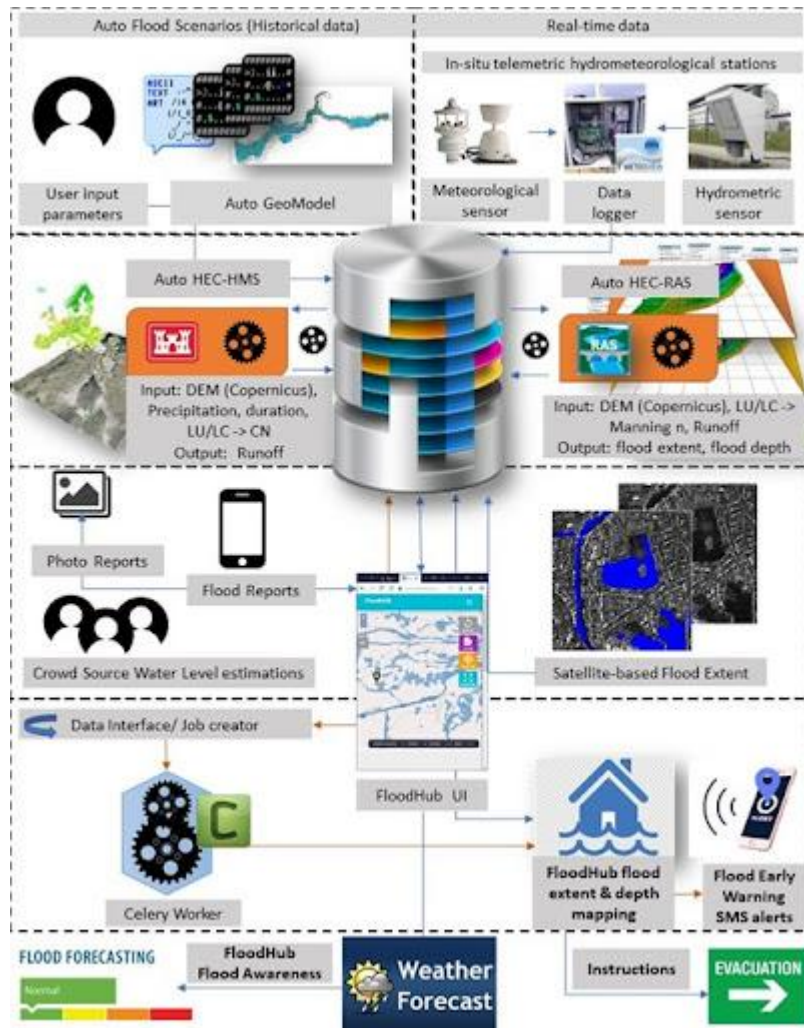
- Δορυφορικά δεδομένα υετού και τοπογραφίας
- Υδρολογικά και υψομετρικά μοντέλα
- Ιστορικά δεδομένα πλημμυρών
- Μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης που εκπαιδεύονται με βάση τις τοπικές συνθήκες

Το σύστημα αξιολογεί σε πραγματικό χρόνο τη δυναμική της βροχόπτωσης και την αλληλεπίδρασή της με τη γεωμορφολογία και τη ροή ποταμών, ώστε να υπολογίσει την πιθανότητα υπερχείλισης και την πιθανή έκταση πλημμύρας. Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται σε διαδραστικούς χάρτες και συνοδεύονται από ειδοποιήσεις προς τις τοπικές αρχές και τους κατοίκους μέσω κινητών συσκευών και συνεργαζόμενων πλατφορμών.

Το 2023, το FloodHub επεκτάθηκε ραγδαία, καλύπτοντας πάνω από 80 χώρες, ανάμεσα στις οποίες βρίσκονται και ιδιαίτερα ευάλωτες περιοχές της Ασίας, της Αφρικής, της Λατινικής Αμερικής και της Κεντρικής Ευρώπης. Η Google παρέχει την τεχνολογία δωρεάν, προσφέροντας ένα πολύτιμο εργαλείο πρόβλεψης σε χώρες με περιορισμένες υποδομές, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα των τοπικών κοινωνιών.

Στις χώρες όπου εφαρμόστηκε πρώιμα, όπως η Ινδία και το Μπαγκλαντές, οι ειδοποιήσεις του FloodHub αποδείχθηκαν σωτήριες. Εκατοντάδες κοινότητες έλαβαν έγκαιρες και στοχευμένες προειδοποιήσεις, που οδήγησαν σε εκκενώσεις, προστασία περιουσιών και μείωση των ανθρωπίνων απωλειών. Η επιτυχία του συστήματος βασίζεται στην απλότητα της πρόσβασης και στην ενσωμάτωσή του σε υπάρχοντα δίκτυα ειδοποιήσεων, όπως SMS, εφαρμογές χαρτογράφησης και ραδιοφωνικές ανακοινώσεις.

Το FloodHub είναι ένα παράδειγμα της δυναμικής της τεχνολογίας όταν συνδυάζεται με κοινωνική αποστολή, προσφέροντας παγκόσμια υποστήριξη σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Με την αξιοποίηση τεχνητής νοημοσύνης και μεγάλων δεδομένων, αποτελεί ορόσημο για την επόμενη γενιά Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης – με προοπτικές εφαρμογής και σε χώρες όπως η Ελλάδα, ιδιαίτερα για πλημμυρικά φαινόμενα που εντείνονται λόγω της κλιματικής κρίσης.



Εικόνα 13 FloodHub

9.5 Copernicus – Δορυφορικό Σύστημα Παρακολούθησης και Πρόγνωσης Καταστροφών της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Το Copernicus (Thaler, 2018) είναι το κορυφαίο πρόγραμμα παρατήρησης της Γης της Ευρωπαϊκής Ένωσης, το οποίο παρέχει δωρεάν και ανοιχτά δεδομένα από ένα δίκτυο δορυφόρων (Sentinels) και επίγειων σταθμών. Στόχος του είναι η παρακολούθηση περιβαλλοντικών και ανθρωπογενών καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, συμπεριλαμβανομένων πλημμυρών, πυρκαγιών, σεισμών και ακραίων καιρικών φαινομένων.

Ένα από τα βασικά εργαλεία του προγράμματος είναι η υπηρεσία Copernicus Emergency Management Service (EMS), η οποία ενεργοποιείται κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών για την παροχή:

- Δορυφορικών χαρτών υψηλής ανάλυσης
- Αξιολογήσεων επικινδυνότητας
- Προγνωστικών μοντέλων εξάπλωσης καταστροφών
- Υποστήριξης αποφάσεων για τις αρχές πολιτικής προστασίας

Το 2021, η υπηρεσία Copernicus EMS αξιοποιήθηκε εκτενώς κατά τις καταστροφικές πλημμύρες στη Γερμανία και το Βέλγιο, οι οποίες προκάλεσαν δεκάδες θύματα και σοβαρές ζημιές σε υποδομές. Οι χάρτες που παρήγαγε το σύστημα, με πληροφορίες για την έκταση των πλημμυρισμένων περιοχών σε σχεδόν πραγματικό χρόνο, βοήθησαν τις αρχές να οργανώσουν εκκενώσεις, να κατευθύνουν τις δυνάμεις διάσωσης και να σχεδιάσουν την αποκατάσταση των πληγέντων περιοχών.

