



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

ΠΜΣ Αυτοματισμός Παραγωγής Και Υπηρεσιών

Πτυχιακή/ Διπλωματική Εργασία

**Το Internet of Things (IoT) για την
προειδοποίηση φυσικών καταστροφών στο
πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής**

Συγγραφέας:

ΑΝΓΓΕΛΟ – ΙΩΑΝΝΗΣ ΛΑΜΑΪ

ΑΜ: 806970905

Επιβλέπων Καθηγητής:

Χρήστος Δρόσος

Αθήνα, Ιούνιος 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING DEPARTMENT OF
INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION ENGINEERING
M.Sc. IN INDUSTRIAL AUTOMATION

Diploma Thesis

The Internet of Things (IoT) for the warning of
natural disasters in the context of climate change

ANNGELO IOANNIS LAMAI
Registration Number: 806970905

Supervisor Professor:
Christos Drosos

Athens, June 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

ΠΜΣ Αυτοματισμός Παραγωγής Και Υπηρεσιών

**Το Internet of Things (IoT) για την προειδοποίηση φυσικών καταστροφών στο
πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική
Επιτροπή:

Α/ α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
	Δρόσος Χρήστος	Επικουρος Καθηγητής	
	Γκανέτσος Θεόδωρος	Καθηγητής	
	Παπουτσιδάκης Μιχάλης	Καθηγητής	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος ΑΝΓΓΕΛΟ-ΙΩΑΝΝΗΣ ΛΑΜΑΪ του ΠΑΝΑΓΙΟΥ, με αριθμό μητρώου **806970905** φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ του Τμήματος ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

**Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή*

Ο Δηλών

ΛΑΜΑΙ

*** Ονοματεπώνυμο /Ιδιότητα**
(Υπογραφή)

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

** Σε εξαιρετικές περιπτώσεις και μετά από αιτιολόγηση και έγκριση του επιβλέποντα, προβλέπεται χρονικός περιορισμός πρόσβασης (embargo) 6-12 μήνες. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να υπογράψει ψηφιακά ο/η επιβλέπων/ουσα καθηγητής/τρια, για να γνωστοποιεί ότι είναι ενημερωμένος/η και συναινεί. Οι λόγοι χρονικού αποκλεισμού πρόσβασης περιγράφονται αναλυτικά στις πολιτικές του Ι.Α. (σελ. 6):*

https://www.uniwa.gr/wp-content/uploads/2021/01/%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%B5%CC%81%CF%82_%CE%99%CE%B4%CF%81%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%85%CC%81_%CE%91%CF%80%CE%BF%CE%B8%CE%B5%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CC%81%CE%BF%CF%85_final.pdf

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση του ρόλου της τεχνολογίας Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στην αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών και τη συμβολή της στις προσπάθειες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και την προώθηση της βιωσιμότητας. Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι διττός: αφενός να εξετάσει πώς η τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) μπορεί να συμβάλει στην αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών μέσω της βελτίωσης των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και αντίδρασης, και αφετέρου να αναδείξει τη συμβολή της στη μετρίαση της κλιματικής αλλαγής και την προώθηση της βιωσιμότητας. Στοχεύει επίσης να αναλύσει τις προκλήσεις και τους περιορισμούς που συναντώνται κατά την εφαρμογή του IoT στον τομέα της διαχείρισης καταστροφών και να προτείνει δυνατότητες για μελλοντικές εξελίξεις και καινοτομίες. Η εργασία διαιρείται σε πέντε κεφάλαια, καθένα από τα οποία καλύπτει συγκεκριμένους τομείς σχετικούς με τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, την τεχνολογία IoT και τις εφαρμογές της στην προειδοποίηση και την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών. Στο πρώτο κεφάλαιο, αναλύονται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης, με έμφαση στην τρέχουσα κατάσταση του περιβάλλοντος και της κλιματικής πολιτικής. Εξετάζονται οι προκλήσεις στην εφαρμογή αποτελεσματικών συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών και οι τρόποι βελτίωσης των σχετικών πολιτικών.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφιερώνεται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων, περιγράφοντας τον ορισμό, τα συστατικά στοιχεία και τη χρήση της τεχνολογίας IoT για την περιβαλλοντική παρακολούθηση. Το τρίτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στις εφαρμογές του IoT στην προειδοποίηση φυσικών καταστροφών, εξετάζοντας τα πλεονεκτήματα της χρήσης της τεχνολογίας σε συγκριτική βάση με παραδοσιακές μεθόδους και αναδεικνύοντας τον ρόλο της στην προετοιμασία, αντιμετώπιση και ανάκαμψη από φυσικές καταστροφές. Συζητούνται επίσης οι προκλήσεις και οι περιορισμοί στην εφαρμογή του IoT και προτείνονται λύσεις για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων. Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στις μελλοντικές εξελίξεις και προκλήσεις στον τομέα του IoT, με έμφαση στις τρέχουσες τάσεις και τις ευκαιρίες για την εφαρμογή της τεχνολογίας στη διαχείριση φυσικών καταστροφών.

Παρουσιάζονται οι προκλήσεις και προβληματισμοί κατά την υιοθέτηση του IoT και προτείνονται τρόποι βελτίωσης της επικοινωνίας και της συλλογής δεδομένων.

Το πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο περιέχει τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας, συνοψίζοντας τα κύρια ευρήματα και τις προτάσεις για την περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη στον τομέα του IoT και τη διαχείριση φυσικών καταστροφών. Από τη μελέτη της πρόσφατης βιβλιογραφίας, διαπιστώθηκε ότι η τεχνολογία IoT προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για τη βελτίωση της ετοιμότητας, της αντίδρασης και της ανάκαμψης από φυσικές καταστροφές. Οι αισθητήρες και οι συσκευές IoT μπορούν να παρέχουν προειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο και να συλλέγουν δεδομένα που επιτρέπουν την ακριβέστερη πρόβλεψη και την αποτελεσματικότερη κατανομή των πόρων. Επιπροσθέτως, η τεχνολογία αυτή μπορεί να συμβάλει στην προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή μέσω της βελτίωσης της διαχείρισης και της πρόληψης καταστροφών, συμβάλλοντας στη βιωσιμότητα και τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Ωστόσο, διαπιστώθηκε επίσης ότι υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως η ασφάλεια των δεδομένων, η αξιοπιστία των συστημάτων, η αντιμετώπιση ψευδών συναγερμών και η ολοκληρωμένη ενσωμάτωση με τις υπάρχουσες υποδομές διαχείρισης καταστροφών. Για την επίτευξη των πλήρων δυνατοτήτων του IoT στη διαχείριση καταστροφών και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, απαιτείται περαιτέρω έρευνα, καινοτομία και συνεργασία μεταξύ των κυβερνήσεων, των επιχειρήσεων και της επιστημονικής κοινότητας.

Abstract

This thesis focuses on analyzing the role of the Internet of Things (IoT) technology in addressing natural disasters and its contribution to efforts to mitigate climate change and promote sustainability. The purpose of this thesis is twofold: firstly, to examine how IoT technology can contribute to addressing natural disasters through the improvement of early warning and response systems, and secondly, to highlight its contribution to mitigating climate change and promoting sustainability. It also aims to analyze the challenges and limitations encountered in the application of IoT in disaster management and to propose possibilities for future developments and innovations. The work is divided into five chapters, each covering specific areas related to climate change mitigation, IoT technology, and its applications in disaster warning and response. The first chapter analyzes the impacts of climate change and the concept of sustainable development, focusing on the current state of the environment and climate policy. Challenges in implementing effective natural disaster warning systems and ways to improve related policies are examined. The second chapter is dedicated to the Internet of Things, describing the definition, components, and use of IoT technology for environmental monitoring. The third chapter focuses on IoT applications in natural disaster warning, examining the advantages of using technology in a comparative basis with traditional methods and highlighting its role in preparedness, response, and recovery from natural disasters. Challenges and limitations in the application of IoT are also discussed, and solutions for addressing these issues are proposed. The fourth chapter refers to future developments and challenges in the IoT field, emphasizing current trends and opportunities for applying technology in disaster management. Challenges and considerations during the adoption of IoT for disaster warning and response are presented, along with ways to improve communication and data collection. The fifth and final chapter contains the conclusions of the thesis, summarizing the main findings and proposals for further research and development in the field of IoT and disaster management. From the study of recent literature, it was found that IoT technology offers significant capabilities for improving readiness, response, and recovery from natural disasters. Sensors and IoT devices can provide real-time warnings and collect data that allow for more accurate prediction and more efficient allocation of resources. Additionally, this technology can contribute to adaptation to climate change through improved management and disaster prevention, contributing to sustainability and reducing environmental impacts. However, it was also found that there are significant challenges that need to be addressed, such

as data security, system reliability, dealing with false alarms, and comprehensive integration with existing disaster management infrastructures. To achieve the full potential of IoT in disaster management and climate change mitigation, further research, innovation, and collaboration between governments, businesses, and the scientific community are required.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	10
Κεφάλαιο 1ο. Κλιματική Αλλαγή και Αειφορία/Βιώσιμη Ανάπτυξη.....	13
1.1 Ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της έννοιας της αειφορίας/ βιώσιμης ανάπτυξης.....	13
1.2 Η σύγχρονη κατάσταση στον τομέα του περιβάλλοντος και της κλιματικής πολιτικής	16
1.2.1 Προκλήσεις στην εφαρμογή αποτελεσματικών συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών.....	18
1.2.2 Βελτίωση των πολιτικών για το κλίμα για την καλύτερη αντιμετώπιση των συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών	18
1.3 Τεχνολογίες συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης	20
Κεφάλαιο 2ο. Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)	30
2.1 Ορισμός και συστατικά στοιχεία του IoT	30
2.2 Τεχνολογία IoT για Περιβαλλοντική Παρακολούθηση	32
Κεφάλαιο 3ο. Εφαρμογές του IoT στην Προειδοποίηση Φυσικών Καταστροφών.....	35
3.1 Εφαρμογές Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στην Έγκαιρη Προειδοποίηση Φυσικών Καταστροφών.....	35
3.1.1 Κρίσιμα Στοιχεία Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης με Βάση το IoT	37
3.2 Πλεονεκτήματα της Χρήσης της Τεχνολογίας IoT σε Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης	39
3.2.1 Σύγκριση μεταξύ Τεχνολογίας IoT και Παραδοσιακών Μεθόδων στην Έγκαιρη Προειδοποίηση	39
3.3 Ρόλος της Τεχνολογίας IoT στην Προετοιμασία, Αντιμετώπιση και Ανάκαμψη από Φυσικές Καταστροφές.....	40
3.3.1 Πρακτικές Εφαρμογές του IoT στην Αντιμετώπιση και Διαχείριση Καταστροφών...	42
3.4 Προκλήσεις και Περιορισμοί στην Εφαρμογή του IoT για Συστήματα Προειδοποίησης Φυσικών Καταστροφών	43

3.4.1 Αντιμετώπιση Προκλήσεων και Περιορισμών του IoT στην Προειδοποίηση για Φυσικές Καταστροφές.....	43
3.5 Μελλοντικές Κατευθύνσεις και Καινοτομίες στον Τομέα του IoT για την Προειδοποίηση Φυσικών Καταστροφών	44
Κεφάλαιο 4°. Μελλοντικές Εξελίξεις και προκλήσεις.....	47
4.1 Εξέταση των μελλοντικών τάσεων στην τεχνολογία του IOT σε σχέση με την προειδοποίηση φυσικών καταστροφών.	47
4.1.1 Τρέχουσα κατάσταση Συστημάτων Προειδοποίησης Φυσικών Καταστροφών	47
4.1.2 Ο ρόλος του IoT στην προειδοποίηση και την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών.....	49
4.1.3 Ευκαιρίες για την εφαρμογή του IoT στη διαχείριση φυσικών καταστροφών (π.χ. σεισμοί, τυφώνες, πλημμύρες)	52
4.2 Ανάλυση των προκλήσεων που ενδέχεται να προκύψουν και πιθανών λύσεων	56
4.2.1 Προκλήσεις και προβληματισμοί κατά την υιοθέτηση του IoT για προειδοποίηση και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών	56
4.2.2 Βελτίωση της επικοινωνίας και της συλλογής δεδομένων στην αντιμετώπιση καταστροφών με το IoT.....	59
4.2.3 Ενσωμάτωση του IoT με την υπάρχουσα υποδομή προειδοποίησης και απόκρισης καταστροφών.....	60
4.2.4 Διασφάλιση αξιοπιστίας και ασφάλειας των συστημάτων προειδοποίησης καταστροφών με δυνατότητα IoT	63
Κεφάλαιο 5°. Συμπεράσματα	64
Βιβλιογραφία	68

Εισαγωγή

Οι φυσικές καταστροφές ήταν πάντα σημαντικό τμήμα της ιστορίας του πλανήτη, αλλά η συχνότητα και η ένταση αυτών των γεγονότων έχουν αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στις φυσικές καταστροφές είναι αναμφισβήτητη και είναι επιτακτική η ανάπτυξη αποτελεσματικών συστημάτων προειδοποίησης για τον μετριασμό των επιπτώσεών τους στις κοινότητες και το περιβάλλον. Αυτή η ερευνητική εργασία στοχεύει να διερευνήσει τη σημασία της προειδοποίησης για φυσικές καταστροφές στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής και της βιωσιμότητας. Η μελέτη θα εξετάσει τον αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στις φυσικές καταστροφές και πώς τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης μπορούν να βοηθήσουν στον μετριασμό των επιπτώσεών τους. Επιπλέον, η μελέτη θα αναλύσει τις προκλήσεις στην ανάπτυξη αποτελεσματικών συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών. Εξετάζοντας αυτά τα ζητήματα, αυτή η ερευνητική εργασία επιδιώκει να συμβάλει στη συνεχιζόμενη συζήτηση σχετικά με τον τρόπο αντιμετώπισης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις φυσικές καταστροφές και την προώθηση βιώσιμων πρακτικών.

Η διασύνδεση των πολιτικών μείωσης του κινδύνου καταστροφών με τις πολιτικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή και τις πολιτικές βιώσιμης ανάπτυξης έχει αναγνωριστεί από καιρό ως κρίσιμη στρατηγική προσέγγιση για τον μετριασμό των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών. Το νέο Πλαίσιο¹ τονίζει τη σημασία της αλληλεπίδρασης και της αλληλεξάρτησης των πολιτικών που σχετίζονται με την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη μείωση του κινδύνου καταστροφών προκειμένου να μειωθεί ουσιαστικά ο κίνδυνος καταστροφών και απωλειών που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές. Οι ίδιες οι φυσικές καταστροφές μπορούν να προκαλέσουν διακοπή βασικών υπηρεσιών, όπως ζημιές σε νοσοκομειακές και σχολικές εγκαταστάσεις, καθώς και κρίσιμες υποδομές. Είναι σαφές ότι η σημασία των αλληλεξαρτώμενων πολιτικών που σχετίζονται με την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη μείωση του κινδύνου καταστροφών δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί για τον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών.

¹ Υπουργείο Κλιματικής Κρίσης και Πολιτικής Προστασίας. (2015). *Διεθνείς Οργανισμοί*. <https://civilprotection.gov.gr/diethnis-synergasia/diethneis-organismoι>

Τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης μπορεί να είναι ένα κρίσιμο συστατικό για τον μετριασμό των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η κλιματική αλλαγή είναι ένας σημαντικός παράγοντας στις φυσικές καταστροφές και είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη στο πλαίσιο της βιώσιμης ανάπτυξης και της χάραξης πολιτικής. Ένας τρόπος για να γίνει αυτό είναι η εφαρμογή συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης που μπορούν να ειδοποιήσουν τις αρμόδιες αρχές και τους πολίτες για πιθανές καταστροφές. Αυτά τα συστήματα μπορούν να παρέχουν χρόνο για εκκένωση και προετοιμασία, γεγονός που μπορεί να μειώσει σημαντικά τις ζημιές που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές. Το Πρωτόκολλο του Κιότο στη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος τονίζει επίσης την ανάγκη προετοιμασίας για φυσικές καταστροφές και τις πιθανές επιπτώσεις τους σε υποδομές ζωτικής σημασίας, υπογραμμίζοντας τη σημασία των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης². Επιπλέον, η δημιουργία ενός βιώσιμου περιβάλλοντος μπορεί να συμβάλει θετικά στη μείωση του κινδύνου καταστροφών. Συνοπτικά, τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης μπορούν να είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τη μείωση των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή και άλλους παράγοντες. Αυτά τα συστήματα μπορούν να παρέχουν ζωτικό χρόνο για προετοιμασία, εκκένωση και απόκριση, οδηγώντας σε μειωμένες απώλειες ζωής και περιουσίας.