Το Copernicus παρέχει δεδομένα και στην Ελλάδα, ενισχύοντας τις δυνατότητες πρόληψης και απόκρισης σε πλημμυρικές καταστροφές. Έχει χρησιμοποιηθεί για την:

- Εκτίμηση κινδύνου πλημμύρας σε πεδιάδες και ποτάμια (π.χ. Θεσσαλία, Έβρος)
- Καταγραφή των επιπτώσεων ακραίων καιρικών φαινομένων όπως ο «Ιανός» και η «Daniel»
- Υποστήριξη της πολιτικής προστασίας σε επίπεδο πρόβλεψης και χάραξης πολιτικής

Επιπλέον, η συνεργασία του Copernicus με συστήματα όπως το EFAS (European Flood Awareness System) προσφέρει συνδυασμένες προβλέψεις, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητα των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο.

Το Copernicus αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα συνδυασμού τεχνολογίας αιχμής, διακρατικής συνεργασίας και ανοικτής πρόσβασης σε δεδομένα, υποστηρίζοντας την ευρωπαϊκή και παγκόσμια ετοιμότητα απέναντι στην κλιματική κρίση και τις φυσικές καταστροφές.



Εικόνα 14 Copernicus

9.6 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

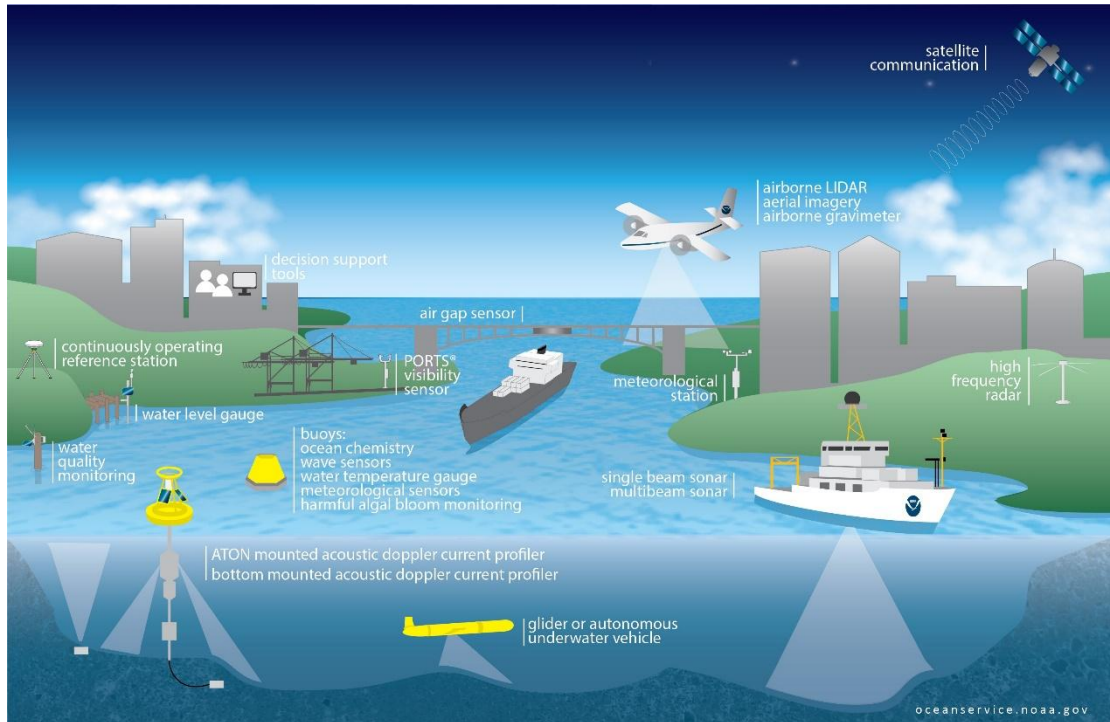
Η NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration – Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των Ηνωμένων Πολιτειών) (Davis, History of the NOAA satellite program, 2007) είναι ένας ομοσπονδιακός οργανισμός που υπάγεται στο Υπουργείο Εμπορίου των ΗΠΑ και έχει ως αποστολή την κατανόηση και την προστασία του περιβάλλοντος της Γης, με έμφαση στην ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς και την κλιματική αλλαγή. Η NOAA ιδρύθηκε το 1970 και έκτοτε αποτελεί βασικό πυλώνα στην επιστημονική έρευνα και στη διαχείριση φυσικών κινδύνων.

Η NOAA επιβλέπει μια σειρά από εξειδικευμένες υπηρεσίες και ερευνητικά κέντρα, όπως το National Weather Service (NWS) για τη μετεωρολογική πρόγνωση και ειδοποίηση, το National Hurricane Center (NHC) που ειδικεύεται στους τροπικούς κυκλώνες και την παρακολούθηση τυφώνων, το National Ocean Service (NOS) για τη διαχείριση των παράκτιων περιοχών και των θαλάσσιων οικοσυστημάτων, καθώς και το National Environmental Satellite, Data, and Information Service (NESDIS) που διαχειρίζεται δορυφορικά δεδομένα. Παράλληλα, το NOAA Fisheries είναι υπεύθυνο για τη βιώσιμη διαχείριση των θαλάσσιων πόρων και την προστασία της θαλάσσιας βιοποικιλότητας.

Ένα από τα πιο γνωστά και καινοτόμα εργαλεία της NOAA είναι το NOAA Weather Radio All Hazards (NWR), ένα συνεχές σύστημα ραδιοφωνικών ειδοποιήσεων που καλύπτει το σύνολο των Ηνωμένων Πολιτειών, παρέχοντας πληροφορίες για επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα, σεισμούς, εκρήξεις ηφαιστείων, χημικά ατυχήματα και άλλες καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Το NWR συνδέεται απευθείας με τις πολιτικές αρχές και αποτελεί μέρος του Εθνικού Συστήματος Ειδοποίησης Έκτακτης Ανάγκης (EAS), επιτρέποντας την άμεση μετάδοση προειδοποιήσεων σε μέσα ενημέρωσης και συσκευές επικοινωνίας.