Η ανάπτυξη αποτελεσματικών συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών θέτει διάφορες προκλήσεις, ιδίως στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής και των βιώσιμων πολιτικών. Οι φυσικές καταστροφές, όπως αυτές που συνέβησαν πρόσφατα, υπογράμμισαν περαιτέρω την ανάγκη για δράση και έχουν τονίσει τη σημασία της εφαρμογής πολιτικών που ευθυγραμμίζονται με το Πρωτόκολλο του Κιότο στη σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος. Επιπλέον, η δημιουργία εκτεταμένων και εντατικών οικολογικών συστημάτων είναι ζωτικής σημασίας για τον μετριασμό των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών. Συνολικά, η ανάπτυξη αποτελεσματικών συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη την κλιματική αλλαγή, τις βιώσιμες πολιτικές και τα οικολογικά συστήματα.

² ΠΡΟΤΑΣΗ ΨΗΦΙΣΜΑΤΟΣ σχετικά με τις δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα, τις συνέπειές τους και τα συμπεράσματα που θα πρέπει να αντληθούν για τα μέτρα πρόληψης και έγκαιρης προειδοποίησης | B6-0325/2007 | Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο. Europa.eu. https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/B-6-2007-0325_EL.html

Η παρούσα μελέτη τονίζει τη σημασία των συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής και της βιωσιμότητας. Η διασύνδεση των πολιτικών μείωσης του κινδύνου καταστροφών με τις πολιτικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή και τις πολιτικές βιώσιμης ανάπτυξης έχει αναγνωριστεί ως κρίσιμη στρατηγική προσέγγιση για τον μετριασμό των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών. Η ανάπτυξη αποτελεσματικών συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη την κλιματική αλλαγή, τις βιώσιμες πολιτικές και τα οικολογικά συστήματα. Η μελέτη υποδηλώνει ότι η δημιουργία εκτεταμένων και εντατικών οικολογικών συστημάτων είναι ζωτικής σημασίας για τον μετριασμό των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών. Τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης μπορεί να είναι ένα κρίσιμο στοιχείο για τον μετριασμό των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών. Η ανάπτυξη αποτελεσματικών συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών θέτει ωστόσο διάφορες προκλήσεις, ιδίως στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής και των βιώσιμων πολιτικών. Το παρόν ερευνητικό έγγραφο θα παράσχει μια βάση για μελλοντική έρευνα σχετικά με τον αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στις φυσικές καταστροφές και την ανάγκη προώθησης στρατηγικών μείωσης του κινδύνου καταστροφών και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Η μελέτη αναγνωρίζει τους πιθανούς περιορισμούς και προκαταλήψεις, υποδεικνύοντας την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σε αυτόν τον τομέα. Συνολικά, η μελέτη θα συμβάλλει στη συνεχή πρόοδο της γνώσης στον τομέα, τονίζοντας τη σημασία των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης στην περίπτωση της κλιματικής αλλαγής, τη βιώσιμη ανάπτυξη και τη μείωση του κινδύνου καταστροφών για τον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών.

Κεφάλαιο 1ο. Κλιματική Αλλαγή και Αειφορία/Βιώσιμη Ανάπτυξη

1.1 Ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της έννοιας της αειφορίας/ βιώσιμης ανάπτυξης

Η κλιματική αλλαγή έχει σημαντικές και πολυδιάστατες επιπτώσεις στο περιβάλλον και στις ανθρώπινες κοινωνίες. Αυτές οι επιδράσεις μπορεί να περιορίσουν την ικανότητα των οικοσυστημάτων να ανταπεξέλθουν στις αλλαγές και να παρέχουν βασικές υπηρεσίες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αρνητικά φαινόμενα όπως ο κατακερματισμός των οικοτόπων, η απώλεια βιοποικιλότητας, η υπερεκμετάλλευση πόρων, η ατμοσφαιρική, υδατική και εδαφική ρύπανση καθώς και η εξάπλωση ειδών που κατακτούν νέους χώρους. Οι έμμεσες συνέπειες αυτές μπορεί να είναι πιο καταστροφικές λόγω της εκτεταμένης φύσης, του πλάτους και της ταχύτητάς τους.

Επιπρόσθετα, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τη βιοποικιλότητα μέσω των αλλαγών στη χρήση γης και άλλων πόρων, προκαλώντας σοβαρές επιπτώσεις στα παράκτια και θαλάσσια οικοσυστήματα. Οι παράκτιες περιοχές ενδέχεται να βιώσουν αύξηση στη συγκέντρωση αλατούχων εδαφών λόγω της διείσδυσης του αλμυρού νερού από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και τη μείωση των ποταμών, προκαλώντας διάβρωση και απώλεια βιοποικιλότητας του εδάφους. Η αύξηση της θερμοκρασίας της θάλασσας μπορεί επίσης να διευκολύνει την εξάπλωση ειδών σε περιοχές που παλαιότερα δεν ήταν εφικτή η επιβίωσή τους.

Στις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις περιλαμβάνονται η αλλαγή της φυσικής και βιολογικής σύνθεσης των ωκεανών και η επίδραση σε οργανισμούς που παράγουν ανθρακικό ασβέστιο λόγω της οξίνισης των ωκεανών. Η αλλαγή στις συγκεντρώσεις CO₂, η αύξηση των θερμοκρασιών και η αλλαγή των προτύπων βροχόπτωσης μπορεί να επηρεάσουν την αποθήκευση άνθρακα στο έδαφος, οδηγώντας σε διάβρωση, κατολισθήσεις, ερημοποίηση και πλημμύρες. Η κλιματική αλλαγή αυξάνει επίσης τον κίνδυνο πλημμυρών και διάβρωσης στις παράκτιες περιοχές και μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στη διαθεσιμότητα νερού σε πολλές περιοχές της Ευρώπης.³

³ Συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. (2023). Climate Action. https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_el

Το 2018, 62 εκατομμύρια άνθρωποι επηρεάστηκαν από φυσικές καταστροφές και υπέστησαν τις συνέπειες κλιματικών και καιρικών φαινομένων. Αυτό αποτελεί συμπέρασμα μιας ανάλυσης 281 γεγονότων που καταγράφηκαν από το Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (2019)⁴. Οι πλημμύρες ήταν η κύρια αιτία, επηρεάζοντας πάνω από 35 εκατομμύρια άτομα, ενώ η ξηρασία άγγιξε τα 9 εκατομμύρια άτομα παγκοσμίως.

Η κλιματική αλλαγή, ανεξαρτήτως των αιτιών της, είναι ένας παράγοντας που επιδεικνύει την ευαίσθητη φύση των φυσικών και ανθρωπογενών συστημάτων απέναντι στις μεταβολές του κλίματος, σύμφωνα με την IPCC (2014). Όπως τονίζει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2023)⁵, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει κάθε περιοχή του πλανήτη, με τους παγετώνες να λιώνουν και την επιφάνεια της θάλασσας να αυξάνεται. Επίσης, παρατηρούνται πιο συχνά ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως έντονες βροχοπτώσεις και θερμικά κύματα.

Η μείωση των Αρκτικών θαλάσσιων πάγων το 2018 ήταν σημαντικά κάτω από τον μέσο όρο της περιόδου 1981-2010, όπως αναφέρει ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός. Το Copernicus Climate Change Service (C3S) κατέγραψε αυτή την έκταση ως την τρίτη χαμηλότερη στη δορυφορική ιστορία από το 1979 έως το 2018. Σύμφωνα με τη NASA⁶, η ταχεία απώλεια των παγετόνων μπορεί να έχει σύνθετες επιπτώσεις στα παγκόσμια κλιματικά μοτίβα.

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, όπως αναφέρθηκε, αποτελεί μια ακόμη σοβαρή απειλή, ειδικά για παράκτιες πόλεις. Μεγάλο ποσοστό των μεγάλων ευρωπαϊκών πόλεων και σημαντικοί αστικοί πληθυσμοί σε αναπτυσσόμενες χώρες, όπως η Καλκούτα και η Σαγκάη, βρίσκονται σε ιδιαίτερα ευπαθείς θέσεις. Περίπου 360 εκατομμύρια άνθρωποι που ζουν σε αστικές παράκτιες περιοχές είναι εκτεθειμένοι σε πλημμύρες και καταγίδες, σύμφωνα με την έκθεση "Cities and Climate Change" του 2010. Το 2018 αποτέλεσε ένα έτος όπου οι ξηρασίες

⁴ Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (2019). *Natural disasters*. https://cred.be/sites/default/files/adsr_2019.pdf

⁵ Europa.eu. (2023). *Climate change impacts, risks and adaptation*. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/climate-change-impacts-risks-and-adaptation>

⁶ Jackson, R. (2023). *The Effects of Climate Change*. Climate Change: Vital Signs of the Planet. <https://climate.nasa.gov/effects/>

και τα κύματα καύσωνα, δηλαδή περίοδοι ασυνήθιστα υψηλών θερμοκρασιών που διαρκούν από λίγες ημέρες έως εβδομάδες, έγιναν πιο έντονα σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ ταυτόχρονα τα κρύα κύματα μειώθηκαν σε ένταση. Προβλέπεται ότι οι καλοκαιρινές θερμοκρασίες θα συνεχίσουν να αυξάνονται, με την υγρασία του εδάφους να μειώνεται, ενισχύοντας περαιτέρω τα κύματα καύσωνα, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Όπως αναφέρει η NASA, έως το τέλος του 21ου αιώνα, οι ημέρες με ακραία ζέστη, που παλαιότερα εκδηλώνονταν μία φορά κάθε είκοσι χρόνια, αναμένεται να εμφανίζονται κάθε δύο ή τρία χρόνια στα περισσότερα μέρη του κόσμου.

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (2022), ο πλανήτης βίωσε ορισμένα από τα πιο έντονα κλιματικά φαινόμενα στη σύγχρονη ιστορία, με αξιοσημείωτες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η μέση παγκόσμια θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 1,15 έως 1,2°C σε σύγκριση με τα επίπεδα πριν την εποχή της βιομηχανοποίησης, κατατάσσοντας την περίοδο 2015-2022 ως την πιο θερμή επταετία από το 1737.

Εξαιρετικά σημαντικές ήταν οι συνθήκες La Niña, οι οποίες παρατηρήθηκαν για τρίτη συνεχή χρονιά, ένα φαινόμενο που έχει συμβεί μόλις τρεις φορές στο παρελθόν. Τα αέρια του θερμοκηπίου, συμπεριλαμβανομένων του διοξειδίου του άνθρακα, του μεθανίου, του οξειδίου του αζώτου και των φθοριούχων αερίων, κατέγραψαν νέα υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης το 2021. Ο ωκεανός παρέμεινε κύριος δέκτης της ενέργειας που παγιδεύεται από αυτά τα αέρια, με το 2022 να καταγράφει ρεκόρ στο θερμό περιεχόμενο των ωκεάνιων νερών. Συνεχίστηκε επίσης η ανοδική τάση στη μέση στάθμη της θάλασσας, φτάνοντας σε νέα ρεκόρ επίπεδα. Στον τομέα του υδρολογικού κύκλου, το 2021-2022 παρουσίασε σημαντική απώλεια πάγου, ξεπερνώντας τις μέσες απώλειες των προηγούμενων δεκαετιών. Η βροχόπτωση παρουσίασε ακραίες διακυμάνσεις, με την Ανατολική Αφρική να βιώνει χαμηλότερα επίπεδα βροχοπτώσεων για πέντε διαδοχικές σεζόν, ενώ τον Ιούλιο και τον Αύγουστο καταγράφηκαν ρεκόρ βροχοπτώσεων που προκάλεσαν εκτεταμένες πλημμύρες.

Τέλος, τα θερμικά κύματα και οι ακραίες θερμοκρασίες έπληξαν ιδιαίτερα την Κίνα και την Ευρώπη κατά το καλοκαίρι του 2022, με ρεκόρ υψηλών θερμοκρασιών και σημαντικές ζημιές. Τα παραπάνω δεδομένα δείχνουν ότι η έντονη ζέστη και οι ξηρασίες έχουν επηρεάσει πολλές περιοχές του κόσμου και αναμένεται να επιδεινωθούν τα επόμενα χρόνια, ως αποτέλεσμα των αυξημένων θερμοκρασιών (WMO, 2022).

Η έννοια της Βιώσιμης Ανάπτυξης συνδέεται στενά με τις φιλοδοξίες της ανθρωπότητας για βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, υπό το πρίσμα των φυσικών ορίων της Γης (Fonseca,

Domingues, & Dima 2020). Η σύγχρονη έννοια της Βιώσιμης Ανάπτυξης αναδύθηκε από περιβαλλοντικές ανησυχίες και εμφανίστηκε επίσημα για πρώτη φορά στη διάσκεψη του ΟΗΕ το 1982. Στη συνέχεια, οριοθετήθηκε περαιτέρω στην Έκθεση Brundtland⁷ και διαμορφώθηκε επιπλέον στο Συνέδριο του Ρίο για τη Γη το 1992 (Hák, Janoušková, & Moldan, 2016).

Σύμφωνα με την Έκθεση Brundtland, Βιώσιμη Ανάπτυξη ορίζεται ως η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις σημερινές ανάγκες χωρίς να απειλεί τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες. Ο ορισμός αυτός επικεντρώνεται σε δύο βασικές διαστάσεις: την ικανοποίηση των αναγκών, ειδικά των βασικών αναγκών των φτωχών, και την αναγνώριση των περιορισμών που επιβάλλονται από την τεχνολογία και την ικανότητα του περιβάλλοντος να αντεπεξέλθει στις σημερινές και μελλοντικές ανάγκες. Η δημοσίευση της Έκθεσης Brundtland ήταν ένα ορόσημο στον τομέα του περιβάλλοντος και της ανάπτυξης και προέτρεψε στη συνεργασία θεσμικών οργανισμών σε παγκόσμιο, εθνικό και τοπικό επίπεδο, με στόχο την προαγωγή οικονομικής ανάπτυξης που διασφαλίζει την ασφάλεια και ευημερία του πλανήτη (Sneddon, Howarth, & Norgaard, 2006).

Η Βιώσιμη Ανάπτυξη από τότε έχει εξελιχθεί και επεκταθεί, με πολλούς οργανισμούς και θεσμούς να συμβάλλουν στην εδραίωση των αρχών και των στόχων της. Οι αρχές και στόχοι της Βιώσιμης Ανάπτυξης έχουν αναπτυχθεί περαιτέρω, αλλά παραμένουν οι προκλήσεις στην εφαρμογή τους. Η Βιώσιμη Ανάπτυξη αντιμετωπίζει πολλαπλές προκλήσεις όπως η ικανοποίηση των βασικών ανθρώπινων αναγκών, η προστασία του περιβάλλοντος, η επίτευξη ισότητας, η διατήρηση της οικολογικής ακεραιότητας και η ενσωμάτωση της ποικιλομορφίας και αποδοχής στην ανάπτυξη. Παρά τις πολλαπλές ερμηνείες και διαφοροποιήσεις, η βασική φιλοσοφία της Βιώσιμης Ανάπτυξης παραμένει η ίδια: η ανάγκη για μια ανάπτυξη που σέβεται τα φυσικά όρια και επιδιώκει την αρμονία μεταξύ ανθρώπινων και περιβαλλοντικών αναγκών (Tomislav, 2018).

1.2 Η σύγχρονη κατάσταση στον τομέα του περιβάλλοντος και της κλιματικής πολιτικής

Η αποτελεσματικότητα των τρεχουσών πολιτικών για τη διαχείριση και τον μετριασμό των φυσικών καταστροφών στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής παρουσιάζει πολυμορφία. Τα

⁷ EUR-Lex - 52001DC0264 - EL. (2020). *Europa.eu*. <http://europa.eu.int/eur-lex/lex/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52001DC0264:EL:HTML>

αποτελεσματικά συστήματα προειδοποίησης είναι ουσιώδη για τη μείωση του κινδύνου και τη διαχείριση των φυσικών απειλών. Οι πολιτικές που αναπτύσσονται για να ενσωματώσουν γνώση και εκπαίδευση σε σχέση με τα συστήματα προειδοποίησης καταστροφών είναι θεμελιώδεις. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις αστοχίας στην εφαρμογή αυτών των συστημάτων (Booth et al., 2020a). Η αποδοχή των κινδύνων από την κοινωνία βασίζεται σε αποτελεσματικές προειδοποιήσεις και η εφαρμογή μιας σειράς πρακτικών πολιτικών και συστάσεων μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της αντιμετώπισης των καταστροφών και της κλιματικής αλλαγής. Αυτό περιλαμβάνει τη βελτίωση των συστημάτων προειδοποίησης για κλιματικούς κινδύνους και την ανάπτυξη προγραμμάτων μετριασμού για την επιβράδυνση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Mall et al., 2019; Šakić Trogrlić et al., 2022).

Είναι επίσης σημαντικό η ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης να είναι σε θέση να ανταποκριθεί στις όλο και πιο περίπλοκες απειλές καταστροφών, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή (Zuccaro, Leone & Martucci, 2020). Αυτό απαιτεί συνεργασία διαφόρων υπουργείων και φορέων που ασχολούνται με την κλιματική αλλαγή, όπως τα υπουργεία περιβάλλοντος, γεωργίας, ενέργειας και άλλα (Booth et al., 2020b). Τέλος, είναι ζωτικής σημασίας η βελτίωση της αποτελεσματικότητας και αποδοτικότητας των στρατηγικών για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, μέσω της ανάπτυξης συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και της αξιολόγησης της ευπάθειας και του κινδύνου (Islam, Chu & Smart, 2020).