Η NOAA διαδραματίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στη μελέτη της κλιματικής αλλαγής και των μακροπρόθεσμων περιβαλλοντικών τάσεων, παρέχοντας ετήσιες αναφορές για τη θερμοκρασία των ωκεανών, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και την τήξη των πάγων. Τα δεδομένα της NOAA χρησιμοποιούνται από κυβερνήσεις, επιστήμονες και διεθνείς οργανισμούς για τη χάραξη περιβαλλοντικής πολιτικής και την προετοιμασία απέναντι σε φαινόμενα όπως η ξηρασία, οι πλημμύρες, τα φαινόμενα El Niño και La Niña και οι πυρκαγιές μεγάλης κλίμακας.

Σε διεθνές επίπεδο, η NOAA συνεργάζεται με άλλους οργανισμούς όπως ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO), η ESA (Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία) και η JMA (Ιαπωνική Μετεωρολογική Υπηρεσία), συμμετέχοντας σε κοινά έργα για την ανταλλαγή δεδομένων, την ανάπτυξη δορυφορικών προγραμμάτων και την ενίσχυση των EWS παγκοσμίως. Μέσω των δραστηριοτήτων της, η NOAA προωθεί τη δημιουργία μιας ανθεκτικής κοινωνίας με επίγνωση των περιβαλλοντικών προκλήσεων και ετοιμότητα απέναντι στους φυσικούς κινδύνους.



Εικόνα 15 NOAA

9.7 Ολοκληρωμένο Σύστημα Προειδοποίησης Πλημμυρών της Κίνας

Η Κίνα έχει αναπτύξει ένα από τα πιο προηγμένα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης Πλημμυρών, το οποίο συνδυάζει δεδομένα από δορυφόρους, αισθητήρες στάθμης νερού και μετεωρολογικές προβλέψεις.

Το σύστημα έχει εφαρμοστεί σε ποταμούς όπως ο Γιανγκτσέ, προειδοποιώντας έγκαιρα εκατομμύρια κατοίκους για πλημμύρες.

Κατά τη διάρκεια των πλημμυρών του 2020, το σύστημα μείωσε δραστικά τις απώλειες, δίνοντας έγκαιρα ειδοποιήσεις εκκένωσης.

Τα παραπάνω επιτυχημένα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης δείχνουν πως η συνδυασμένη χρήση τεχνητής νοημοσύνης, δορυφορικών δεδομένων και κοινοτικών δράσεων μπορεί να σώσει ζωές και να μειώσει τις καταστροφές από φυσικά φαινόμενα. Παρόλο που οι προκλήσεις παραμένουν, η εξέλιξη αυτών των συστημάτων συνεχίζεται με στόχο τη βελτίωση της πρόγνωσης και της ανταπόκρισης σε ακραία καιρικά φαινόμενα.

10. Συγκριτική Ανάλυση Διαφόρων Προσεγγίσεων στα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Φωτιές και Πλημμύρες

Τα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης (ΣΕΠ) για φυσικές καταστροφές, όπως οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες, αναπτύσσονται με διάφορες προσεγγίσεις που περιλαμβάνουν τεχνολογικές λύσεις, μαθηματικά μοντέλα και μεθόδους κοινοτικής διαχείρισης. Η σύγκριση αυτών των προσεγγίσεων είναι απαραίτητη για την κατανόηση των δυνατοτήτων, των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών τους.

10.1. Σύγκριση Βασικών Τύπων Προσεγγίσεων

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση και την πρόβλεψη φυσικών καταστροφών, όπως πυρκαγιές και πλημμύρες. Μία από αυτές είναι η προσέγγιση που βασίζεται σε δεδομένα αισθητήρων. Σε αυτήν την περίπτωση, αξιοποιούνται φυσικοί αισθητήρες όπως αυτοί που μετρούν τη θερμοκρασία, την υγρασία, τη στάθμη του νερού και τα ραδιοκύματα. Αυτοί οι αισθητήρες προσφέρουν άμεσες μετρήσεις και μπορούν να εγκατασταθούν σε κρίσιμες περιοχές, όμως έχουν περιορισμένη εμβέλεια και το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης μπορεί να είναι υψηλό.

Μια άλλη προσέγγιση είναι η χρήση δορυφορικών τεχνολογιών και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS). Μέσω δορυφορικών εικόνων και της χωρικής ανάλυσης που προσφέρει το GIS, είναι δυνατή η παρακολούθηση μεγάλων περιοχών και η ανάλυση ιστορικών δεδομένων για την πρόβλεψη καταστροφών. Αυτή η προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα της ευρείας κάλυψης, αλλά παρουσιάζει καθυστερήσεις στη λήψη των δεδομένων και απαιτεί εξειδικευμένη ανάλυση για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση συνιστούν μια πιο σύγχρονη και ακριβή προσέγγιση, η οποία βασίζεται στην ανάλυση μεγάλων όγκων δεδομένων (Big Data). Μέσω αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, το σύστημα μπορεί να προβλέπει με ακρίβεια φυσικές καταστροφές και να βελτιώνεται συνεχώς όσο αυξάνονται τα διαθέσιμα δεδομένα. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή απαιτεί τεράστιο όγκο δεδομένων για την εκπαίδευση των μοντέλων και μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά από λανθασμένα ή μη αντιπροσωπευτικά δεδομένα.

Τέλος, τα κοινοτικά συστήματα προειδοποίησης αποτελούν μια προσέγγιση βασισμένη στη συμμετοχή των τοπικών κοινοτήτων. Οι πολίτες, μέσω εφαρμογών και δικτύων επικοινωνίας, συμβάλλουν στην αναφορά και ανίχνευση κινδύνων. Το μοντέλο αυτό έχει χαμηλό κόστος και αξιοποιεί τη γνώση και την ανταπόκριση της τοπικής κοινωνίας, όμως εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ευαισθητοποίηση των πολιτών και εμπεριέχει τον κίνδυνο της υποκειμενικότητας στις αναφορές.

10.2. Σύγκριση των Προσεγγίσεων σε Συγκεκριμένα Συστήματα

Όσον αφορά τα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης (ΣΕΠ) για πυρκαγιές, υπάρχουν σημαντικά παραδείγματα σε διαφορετικά γεωγραφικά πλαίσια. Το σύστημα EFFIS στην Ευρώπη βασίζεται κυρίως σε δορυφορικές τεχνολογίες και GIS. Παρέχει αναλυτικά δεδομένα σε πανευρωπαϊκό επίπεδο και αξιοποιεί ιστορικά στοιχεία για τη μοντελοποίηση κινδύνου. Παρ' όλα αυτά, αντιμετωπίζει δυσκολίες στον εντοπισμό μικρής κλίμακας πυρκαγιών και χρήζει βελτίωσης στην τοπική ακρίβεια.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, το σύστημα ALERTCalifornia χρησιμοποιεί ένα δίκτυο αισθητήρων και καμερών που ενισχύονται με τεχνητή νοημοσύνη. Η χρήση οπτικών δεδομένων επιτρέπει την άμεση ανίχνευση και συμβάλλει στη μείωση του χρόνου απόκρισης. Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα του συστήματος εξαρτάται από τη σωστή λειτουργία των καμερών.