Σύμφωνα με την Παγκόσμια Έρευνα Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης του ΟΗΕ το 2006, υπάρχουν διαφορές στις δυνατότητες και τα επίπεδα ανάπτυξης τέτοιων συστημάτων ανά τον κόσμο, ενώ έχουν εντοπιστεί κενά και ευκαιρίες για τη βελτίωση των ολοκληρωμένων συστημάτων προειδοποίησης. Για παράδειγμα, το Κέντρο Προειδοποίησης Τσουνάμι του Ειρηνικού στη Χαβάη παρέχει προειδοποιήσεις για τσουνάμι σε πολλές περιοχές του κόσμου, συμπεριλαμβανομένης της Ινδονησίας, όπου εξέδωσε προειδοποιητικά μηνύματα το 2012. Στην Ινδονησία, τα μηνύματα μεταφράζονται σε συγκεκριμένες ενέργειες για άμεση εκκένωση των παράκτιων περιοχών σε περίπτωση προειδοποίησης τσουνάμι. Στη Σκωτία, το Σύστημα Προειδοποίησης της Σκωτίας για την Προστασία του Περιβάλλοντος περιλαμβάνει γενικές συμβουλές για προετοιμασία ενάντια στις πλημμύρες, ισχύοντας ανεξαρτήτως του επιπέδου της προειδοποίησης ή ειδοποίησης. Η ενίσχυση των συστημάτων αυτών είναι κρίσιμη για τον μετριασμό των ανθρωπιστικών κρίσεων που προκαλούνται από τις περιβαλλοντικές αλλαγές, κυρίως εκείνες συνδεδεμένες με την κλιματική αλλαγή (Kelman & Glantz, 2014).

Τα συστήματα προειδοποίησης καταστροφών μπορούν να διαδραματίσουν κρίσιμο ρόλο στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Μπορούν να ωφελήσουν τις κοινότητες μέσω σύνδεσης με συστήματα συναγερμού και προειδοποίησης για τον καιρό, όπως συστήματα προειδοποίησης και απόκρισης θερμότητας, ειδοποιήσεις για την ποιότητα του αέρα, συμβουλές για το νερό και ειδοποιήσεις κρίσιμης διακοπής υπηρεσιών. Στον Καναδά, πολλές κοινότητες έχουν εφαρμόσει ήδη συστήματα προειδοποίησης και ανταπόκρισης σε θερμότητα (HARS) για να ειδοποιούν ευπαθείς ομάδες, το ευρύ κοινό και τις υγειονομικές και κοινοτικές υπηρεσίες για επικείμενα καύσωνα και να παρέχουν οδηγίες για την προστασία από τις επιπτώσεις θερμότητας στην υγεία (Paterson et al., 2014). Η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων προειδοποίησης μπορεί να βοηθήσει τις αρχές στην πρόληψη ζημιών σε ζωές και περιουσίες από φυσικές καταστροφές και ακραίες καιρικές συνθήκες. Επιπρόσθετα, αυτά τα συστήματα προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες για τον τρόπο διαχείρισης και μετριασμού των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής στη δημόσια υγεία και το περιβάλλον.

1.2.1 Προκλήσεις στην εφαρμογή αποτελεσματικών συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών

Η εφαρμογή αποτελεσματικών συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για φυσικές καταστροφές συνοδεύεται από μια σειρά προκλήσεων, που κυμαίνονται από τεχνικά ζητήματα έως πολιτικές παραμέτρους. Η δημιουργία ενός αποδοτικού συστήματος προειδοποίησης απαιτεί εξειδικευμένη τεχνογνωσία, πόρους και μια καθορισμένη στρατηγική. Οι τεχνικές δυσκολίες περιλαμβάνουν την ανάπτυξη αποτελεσματικών αισθητήρων, δικτύων επικοινωνίας, μεθόδων αποθήκευσης δεδομένων και συστημάτων επεξεργασίας πληροφοριών. Το πολιτικό περιβάλλον επίσης μπορεί να παρουσιάζει εμπόδια, καθώς κυβερνήσεις μπορεί να μην επενδύουν επαρκώς σε συστήματα ετοιμότητας για καταστροφές ή να μην διαθέτουν την απαραίτητη υποδομή. Επιπλέον, η αποτελεσματική ειδοποίηση είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία ενός συστήματος προειδοποίησης. Η ακριβής και έγκαιρη διανομή προειδοποιητικών μηνυμάτων στους πληγέντες πληθυσμούς αποτελεί πρόκληση λόγω παραγόντων όπως η ανεπαρκής επικοινωνιακή υποδομή, γλωσσικά εμπόδια και χαμηλά επίπεδα εκπαίδευσης. Για να είναι αποτελεσματικά τα συστήματα προειδοποίησης, είναι αναγκαίο να αντιμετωπιστούν αυτές οι προκλήσεις και να μειωθούν οι επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών (Lukau, Hellriegel & Klafft, 2023).

1.2.2 Βελτίωση των πολιτικών για το κλίμα για την καλύτερη αντιμετώπιση των συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών

Η αυξανόμενη συχνότητα και ένταση των φυσικών καταστροφών, εν μέρει λόγω της κλιματικής αλλαγής, καθιστά αναγκαία την προσαρμογή των πολιτικών για το κλίμα, προκειμένου να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τα συστήματα προειδοποίησης καταστροφών. Η βελτίωση των συστημάτων προειδοποίησης περιλαμβάνει την ανάπτυξη πιο ακριβών και αξιόπιστων τεχνικών για έγκαιρη προειδοποίηση, καθώς και τη διάδοση έγκαιρων και αποτελεσματικών ειδοποιήσεων στις ευάλωτες κοινότητες. Η κλιματική πολιτική πρέπει να διασφαλίζει ότι αυτά τα συστήματα είναι προσβάσιμα και διαθέσιμα σε όλους, απαιτώντας συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, ΜΚΟ και άλλων φορέων για να καλύπτουν τις ανάγκες τοπικών κοινοτήτων (Khan et al., 2023).

Πέρα από την ενίσχυση των συστημάτων προειδοποίησης, υπάρχει επίσης ανάγκη για βελτιωμένη ετοιμότητα και ικανότητα αντιμετώπισης καταστροφών. Αυτό συνεπάγεται την ανάπτυξη ειδικών σχεδίων έκτακτης ανάγκης προσαρμοσμένων σε ειδικές καταστροφές και τη διασφάλιση επαρκών πόρων για αποτελεσματική αντιμετώπιση. Συνολικά, η βελτίωση των πολιτικών για το κλίμα στο πλαίσιο των συστημάτων προειδοποίησης καταστροφών απαιτεί συντονισμένη προσπάθεια και συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, ΜΚΟ και άλλων ενδιαφερόμενων φορέων.

1.3 Τεχνολογίες συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης

- Κινητή Τηλεφωνία

Η κινητή τηλεφωνία αποτελεί ένα σύστημα επικοινωνίας το οποίο επιτρέπει την ανταλλαγή φωνής, κειμένου και δεδομένων μέσω της ασύρματης μετάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, παρέχοντας τη δυνατότητα επικοινωνίας χωρίς τη χρήση καλωδίων και ανεξάρτητα από τις γεωγραφικές συνθήκες μιας περιοχής. Αυτή η τεχνολογία βασίζεται σε ένα ασύρματο δίκτυο που αποτελείται από σταθμούς βάσης, κινητά τηλέφωνα και ψηφιακά τηλεφωνικά κέντρα, με τους σταθμούς βάσης να παρέχουν τηλεπικοινωνιακή κάλυψη στις περιοχές εγκατάστασης. Κατά τη διάρκεια μιας κλήσης, σημειώνεται εκπομπή και λήψη ηλεκτρομαγνητικών σημάτων μεταξύ του κινητού τηλεφώνου και του πλησιέστερου σταθμού βάσης, ο οποίος στη συνέχεια μεταβιβάζει την πληροφορία προς τα τηλεφωνικά κέντρα για την ολοκλήρωση της επικοινωνίας.