Στη Νότια Αφρική, το σύστημα AFIS χρησιμοποιεί δορυφορική ανίχνευση σε συνδυασμό με ανάλυση δεδομένων μέσω τεχνητής νοημοσύνης. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την κάλυψη δυσπρόσιτων περιοχών και προσφέρει ευρεία γεωγραφική παρακολούθηση, αν και είναι υπολογιστικά απαιτητική.

Όσον αφορά τα ΣΕΠ για πλημμύρες, το FloodHub της Google αποτελεί ένα παράδειγμα που συνδυάζει μηχανική μάθηση με δορυφορικά δεδομένα. Προσφέρει τη δυνατότητα πρόβλεψης έως και επτά ημέρες πριν από την εκδήλωση πλημμύρας και εφαρμόζεται σε πολλές χώρες. Παρ' όλα αυτά, προϋποθέτει την ύπαρξη ακριβών δεδομένων για την επίτευξη αξιόπιστων προβλέψεων.

Το σύστημα Copernicus EMS της Ευρωπαϊκής Ένωσης χρησιμοποιεί δορυφορικές εικόνες και GIS για την ανάλυση πλημμυρικών φαινομένων σε μεγάλη κλίμακα. Χρησιμοποιείται ευρέως για τη χάραξη περιβαλλοντικής στρατηγικής, αν και παρουσιάζει περιορισμούς στην ακρίβεια προβλέψεων μικρότερης κλίμακας.

Τέλος, τα κοινοτικά συστήματα προειδοποίησης στο Νεπάλ βασίζονται στη συμμετοχή των τοπικών κοινοτήτων. Αυτά τα συστήματα κινητοποιούν τους πολίτες και χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος εφαρμογής. Παρόλα αυτά, απαιτούν υψηλό βαθμό κοινωνικής συνοχής και συνεργασίας για να είναι αποτελεσματικά.

10.3. Ανάλυση Κύριων Τάσεων και Μελλοντικών Προοπτικών

Οι πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της έγκαιρης προειδοποίησης για φυσικές καταστροφές καταδεικνύουν ορισμένες σημαντικές τάσεις που διαμορφώνουν τη σύγχρονη προσέγγιση στην πρόληψη και διαχείριση κινδύνων. Μία από τις βασικές τάσεις είναι η αυξανόμενη χρήση δορυφορικών δεδομένων. Οι νέες αποστολές δορυφόρων, όπως ο Sentinel-6, παρέχουν πολύ πιο λεπτομερείς εικόνες της επιφάνειας της Γης, γεγονός που ενισχύει την ακρίβεια των αναλύσεων και προβλέψεων.

Παράλληλα, παρατηρείται η ενσωμάτωση τεχνητής νοημοσύνης σε ολοένα και περισσότερα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης. Τα μοντέλα TN γίνονται πιο αποτελεσματικά, αυτοματοποιούνται και αξιοποιούν μεγάλα σύνολα δεδομένων ώστε να βελτιώνουν συνεχώς τις δυνατότητες πρόβλεψης. Επιπλέον, μια ακόμη αξιοσημείωτη τάση είναι η εμφάνιση προσωποποιημένων ειδοποιήσεων μέσω έξυπνων εφαρμογών. Πλατφόρμες όπως το FloodHub και το Watch Duty προσφέρουν στους χρήστες τη δυνατότητα να λαμβάνουν άμεσες, εξατομικευμένες ειδοποιήσεις στις κινητές τους συσκευές, ενισχύοντας την προληπτική τους ετοιμότητα.

Σε επίπεδο μελλοντικών προοπτικών, αναμένεται να επικρατήσει ο συνδυασμός διαφόρων προσεγγίσεων για την ανάπτυξη πιο ολοκληρωμένων και αποτελεσματικών ΣΕΠ. Τα προηγμένα συστήματα θα αξιοποιούν ταυτόχρονα αισθητήρες επίγειας παρακολούθησης, δορυφορικά δεδομένα και συμμετοχικές κοινοτικές αναφορές. Επίσης, η χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) προβλέπεται να παίζει καθοριστικό ρόλο, καθώς αισθητήρες IoT θα μπορούν να μεταδίδουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας την ακρίβεια και ταχύτητα των προβλέψεων.

Τέλος, ιδιαίτερη έμφαση αναμένεται να δοθεί στην ενίσχυση της συμμετοχής των τοπικών κοινοτήτων. Η εκπαίδευση των πολιτών και η αξιοποίηση των κοινωνικών δικτύων θα αποτελέσουν κρίσιμους παράγοντες για την ευαισθητοποίηση και την ενεργή εμπλοκή τους στην ανίχνευση κινδύνων και τη διάδοση πληροφοριών.

10.4. Συμπεράσματα

Η συνολική συγκριτική ανάλυση των προσεγγίσεων και συστημάτων ΣΕΠ αναδεικνύει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς κάθε μεθόδου. Τα συστήματα που βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά σε μεγάλης κλίμακας αναλύσεις, ωστόσο παρουσιάζουν καθυστερήσεις στη λήψη και επεξεργασία των δεδομένων. Από την άλλη πλευρά, τα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης και ανάλυσης μεγάλων δεδομένων προσφέρουν πολύ υψηλή ακρίβεια προβλέψεων, αλλά προϋποθέτουν τη διαθεσιμότητα τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων για την εκπαίδευσή τους.

Τα κοινοτικά συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης αποτελούν μια ελκυστική λύση λόγω του χαμηλού κόστους και της άμεσης τοπικής εμπλοκής, ωστόσο η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κοινωνική συνοχή και την ενεργό συμμετοχή των πολιτών. Συνεπώς, η πλέον ενδεδειγμένη προσέγγιση φαίνεται να είναι ο συνδυασμός όλων των παραπάνω τεχνολογιών και μεθόδων. Ένα αποτελεσματικό, αξιόπιστο και συμμετοχικό σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης θα πρέπει να αξιοποιεί τη συνεργασία ανάμεσα στην τεχνολογία αιχμής και την ανθρώπινη παρουσία, εξασφαλίζοντας έτσι τη βέλτιστη πρόληψη και απόκριση απέναντι σε φυσικούς κινδύνους.

11. Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προτάσεις

Ανακεφαλαίωση Βασικών Ευρημάτων

Η ανάλυση των Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης (ΣΕΠ) για φυσικές καταστροφές, όπως οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες, ανέδειξε σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις και διαφοροποιήσεις στις προσεγγίσεις πρόληψης και αντιμετώπισης.