Ο σταθμός βάσης κινητής τηλεφωνίας αποτελείται από πολυάριθμες εγκαταστάσεις, συμπεριλαμβανομένων κεραιών εκπομπής και λήψης καθώς και ηλεκτρονικού εξοπλισμού για την επεξεργασία των σημάτων. Οι κεραιές αυτές συνήθως τοποθετούνται σε μεταλλικούς πυλώνες ή ιστούς με σκοπό την βελτίωση της ραδιοκάλυψης. Η λειτουργία του σταθμού βάσης περιλαμβάνει τη δημιουργία κυψελών ραδιοκάλυψης που καλύπτουν συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές, με την κάθε κυψέλη να επικαλύπτεται μερικώς με τις γειτονικές για την αποφυγή κενών στην κάλυψη. Η ανάγκη για τροποποίηση της εμβέλειας και του σχήματος των κυψελών προκύπτει από την ανομοιόμορφη γεωγραφία των περιοχών κάλυψης.

Η εκπομπή των κεραιών κινητής τηλεφωνίας χαρακτηρίζεται από κατευθυντικότητα, δηλαδή την εστίαση της ακτινοβολίας σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις, προκειμένου να επιτευχθεί αποτελεσματική επικοινωνία με τα κινητά τηλέφωνα εντός της περιοχής κάλυψης. Αυτή η κατευθυντική εκπομπή επιτρέπει την αποδοτική χρήση της ενέργειας και τη μείωση των παρεμβολών (Paul et al., 2021).

- Δίκτυο 4G

Το δίκτυο 4G αντιπροσωπεύει μια εξέλιξη στις τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας, εισάγοντας μια σειρά από νέες υπηρεσίες και πρότυπα, διασφαλίζοντας συνεχή πρόσβαση για τους χρήστες ακόμα και σε περιπτώσεις απώλειας σύνδεσης με το δίκτυο. Αναφορικά με τις εφαρμογές του, περιλαμβάνονται οι εξής (Hasan et al., 2021; Li, 2022):

1. Tele-geoprocessing εφαρμογές: Συνδυάζουν το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) με το Σύστημα Παγκόσμιας Πλοήγησης (GPS), επιτρέποντας στους χρήστες να προσδιορίζουν τη θέση τους μέσω αναζήτησης, αποτελώντας μια καινοτόμο εφαρμογή.
2. Διαχείριση κρίσεων: Η τεχνολογία 4G έχει την ικανότητα να αποκαθιστά ταχύτατα τα προβλήματα που προκύπτουν στα συστήματα επικοινωνίας λόγω φυσικών καταστροφών, μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο αποκατάστασης από ημέρες ή εβδομάδες σε μερικές ώρες.
3. Εκπαίδευση: Το 4G παρέχει στους χρήστες τη δυνατότητα δια βίου εκπαίδευσης μέσω του διαδικτύου, ανεξαρτήτως της γεωγραφικής τους θέσης, με οικονομικό και αποδοτικό τρόπο. Στο πλαίσιο των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης, η τεχνολογία 4G μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενημέρωση των πολιτών.

Ως προς τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κινητής τηλεφωνίας 4G:

Πλεονεκτήματα:

- Υψηλές ταχύτητες σε κατέβασμα (download) και ανέβασμα (upload) δεδομένων, φτάνοντας τα 500 Mbps και 1 Gbps αντίστοιχα.
- Ευρύτερη μπάνα συχνοτήτων σε σύγκριση με το 3G και προηγούμενες τεχνολογίες, κυμαινόμενη από 2 έως 8 GHz.
- Παροχή υπηρεσιών με υψηλή ποιότητα και αξιοπιστία.
- Μειωμένη καθυστέρηση συγκριτικά με προηγούμενες τεχνολογίες.

Μειονεκτήματα:

- Υψηλό αρχικό κόστος για την εγκατάσταση των παροχών υπηρεσιών και τις αναβαθμίσεις εξοπλισμού από τους καταναλωτές.
- Περιορισμένη χρήση διαδικτύου λόγω της υψηλότερης κατανάλωσης δεδομένων.
- Τεχνολογία Wi-Fi

Η τεχνολογία Wi-Fi ανήκει στην κατηγορία των ασύρματων τεχνολογιών επικοινωνίας και χρησιμοποιείται ευρέως σε ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN). Επιτρέπει σε συσκευές όπως tablets και smartphones να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους και να προσφέρουν

πρόσβαση στο διαδίκτυο, προσφέροντας μια πληθώρα ιδιαιτεροτήτων και χαρακτηριστικών με στόχο την απλοποίηση των ασύρματων συνδέσεων μεταξύ συσκευών (Alnashwan & Mokhtar, 2019).

Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Wi-Fi περιλαμβάνουν:

- Κινητικότητα του χρήστη, επιτρέποντας την ελεύθερη κίνηση και πρόσβαση στο διαδίκτυο.
- Ευκολία, ευελιξία και απλότητα στην εγκατάσταση, μειώνοντας την ανάγκη για περίπλοκες υποδομές.
- Επεκτασιμότητα του δικτύου, επιτρέποντας την προσθήκη νέων συσκευών χωρίς σημαντικές αλλαγές στις υποδομές.
- Χαμηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.
- Αυξημένη παραγωγικότητα λόγω της ευελιξίας που παρέχει στον χρήστη

Μειονεκτήματα της τεχνολογίας Wi-Fi περιλαμβάνουν:

- Σχεδιασμός για εφαρμογές μικρής ακτίνας και κυρίως εσωτερικού χώρου, περιορίζοντας την εξωτερική χρήση του.
- Επισφαλής ασφάλεια σε σύγκριση με ενσύρματες λύσεις, απαιτώντας επιπρόσθετα μέτρα προστασίας.
- Μειωμένη αξιοπιστία λόγω επιρροής από παρεμβολές και άλλα ασύρματα δίκτυα.
- Μη ικανοποιητικές ταχύτητες μετάδοσης σε σύγκριση με ενσύρματες συνδέσεις, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα με υψηλές απαιτήσεις δεδομένων.

Η ανάλυση αυτή των χαρακτηριστικών, πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της τεχνολογίας Wi-Fi υπογραμμίζει την ευρεία εφαρμογή της σε διάφορα περιβάλλοντα, αν και αναδεικνύει τις προκλήσεις στην εξασφάλιση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας στις ασύρματες επικοινωνίες.

- Global System for Mobile Communications

Η τεχνολογία GSM (Global System for Mobile Communications) είναι ένα πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας που επιτρέπει στους συνδρομητές να διατηρούν συνεχή σύνδεση

κατά τη μετακίνησή τους εντός και μεταξύ των κελιών επικοινωνίας, υποστηρίζοντας μετακινήσεις με ταχύτητες έως και 240 χιλιομέτρων ανά ώρα. Η συχνότητα εκπομπής από τους σταθμούς βάσης κυμαίνεται μεταξύ 935-960 MHz, ενώ η λήψη από τους κινητούς σταθμούς γίνεται στην περιοχή 890-915 MHz. Η τεχνολογία υποστηρίζει την πολλαπλή πρόσβαση μέσω διαίρεσης συχνότητας (FDMA), επιτρέποντας στον κάθε σταθμό βάσης να διαχειρίζεται πολλαπλά κανάλια ταυτόχρονα (Satria et al., 2019).

Μειονεκτήματα της τεχνολογίας GSM περιλαμβάνουν:

- Πιθανή παραμόρφωση της ομιλίας λόγω της ψηφιακής επεξεργασίας και μετάδοσης δεδομένων.
- Περιορισμένη εμβέλεια επικοινωνίας, με την απόσταση να μην υπερβαίνει τα 120 χιλιόμετρα από τον πλησιέστερο σταθμό βάσης.
- Καθυστέρηση στην εύρυθμη μετάδοση δεδομένων.

Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας GSM περιλαμβάνουν:

- Επικοινωνία υψηλής ποιότητας, προσφέροντας σταθερή και αξιόπιστη συνδεσιμότητα.
- Παγκόσμια διάδοση και υποστήριξη, καθιστώντας το GSM σύστημα ευρέως αποδεκτό και χρησιμοποιούμενο.
- Εκτεταμένη κάλυψη σε πολλές περιοχές του κόσμου, διασφαλίζοντας τη συνεχή επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις.
- Απουσία χρεώσεων περιαγωγής για διεθνείς κλήσεις, προσφέροντας στους χρήστες οικονομικά προσιτή επικοινωνία σε διεθνές επίπεδο.

Η τεχνολογία GSM, ως ένα από τα πρώτα πρότυπα για την κινητή τηλεφωνία, έχει συμβάλει σημαντικά στην εξέλιξη των ασύρματων επικοινωνιών, παρά τις προκλήσεις σε ό,τι αφορά την ποιότητα της ομιλίας και την εμβέλεια επικοινωνίας. Η ευρεία αποδοχή και η παγκόσμια κάλυψη του GSM το κατατάσσουν ως ένα από τα πλέον σημαντικά και επιτυχημένα συστήματα στην ιστορία των τηλεπικοινωνιών.