11.1. Τεχνολογικές Προσεγγίσεις στα ΣΕΠ

Η ανάλυση των Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης (ΣΕΠ) για φυσικές καταστροφές, όπως οι πυρκαγιές και οι πλημμύρες, ανέδειξε σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις, καθώς και διαφοροποιήσεις στις προσεγγίσεις πρόληψης και αντιμετώπισης. Οι τεχνολογικές προσεγγίσεις που εφαρμόζονται στα σύγχρονα ΣΕΠ περιλαμβάνουν κυρίως τη χρήση δορυφορικών τεχνολογιών, αισθητήρων του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και προηγμένων μοντέλων τεχνητής νοημοσύνης. Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) διαδραματίζουν επίσης καθοριστικό ρόλο, επιτρέποντας την ακριβή χαρτογράφηση περιοχών υψηλού κινδύνου και την υποστήριξη στρατηγικών αποφάσεων. Παράλληλα, τα κοινοτικά συστήματα βασίζονται στην άμεση εμπλοκή των πολιτών και των τοπικών αρχών, προσφέροντας γρήγορη και συχνά καθοριστική ανταπόκριση σε περιπτώσεις τοπικών απειλών.

11.2. Αποτελεσματικότητα Διαφορετικών Προσεγγίσεων

Αξιολογώντας την αποτελεσματικότητα των διαφόρων προσεγγίσεων, προκύπτει ότι οι λύσεις που βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα και GIS διακρίνονται για την υψηλή ακρίβειά τους, ωστόσο παρουσιάζουν καθυστερήσεις λόγω του απαιτούμενου χρόνου επεξεργασίας των δεδομένων. Οι αισθητήρες IoT και τα δίκτυα καμερών προσφέρουν πιο άμεση και σε πραγματικό χρόνο παρακολούθηση, αλλά για την υλοποίησή τους απαιτούνται εκτεταμένες και δαπανηρές υποδομές. Επιπλέον, η χρήση μηχανικής μάθησης ενισχύει σημαντικά τη δυνατότητα πρόβλεψης φυσικών κινδύνων, αλλά η αξιοπιστία των μοντέλων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα των εισερχόμενων δεδομένων. Όσον αφορά τα κοινοτικά συστήματα, παρότι είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την άμεση διαχείριση κρίσεων, η αποτελεσματικότητά τους σχετίζεται άμεσα με την επάρκεια εκπαίδευσης και την ετοιμότητα του πληθυσμού να ανταποκριθεί σε έκτακτες καταστάσεις.

11.3. Παραδείγματα Επιτυχημένων ΣΕΠ

Η μελέτη υπαρχόντων Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης, όπως το EFFIS στην Ευρώπη, το FloodHub της Google, το Copernicus Emergency Management Service (EMS) της Ευρωπαϊκής Ένωσης και το AFIS στη Νότια Αφρική, ανέδειξε βασικά χαρακτηριστικά που καθιστούν τα εν λόγω συστήματα επιτυχημένα. Τα πιο αποτελεσματικά ΣΕΠ είναι εκείνα που συνδυάζουν διαφορετικές τεχνολογίες, όπως δορυφορικά δεδομένα, αισθητήρες πεδίου και κοινοτικά δίκτυα παρακολούθησης και αναφοράς. Ο πολυεπίπεδος αυτός σχεδιασμός επιτρέπει την ακριβέστερη ανίχνευση κινδύνων, την ταχύτερη απόκριση και την πιο ολοκληρωμένη αξιολόγηση της κατάστασης. Χώρες που υιοθετούν τέτοιες πολύπλευρες προσεγγίσεις επιτυγχάνουν

σαφώς καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την πρόληψη και τη διαχείριση φυσικών καταστροφών.

Επιπλέον, τα παγκόσμια μοντέλα πρόβλεψης εξελίσσονται συνεχώς, αξιοποιώντας τη δυναμική της τεχνητής νοημοσύνης και των big data. Η πρόοδος αυτή οδηγεί σε ολοένα και πιο ακριβείς και έγκαιρες ειδοποιήσεις, δίνοντας στις αρχές και στους πολίτες τον πολύτιμο χρόνο που απαιτείται για την προετοιμασία και την ανταπόκριση. Η επιτυχία αυτών των συστημάτων οφείλεται τόσο στην τεχνολογική τους υποδομή όσο και στην ικανότητα ενσωμάτωσης διαφορετικών πηγών πληροφορίας και επιπέδων ανάλυσης.

11.4. Κύριες Προκλήσεις

Παρά τις σημαντικές προόδους στον τομέα της τεχνολογίας και της πρόβλεψης, τα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν ορισμένες κρίσιμες προκλήσεις. Μία από τις βασικότερες είναι η πρόσβαση και διαχείριση δεδομένων. Η αποτελεσματική πρόβλεψη απαιτεί μεγάλους όγκους δεδομένων, τα οποία συχνά προέρχονται από διαφορετικές πηγές και υπόκεινται σε προβλήματα διαλειτουργικότητας. Η έλλειψη ενιαίων προτύπων και η περιορισμένη συνεργασία μεταξύ φορέων δυσχεραίνουν τη συνδυαστική ανάλυση των πληροφοριών και την ενσωμάτωσή τους σε ολοκληρωμένα μοντέλα.

Επιπρόσθετα, σημαντική πρόκληση αποτελεί το υψηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης των απαραίτητων υποδομών. Τα τεχνολογικά προηγμένα συστήματα απαιτούν διαρκή επενδύσεις, κάτι που μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα δύσκολο για περιοχές με περιορισμένους οικονομικούς πόρους. Τέλος, η κοινωνική αποδοχή και η ενεργή συμμετοχή των πολιτών είναι αναγκαία προϋπόθεση για την επιτυχία οποιουδήποτε ΣΕΠ. Η εκπαίδευση του πληθυσμού, η ενημέρωση και η καλλιέργεια κουλτούρας πρόληψης είναι κρίσιμα ζητήματα που δεν πρέπει να παραβλέπονται, καθώς επηρεάζουν άμεσα τη λειτουργικότητα και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων.

11.5 Συμπέρασμα

Η σύγκριση διαφορετικών ΣΕΠ κατέδειξε ότι τα πιο αποτελεσματικά είναι εκείνα που αξιοποιούν πολλαπλές τεχνολογίες, συνδυάζουν επιστημονική και κοινοτική συμμετοχή, και βασίζονται σε προηγμένα μοντέλα πρόβλεψης. Παρά τις προκλήσεις, οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις δείχνουν ότι τα ΣΕΠ θα συνεχίσουν να βελτιώνονται, συμβάλλοντας σημαντικά στη μείωση των επιπτώσεων από φυσικές καταστροφές.

12. Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα στα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για Πυρκαγιές και Πλημμύρες

Η ανάπτυξη και βελτίωση των Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης (ΣΕΠ) αποτελεί μια διαρκή επιστημονική και τεχνολογική πρόκληση. Παρά τη σημαντική πρόοδο, εξακολουθούν να υπάρχουν τομείς που απαιτούν περαιτέρω έρευνα, τόσο σε επίπεδο τεχνολογικών καινοτομιών όσο και στη βελτίωση της κοινωνικής και πολιτικής ετοιμότητας απέναντι σε φυσικές καταστροφές.

Η πρώτη σημαντική κατεύθυνση αφορά τη βελτίωση των αλγορίθμων πρόβλεψης και ανάλυσης δεδομένων. Η μηχανική μάθηση και η τεχνητή νοημοσύνη έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί επιτυχώς, όμως απαιτούνται πιο προηγμένα μοντέλα που να μπορούν να αυτοβελτιώνονται και να προσαρμόζονται σε νέες περιβαλλοντικές συνθήκες. Τα υβριδικά μοντέλα, που συνδυάζουν φυσικές προσομοιώσεις με τεχνικές βαθιάς μάθησης, μπορούν να συμβάλουν σε πιο ακριβείς προβλέψεις. Ιδιαίτερη σημασία έχει και η βελτίωση των προγνωστικών μοντέλων για πλημμύρες, μέσα από την προσομοίωση υψηλής ανάλυσης και την ενσωμάτωση δεδομένων που αφορούν την εδαφική απορρόφηση του νερού. Παράλληλα, η διασύνδεση τοπικών αισθητήρων με δορυφορικά δεδομένα θα επιτρέψει την καλύτερη αξιολόγηση του κινδύνου σε πραγματικό χρόνο.

Ένας δεύτερος τομέας έρευνας είναι η ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και καινοτόμων υποδομών για την ανίχνευση και παρακολούθηση κινδύνων. Η χρήση του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και των αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο μπορεί να βελτιώσει την ανίχνευση πυρκαγιών και πλημμυρών, ειδικά αν αναπτυχθούν πιο φθηνοί και ενεργειακά αυτόνομοι αισθητήρες που να λειτουργούν σε απομακρυσμένες περιοχές. Παράλληλα, η ενσωμάτωση δικτύων επικοινωνίας 5G και δορυφορικών τεχνολογιών θα μειώσει τον χρόνο απόκρισης των ΣΕΠ. Μια άλλη καινοτόμος προσέγγιση είναι η χρήση αυτόνομων drones και ρομπότ, εξοπλισμένων με θερμικές κάμερες και αισθητήρες, για την ανίχνευση και παρακολούθηση κρίσιμων περιοχών. Ειδικά τα αυτόνομα σκάφη θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της στάθμης των υδάτων και την έγκαιρη ανίχνευση πλημμυρών.

Εκτός από την τεχνολογική έρευνα, είναι απαραίτητη η διεθνής συνεργασία και ο διαμοιρασμός δεδομένων μεταξύ διαφόρων φορέων και κρατών. Η ανάπτυξη παγκόσμιων βάσεων δεδομένων για φυσικές καταστροφές θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών που οδηγούν σε πυρκαγιές και πλημμύρες, ενώ η θέσπιση διεθνών προτύπων για την ανταλλαγή δεδομένων θα επιτρέψει στα ΣΕΠ να λειτουργούν με μεγαλύτερη ακρίβεια και συντονισμό. Συνεργασίες μεταξύ πανεπιστημίων, κυβερνητικών οργανισμών και του ιδιωτικού τομέα θα μπορούσαν να επιταχύνουν την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων, ενώ η αυξημένη χρηματοδότηση από διεθνείς οργανισμούς, όπως ο ΟΗΕ και η Ευρωπαϊκή Ένωση, θα δώσει ώθηση σε έρευνες που αφορούν την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών.

Ένας ακόμη κρίσιμος τομέας είναι η ενίσχυση της κοινωνικής ετοιμότητας μέσα από την εκπαίδευση και την ενημέρωση των πολιτών. Οι πολίτες χρειάζονται κατάλληλη εκπαίδευση ώστε να αντιδρούν γρήγορα σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, ενώ οι κρατικές αρχές πρέπει να επενδύσουν στη δημιουργία εφαρμογών για κινητά που να παρέχουν σε πραγματικό χρόνο ενημερώσεις και οδηγίες εκκένωσης. Παράλληλα, η

ανάπτυξη κοινοτικών σχεδίων δράσης μπορεί να συμβάλει στην ταχύτερη απόκριση τοπικών κοινωνιών σε καταστάσεις κρίσης. Η έρευνα σε αυτόν τον τομέα θα μπορούσε να επικεντρωθεί στην αποτελεσματικότητα των υπαρχόντων εκπαιδευτικών προγραμμάτων και στην ανάπτυξη νέων στρατηγικών για την καλύτερη συμμετοχή των πολιτών στην πρόληψη και την αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών.

Τέλος, είναι απαραίτητο να εξεταστούν οι πολιτικές και νομοθετικές ρυθμίσεις που σχετίζονται με τα ΣΕΠ. Η υποχρεωτική εγκατάσταση αισθητήρων σε περιοχές υψηλού κινδύνου, η προώθηση προγραμμάτων έξυπνων πόλεων και η δημιουργία διεθνών προτύπων για τη διαχείριση φυσικών καταστροφών είναι μερικές από τις πολιτικές που θα μπορούσαν να ενισχυθούν μέσα από στοχευμένες έρευνες. Η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο η νομοθεσία μπορεί να υποστηρίξει την υιοθέτηση καινοτόμων τεχνολογιών θα είναι κρίσιμη για το μέλλον των ΣΕΠ.

Η μελλοντική έρευνα στα ΣΕΠ θα πρέπει να επικεντρωθεί στην αύξηση της ακρίβειας των προβλέψεων, στη βελτίωση των δικτύων αισθητήρων και στην ενίσχυση της κοινωνικής και πολιτικής προετοιμασίας. Ο συνδυασμός επιστημονικής προόδου, διεθνούς συνεργασίας και κοινωνικής συμμετοχής θα οδηγήσει στη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου παγκόσμιου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης, το οποίο θα συμβάλει σημαντικά στη μείωση των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών και στην προστασία της ανθρώπινης ζωής.

12. Προοπτικές Εξέλιξης των Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης (EWS) για Πυρκαγιές και Πλημμύρες

Τα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης (Early Warning Systems - EWS) βρίσκονται σε διαρκή εξέλιξη, καθώς οι τεχνολογικές και επιστημονικές καινοτομίες επιτρέπουν τη βελτίωση της ακρίβειας, της ταχύτητας και της αποτελεσματικότητάς τους. Οι φυσικές καταστροφές, όπως πυρκαγιές και πλημμύρες, γίνονται ολοένα και πιο συχνές και καταστροφικές λόγω της κλιματικής αλλαγής, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την ανάπτυξη πιο αποδοτικών και ολοκληρωμένων EWS. Στις μελλοντικές προοπτικές εξέλιξης των συστημάτων αυτών περιλαμβάνονται οι βελτιώσεις στις τεχνολογίες παρακολούθησης, οι νέες μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων, η βελτιωμένη διεθνής συνεργασία και η ενίσχυση της κοινωνικής συμμετοχής.