Τα δίκτυα LPWAN (Low Power Wide Area Network) αποτελούν κρίσιμο συστατικό στην ανάπτυξη του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), προσφέροντας τη δυνατότητα σύνδεσης εκατομμυρίων συσκευών σε ευρείας κλίμακας δίκτυα με στόχο την ανταλλαγή δεδομένων.

Χαρακτηρίζονται από την χαμηλή κατανάλωση ισχύος και την ευρεία κάλυψη, καθιστώντας τα ιδανικά για εφαρμογές όπου αυτοί οι παράγοντες είναι κρίσιμης σημασίας. Οι τεχνολογίες LPWAN έχουν εντοπιστεί ως καταλληλότερες για τον τομέα του βιομηχανικού IoT, λόγω του συνδυασμού χαμηλού κόστους και υψηλής απόδοσης ισχύος (Lavric et al., 2019; Qi et al., 2021; Rastogi & Sharma, 2022).

Οι τέσσερις βασικές τεχνολογίες LPWAN που κυριαρχούν στην αγορά είναι:

1. **LoRa (Long Range):** Τεχνολογία που υποστηρίζει μακρινές ασύρματες επικοινωνίες με χαμηλή κατανάλωση, καθιστώντας την ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν μεγάλης εμβέλειας σύνδεση και μακροχρόνια διάρκεια μπαταρίας.
2. **SigFox:** Αναπτύσσει δίκτυα που επιτρέπουν σε συσκευές να συνδέονται στο διαδίκτυο μέσω μιας απλής και εξαιρετικά αποδοτικής μεθόδου επικοινωνίας, εστιάζοντας σε εφαρμογές με χαμηλές απαιτήσεις δεδομένων.
3. **Nb-IoT (Narrowband IoT):** Πρότυπο που προσφέρει βελτιωμένη εσωτερική κάλυψη, υποστήριξη μεγάλου αριθμού συνδέσεων, χαμηλή κατανάλωση και χαμηλό κόστος.
4. **LTE-M (LTE for Machines):** Παρέχει ταχύτητες μετάδοσης υψηλότερες σε σύγκριση με το Nb-IoT και υποστηρίζει κινητικότητα, φωνή και δεδομένα.

Πέραν των βασικών τεχνολογιών LPWAN, αναπτύσσονται και άλλες τεχνολογίες που συμβάλλουν στην ανάπτυξη του IoT, όπως:

- **Zigbee:** Πρότυπο για ασύρματα δίκτυα που προσφέρει χαμηλή κατανάλωση και είναι κατάλληλο για εφαρμογές με απαιτήσεις μικρής εμβέλειας και χαμηλού όγκου δεδομένων.
- **MQTT (Message Queuing Telemetry Transport):** Ένα ελαφρύ πρωτόκολλο μηνυμάτων που είναι ιδανικό για συσκευές IoT με περιορισμένους πόρους.
- **REST API (Representational State Transfer Application Programming Interface):** Μια αρχιτεκτονική που επιτρέπει την επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ διαφορετικών συστημάτων στο διαδίκτυο, καθιστώντας την κατάλληλη για εφαρμογές IoT.

Τα δίκτυα LPWAN και οι συναφείς τεχνολογίες παρέχουν ένα σταθερό θεμέλιο για την ανάπτυξη και επέκταση του Διαδικτύου των Πραγμάτων, επιτρέποντας την αποδοτική και οικονομικά αποδοτική σύνδεση μεγάλου αριθμού συσκευών σε ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Η τεχνολογία SigFox αποτελεί μία πρωτοποριακή ανάπτυξη στον τομέα των δικτύων LPWAN (Low Power Wide Area Network), επικεντρωμένη στην παροχή ευρείας κάλυψης με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χωρίς την ανάγκη για επιβαρυντικές χρεώσεις. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία στενής ζώνης (Narrowband) μέσω της διαμόρφωσης μετατόπισης κατά φάση (BPSK), διαθέτει μια ζώνη συχνοτήτων 192 kHz για την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των συσκευών και του cloud. Η διαθέσιμη ζώνη συχνοτήτων κυμαίνεται από 862 έως 928 MHz, με την τεχνολογία να λειτουργεί σε διάφορες περιοχές συχνοτήτων ανάλογα με τη γεωγραφική θέση, όπως 915 kHz στην Ευρώπη και 868 MHz στην Αμερική. Το σημαντικό πλεονέκτημα της τεχνολογίας είναι η χρήση μιας ζώνης χωρίς άδεια, μειώνοντας το κόστος και την κατανάλωση ενέργειας για τις συσκευές.

Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας SigFox περιλαμβάνουν:

- Εφαρμογή σε πολλά πεδία όπως η έξυπνη πόλη, μετρήσεις, αυτοκινητοβιομηχανία κ.ά.
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας που συμβάλλει σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.
- Υποστήριξη ευρείας περιοχής κάλυψης, ιδανική για εφαρμογές με χαμηλό ρυθμό δεδομένων.
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας και ιδιοκτησίας.
- Ενσωμάτωση αλγορίθμων για προστασία από διαφορετικούς τύπους παρεμβολών [30].

Μειονεκτήματα της τεχνολογίας SigFox περιλαμβάνουν:

- Έλλειψη χρήσης τεχνικών όπως το CSMA για την ανίχνευση και αποφυγή σύγκρουσης.
- Μονόδρομη επικοινωνία χωρίς αναγνώριση, αυξάνοντας την κατανάλωση ενέργειας λόγω πολλαπλών μεταδόσεων.
- Περιορισμένη υποστήριξη δεδομένων, καθιστώντας την ακατάλληλη για εφαρμογές με υψηλό ρυθμό δεδομένων.
- Ζητήματα παρεμβολών και ανακρίβειες συχνότητας σε κινητικά περιβάλλοντα [30].

Η τεχνολογία SigFox, παρόλα τα μειονεκτήματά της, αποτελεί μια σημαντική πρόοδο στον τομέα των δικτύων LPWAN, προσφέροντας μια οικονομικά αποδοτική λύση για τη σύνδεση συσκευών IoT σε ευρείας κλίμακας με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

Η τεχνολογία Narrowband IoT (Nb-IoT) αναπτύχθηκε ως μέρος των δικτύων LPWAN, στοχεύοντας στην ανάγκη για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και ευρεία κάλυψη. Βασισμένη στην τεχνολογία στενής ζώνης, το Nb-IoT υποστηρίζεται από το πρόγραμμα συνεργασίας τρίτης γενιάς (3GPP) και βρίσκεται υπό δοκιμή στην Ευρώπη. Επιτρέπει τη συνύπαρξη με τα δίκτυα GSM και LTE, χρησιμοποιώντας ζώνες συχνοτήτων με άδεια, όπως τα 700 MHz, και στοχεύει στη μείωση των λειτουργιών πρωτοκόλλου στο ελάχιστο για τη βελτιστοποίηση των εφαρμογών IoT. Για την ανερχόμενη και κατερχόμενη ζεύξη, το Nb-IoT χρησιμοποιεί την διαμόρφωση FDMA για μονού φορέα και OFDMA αντίστοιχα, προσφέροντας ευελιξία στη μετάδοση δεδομένων.

Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας Nb-IoT περιλαμβάνουν:

- Υψηλή επεκτασιμότητα, ποιότητα υπηρεσίας και ασφάλεια λόγω της χρήσης ασύρματων δικτύων κινητής τηλεφωνίας.
- Παροχή μακροχρόνιας διάρκειας μπαταρίας χάρη στη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.
- Υποστήριξη από φορείς εκμετάλλευσης δικτύου σε Ευρώπη και Ασία.
- Δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις με χαμηλούς ρυθμούς bit.
- Οικονομική διαθεσιμότητα των μονάδων Nb-IoT

Μειονεκτήματα της τεχνολογίας Nb-IoT περιλαμβάνουν:

- Περιορισμένος ρυθμός δεδομένων σε σύγκριση με το LTE, καθιστώντας την κατάλληλη μόνο για σταθερές συσκευές.
- Απουσία υποστήριξης περιαγωγής, σε αντίθεση με τεχνολογίες όπως το LTE-M και το SigFox.

Συνολικά, η τεχνολογία Nb-IoT προσφέρει μια αποδοτική λύση για τη σύνδεση συσκευών IoT σε ευρείας κλίμακας δίκτυα, παρέχοντας βελτιωμένη επεκτασιμότητα, ασφάλεια και διάρκεια ζωής της μπαταρίας, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί το κόστος σε χαμηλά επίπεδα.