12.1. Τεχνολογική Αναβάθμιση και Έξυπνα Συστήματα Παρακολούθησης

Ένα από τα σημαντικότερα πεδία εξέλιξης των EWS αφορά την τεχνολογική αναβάθμιση των υποδομών παρακολούθησης και ανίχνευσης κινδύνων. Οι αισθητήρες τελευταίας γενιάς, οι δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης και τα συστήματα τηλεπισκόπησης προσφέρουν νέες δυνατότητες για την έγκαιρη διάγνωση επικίνδυνων φαινομένων.

Τα δίκτυα αισθητήρων IoT (Internet of Things) αναμένεται να ενισχύσουν σημαντικά την ικανότητα ανίχνευσης φυσικών καταστροφών. Με τη χρήση χαμηλού κόστους, ενεργειακά αποδοτικών και αυτόνομων αισθητήρων, οι επιστήμονες θα μπορούν να

παρακολουθούν συνεχώς κρίσιμες περιβαλλοντικές παραμέτρους, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία του εδάφους και η στάθμη των υδάτων. Οι αισθητήρες αυτοί θα είναι συνδεδεμένοι μέσω ασύρματων δικτύων, επιτρέποντας την άμεση αποστολή δεδομένων σε κέντρα ανάλυσης και επιτρέποντας ταχύτερες αποφάσεις.

Παράλληλα, τα drones και τα αυτόνομα ρομποτικά συστήματα θα παίζουν καθοριστικό ρόλο στη μελλοντική εξέλιξη των EWS. Οι ιπτάμενοι αισθητήρες μπορούν να πραγματοποιούν χαρτογραφήσεις υψηλής ανάλυσης και να εντοπίζουν εστίες πυρκαγιών προτού αυτές εξαπλωθούν. Στον τομέα των πλημμυρών, αυτόνομα σκάφη θα μπορούσαν να χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της στάθμης ποταμών και τη συλλογή δεδομένων από περιοχές που είναι δύσκολο να προσεγγιστούν.

Η τεχνητή νοημοσύνη (AI) και η μηχανική μάθηση (Machine Learning) θα επιτρέψουν τη **βελτίωση της πρόγνωσης κινδύνων** μέσω της ανάλυσης μεγάλων δεδομένων (Big Data). Τα συστήματα αυτά θα μπορούν να αναλύουν τεράστιους όγκους δεδομένων από δορυφόρους, μετεωρολογικούς σταθμούς και αισθητήρες πεδίου, ώστε να εντοπίζουν μοτίβα που σχετίζονται με την εκδήλωση καταστροφών. Η αυτοβελτίωση αυτών των μοντέλων μέσω συνεχούς εκπαίδευσης θα οδηγήσει σε πιο αξιόπιστες προβλέψεις.

12.2. Εξέλιξη στη Διαχείριση και Ανάλυση Δεδομένων

Η αποτελεσματικότητα των EWS εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα και την ακρίβεια της επεξεργασίας δεδομένων. Οι σύγχρονες προσεγγίσεις ενσωματώνουν τεχνικές edge computing, όπου η επεξεργασία δεδομένων πραγματοποιείται τοπικά, κοντά στις πηγές συλλογής, αντί να μεταφέρεται σε απομακρυσμένους κεντρικούς διακομιστές. Αυτό μειώνει τον χρόνο απόκρισης και επιτρέπει την έγκαιρη λήψη αποφάσεων σε κρίσιμες καταστάσεις.

Η χρήση blockchain τεχνολογιών για την ασφαλή και αποκεντρωμένη αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων μπορεί να προσφέρει νέες λύσεις στην καταγραφή των γεγονότων και στη διασφάλιση της αξιοπιστίας των δεδομένων. Επίσης, η διασύνδεση διαφορετικών βάσεων δεδομένων μέσω cloud υποδομών θα βελτιώσει τη συνεργασία μεταξύ φορέων σε εθνικό και διεθνές επίπεδο.

12.3. Διεθνής Συνεργασία και Ολοκληρωμένα Συστήματα Προειδοποίησης

Ένα σημαντικό στοιχείο της εξέλιξης των EWS είναι η ενίσχυση της διεθνούς συνεργασίας και ο συντονισμός μεταξύ κρατών, επιστημονικών οργανισμών και διεθνών οργανισμών, όπως ο ΟΗΕ και η Παγκόσμια Τράπεζα. Η ανάπτυξη ενός παγκόσμιου δικτύου συστημάτων προειδοποίησης θα επιτρέψει τη διασύνδεση δεδομένων και την ταχύτερη ανταλλαγή κρίσιμων πληροφοριών.

Η δημιουργία ενιαίων νομοθετικών πλαισίων και πρωτοκόλλων συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών χωρών θα επιτρέψει τη διαλειτουργικότητα των συστημάτων προειδοποίησης. Επίσης, θα δώσει τη δυνατότητα ταχείας επέμβασης σε περιπτώσεις καταστροφών που επηρεάζουν περισσότερες από μία χώρες.

12.4. Συμμετοχή των Πολιτών και Ενσωμάτωση της Κοινωνικής Διάστασης

Ένας ακόμη βασικός άξονας εξέλιξης των EWS είναι η ενεργή συμμετοχή των πολιτών στη διαδικασία πρόληψης και ανταπόκρισης. Τα μελλοντικά συστήματα θα ενσωματώνουν εφαρμογές για κινητά τηλέφωνα που θα επιτρέπουν στους πολίτες να λαμβάνουν ειδοποιήσεις κινδύνου σε πραγματικό χρόνο, ενώ παράλληλα θα τους παρέχουν σαφείς οδηγίες για ασφαλή διαφυγή.

Τα συστήματα crowdsourcing, όπου οι πολίτες μπορούν να αναφέρουν περιστατικά ή να στέλνουν δεδομένα από τις τοπικές τους περιοχές, θα βελτιώσουν σημαντικά την ακρίβεια των προβλέψεων και την αποτελεσματικότητα της αντίδρασης στις κρίσεις. Οι εκπαιδευτικές πρωτοβουλίες και οι προσομοιώσεις καταστάσεων έκτακτης ανάγκης θα συμβάλουν στην αύξηση της ετοιμότητας των κοινωνιών απέναντι σε φυσικές καταστροφές.

12.5. Μελλοντικές Τάσεις και Καινοτομίες

Με την πρόοδο της τεχνολογίας, τα EWS αναμένεται να ενσωματώσουν πιο ακριβή μοντέλα πρόβλεψης και αυτόνομα συστήματα απόκρισης. Οι πόλεις του μέλλοντος θα διαθέτουν έξυπνες υποδομές, όπου τα δεδομένα από αισθητήρες και δορυφόρους θα χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των μηχανισμών πρόληψης και διαχείρισης κρίσεων.

Τα έξυπνα δάση, με αυτόνομους αισθητήρες και ρομποτικά συστήματα πυρόσβεσης, θα συμβάλουν στην έγκαιρη αντιμετώπιση πυρκαγιών. Παράλληλα, οι πόλεις θα μπορούν να προσαρμόζονται δυναμικά στις κλιματικές συνθήκες μέσω βιώσιμων σχεδιασμών αστικής ανάπτυξης και δικτύων αποστράγγισης για την πρόληψη πλημμυρών.

Η διασύνδεση των EWS με κλιματικά μοντέλα μεγάλης κλίμακας θα επιτρέψει την καλύτερη προετοιμασία για μελλοντικές καταστροφές και θα συμβάλει στην προστασία εκατομμυρίων ανθρώπων παγκοσμίως

Bibliography

Arguez, A. &. (2011). The key to deriving alternative climate normals. Bulletin of the American Meteorological Society,,

Choe, B.-H. a.-S. (2021). Sentinel-1 and RADARSAT Constellation Mission InSAR assessment of slope movements in the southern interior of British Columbia, Canada. *Remote Sensing*, 3999.

Chuidian, J. L. (2014). Disaster Communication and Information Management of the Philippine National Disaster Risk Reduction and Management Council: A Research Proposal. *Journal of Politics and Governance*, 58--74.

Davis, G. K. (2007). History of the NOAA satellite program. *ournal of Applied Remote Sensing*, 012504.

Davis, G. K. (2007). History of the NOAA satellite program. *Journal of Applied Remote Sensing*, 012504.

Frost, P. a. (2012). Advanced Fire Information System-A real time fire information system for Africa. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (pp. IN33C--1554).

Gavilan, D. (2022). The Role of Push Notifications. In *The SAGE Handbook of Digital Marketing* (pp. 349--368). SAGE Publications Ltd.

Gro{\ss}, J. a. (2012). Generating simulation models from UML-A FireSat example. *Proceedings of the 2012 Symposium on Theory of Modeling and Simulation-DEVS Integrative M\&S Symposium*, 1--8.

Hart, S. G. (2006). NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (pp. 904--908).

<http://beyond-eocenter.eu/index.php/web-services/floodhub>. (n.d.).

<https://www.aqualertph.com/>. (n.d.).

<https://www.watchduty.org/how-it-works/overview>. (n.d.).

Jackson, R. (2000). Claims data may alert California plan to important treatment information. *Report on medical guidelines \& outcomes research*, 8--9.

Jutz, S. a.-P. (2020). Copernicus: the european earth observation programme. *Revista de Teledetecci{o}n*, V--XI.

Kelly, S. a.-A.-T. (2023). What factors contribute to the acceptance of artificial intelligence? A systematic review. *Telematics and Informatics*, 101925.

Kelman, I. a. (2014). Early warning systems defined. In *Reducing disaster: Early warning systems for climate change* (pp. 89--108). Springer.

Leonard, G. S. (2008). Developing effective warning systems: Ongoing research at Ruapehu volcano, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 199--215.

- Madakam, S. a. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of computer and communications*, 164--173.
- McNorton, J. R. (2024). A global probability-of-fire (PoF) forecast. *Geophysical Research Letters*, e2023GL107929.
- Ntinopoulos, N. a. (2022). Contribution to the study of forest fires in semi-arid regions with the use of Canadian fire weather index application in Greece. *Climate*, 143.
- Pandey, S. a. (2023). Daily detection and quantification of methane leaks using Sentinel-3: a tiered satellite observation approach with Sentinel-2 and Sentinel-5p. *Remote Sensing of Environment*, 113716.
- Prudhomme, C. a. (2024). Global hydrological reanalyses: The value of river discharge information for world-wide downstream applications--The example of the Global Flood Awareness System GloFAS. *Meteorological Applications*, e2192.
- Rahmani, A. M. (2021). Machine learning (ML) in medicine: review, applications, and challenges. *Mathematics*, 2970.
- Restas, A. (2015). Drone applications for supporting disaster management. *World Journal of Engineering and Technology*, 316--321.
- Román, M. O. (2024). Continuity between NASA MODIS Collection 6.1 and VIIRS Collection 2 land products. *Remote Sensing of Environment*, 113963.
- San-Miguel-Ayanz, J. a. (2012). Comprehensive monitoring of wildfires in Europe: the European forest fire information system (EFFIS). 28441.
- Staudemeyer, R. C. (2019). Understanding LSTM--a tutorial into long short-term memory recurrent neural networks. *arXiv preprint arXiv:1909.09586*.
- Thépaut, J.-N. a. (2018). The Copernicus programme and its climate change service. In *IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 1591--1593).
- Tolhurst, K. G. (2011). Assessing potential house losses using PHOENIX RapidFire. In *Proceedings of Bushfire CRC & AFAC 2011 Conference Science Day* (pp. 74--76).
- Tomlinson, R. F. (2007). *Thinking about GIS: geographic information system planning for managers*. ESRI, Inc.
- Tsokas, A. a. (2022). SAR data applications in earth observation: An overview. *Expert Systems with Applications*, 117342.
- Tyler, M. a. (2019). Are fire services 'extremely gendered' organizations? Examining the country fire authority (CFA) in Australia. *Gender, Work & Organization*, 1304--1323.
- Ugwuanyi, S. a. (2021). Survey of IoT for developing countries: Performance analysis of LoRaWAN and cellular NB-IoT networks. *Electronics*, 2224.
- Varela, V. a. (2018). Fire Weather Index (FWI) classification for fire danger assessment applied in Greece. *Tethys*, 31--40.

- Villa, F. a. (2021). SPADs and SiPMs arrays for long-range high-speed light detection and ranging (LiDAR). *Sensors*, 3839.
- Wallace, A. a. (2021). Local emergency co-production in Australia: The case of the New South Wales rural fire service. *The Australasian Journal of Regional Studies*, 331--353.
- Wulder, M. A. (2022). Fifty years of Landsat science and impacts. *Remote Sensing of Environment*, 113195.
- Z{\A}BORI, J. a.-D. (2024). European Flood Awareness System--A technical assessment of CEMS EFAS performance during the floods in Northern Germany in December 2023/January 2024.
- Zhang, Y. a. (2021). Big data and artificial intelligence based early risk warning system of fire hazard for smart cities. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 100986.