Η τεχνολογία LoRa (Long Range) εντάσσεται στην κατηγορία των δικτύων LPWAN, ξεχωρίζοντας για την ικανότητά της να υποστηρίζει επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Αναπτύχθηκε με τη συνεργασία της IBM και της Semtech, προσφέροντας μια σημαντική λύση για εφαρμογές που απαιτούν μεταφορά πακέτων δεδομένων σε συγκεκριμένους χρόνους. Το LoRa λειτουργεί σε ζώνες ISM 433, 868 ή 915

MHz, αναλόγως της τοπικής νομοθεσίας, παρέχοντας ρυθμούς μετάδοσης από 0,25 kbps έως 50kbps και επιτρέποντας συνδέσεις μεγάλης εμβέλειας.

Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας LoRa περιλαμβάνουν:

- Διεθνής διαθεσιμότητα χάρη στη χρήση των ζωνών ISM 868 MHz / 915 MHz.
- Εξαιρετική εμβέλεια κάλυψης, φτάνοντας τα 5 χιλιόμετρα σε αστικές περιοχές και τα 15 χιλιόμετρα σε προαστιακές.
- Ευρεία χρήση σε εφαρμογές M2M και IoT.
- Υποστήριξη πολλαπλών τύπων συσκευών (τάξη A, B, και C), προσφέροντας ευελιξία.
- Χαμηλή κατανάλωση ισχύος, επιτρέποντας τη μακροχρόνια χρήση μπαταρίας.
- Ευκολία ανάπτυξης λόγω της απλής αρχιτεκτονικής του [35].

Μειονεκτήματα της τεχνολογίας LoRa περιλαμβάνουν:

- Περιορισμένη καταλληλότητα για εφαρμογές με απαιτήσεις υψηλότερων ρυθμών δεδομένων, λόγω του μέγιστου ρυθμού 27 kbps.
- Περιορισμοί στο μέγεθος του δικτύου λόγω των κανονισμών σχετικά με τον κύκλο λειτουργίας, ο οποίος καθορίζει το ποσοστό του χρόνου που μπορεί να καταλαμβάνει το κανάλι.
- Μη ιδανική επιλογή για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλή καθυστέρηση [35].

Συνοπτικά, η τεχνολογία LoRa προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα για την υλοποίηση ευρείας κάλυψης και χαμηλής κατανάλωσης εφαρμογών IoT, παρά τους περιορισμούς στους ρυθμούς δεδομένων και την καθυστέρηση.

Η τεχνολογία LTE-M (Long Term Evolution for Machines) αποτελεί μια εξέλιξη των προτύπων 3GPP, σχεδιασμένη να λειτουργεί εντός του φάσματος LTE με άδεια χρήσης. Αυτή η τεχνολογία καθιστά δυνατή την αύξηση της χωρητικότητας και της ταχύτητας των δικτύων μέσω της υιοθέτησης καινοτόμων τεχνικών διαμόρφωσης. Με δυνατότητες υποστήριξης λήψεων έως και 300 Mbps και περαιτέρω, ανάλογα με τα πειράματα, το LTE-M στοχεύει στην παροχή υψηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων με την όσο το δυνατόν χαμηλότερη καθυστέρηση [40].

Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας LTE-M περιλαμβάνουν:

SigFox	862-928 MHz	Μικρός ρυθμός	Μεγάλη	Χαμηλή	Χαμηλό	Ναι	Μονόδρομη επικοινωνία
Nb-IoT	700 MHz κ.ά.	Μέχρι 250 kbps	Μεγάλη	Χαμηλή	Μέτριο	Ναι	Υποστηρίζει την περιαγωγή
LoRa	433/868/915 MHz	0,3-50 kbps	Μεγάλη	Χαμηλή	Μέτριο	Ναι	Υποστηρίζει πολλαπλούς τύπους συσκευών
Zigbee	2,4 GHz	20-250 kbps	Μικρή	Μέτρια	Μέτριο	Κυρίως εσωτερικές εφαρμογές	Υψηλή επεκτασιμότητα
LTE-M	LTE ζώνη	Μέχρι 300 Mbps	Μεγάλη	Μέτρια-Υψηλή	Υψηλό	Ναι	Υψηλότερος ρυθμός δεδομένων

(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Οι πληροφορίες παραπάνω είναι συνοπτικές και γενικευμένες. Η πραγματική απόδοση και κόστος μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με την εφαρμογή, την τοποθεσία και άλλους παράγοντες.

Κεφάλαιο 2ο. Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

2.1 Ορισμός και συστατικά στοιχεία του IoT

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) αποτελεί έναν τεχνολογικό τομέα που χαρακτηρίζεται από την ενσωμάτωση φυσικών συσκευών στο διαδίκτυο, επιτρέποντας την επικοινωνία και αλληλεπίδραση μεταξύ τους. Σύμφωνα με τη μελέτη των Dorsemaine et al. (2015), το IoT ενσωματώνει δισεκατομμύρια ετερογενώς συνδεδεμένες συσκευές, δημιουργώντας ένα εκτεταμένο δίκτυο που συνδυάζει φυσικές οντότητες και εικονικά στοιχεία. Αυτή η τεχνολογία θεωρείται κρίσιμο στοιχείο του Διαδικτύου του μέλλοντος και προσφέρει νέες δυνατότητες στα συνδεδεμένα αντικείμενα (Li et al., 2015).

Οι τεχνολογίες όπως το RFID και τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) παίζουν ζωτικό ρόλο στη διασύνδεση των συσκευών του IoT, ανοίγοντας το δρόμο για την ανάπτυξη εφαρμογών που εκμεταλλεύονται αυτήν την τεχνολογία. Το IoT είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς επιτρέπει την συλλογή, την ανάλυση και την επεξεργασία δεδομένων από αυτές τις συσκευές, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια της λήψης αποφάσεων σε διάφορους τομείς, όπως η υγειονομική περίθαλψη, η διαχείριση πόρων και η παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων (Dorsemaine et al., 2015). Η ευρεία χρήση του IoT οδηγεί στη συλλογή πλούσιων δεδομένων, παρέχοντας πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προβλέψεις και βελτιώσεις στις διαδικασίες.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι δεν υπάρχει ενιαίος ορισμός του IoT, καθώς η έννοια εξελίσσεται διαρκώς και εξαρτάται από το πλαίσιο εφαρμογής της. Οι διαφορετικές ερμηνείες και προσεγγίσεις του IoT αναδεικνύουν την πολυπλοκότητα και τη δυναμική του ως οικοσυστήματος. Η κατανόηση της ουσίας και των συστατικών των οικοσυστημάτων IoT είναι θεμελιώδης για την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων τους. Η επιτυχία του IoT εξαρτάται από την ανάπτυξη και την εφαρμογή των οικοσυστημάτων από τις επιχειρήσεις, καθώς και από την παροχή εφαρμογών και υπηρεσιών που στοχεύουν στις τεχνολογίες IoT (Mazhelis et al., 2012).

Η τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) ενσωματώνει μια ποικιλία ετερογενών συσκευών και αντικειμένων που είναι διάχυτα σε όλο το φυσικό περιβάλλον, επιτρέποντας τη διασύνδεση μέσω του διαδικτύου. Αυτά τα αντικείμενα διαθέτουν

διαφορετικές ικανότητες σύνδεσης και υπολογισμού, δημιουργώντας έναν κυβερνο-φυσικό κόσμο όπου κάθε αντικείμενο είναι δυνατόν να εντοπιστεί, να ενεργοποιηθεί, να διερευνηθεί και να συνδεθεί (Nitti et al., 2015; Dhiviya et al., 2018).

Στο πλαίσιο του IoT, τα εικονικά αντικείμενα αποτελούν μια ζωτική έννοια, καθώς παρέχουν το ψηφιακό ανάλογο πραγματικών οντοτήτων, επιτρέποντας την ανακάλυψη και τη σύνθεση υπηρεσιών και ενθαρρύνοντας τη δημιουργία πολύπλοκων εφαρμογών. Αυτά τα αντικείμενα συμβάλλουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας στην ενεργειακή διαχείριση και αντιμετωπίζουν ζητήματα ετερογένειας και επεκτασιμότητας (Nitti et al., 2015).

Ωστόσο, η ταχεία εξάπλωση και υιοθέτηση του IoT παρουσιάζει πολλαπλές προκλήσεις που αφορούν τη συνδεσιμότητα, την ασφάλεια, την επεξεργασία δεδομένων και την επεκτασιμότητα. Αυτές οι προκλήσεις πρέπει να αντιμετωπιστούν με τρόπο που εγγυάται την ασφαλή και αποτελεσματική εξέλιξη της τεχνολογίας (Firouzi et al., 2020). Το IoT συνδυάζει τα έξυπνα αντικείμενα με δίκτυα, cloud υπηρεσίες και εφαρμογές, όπου αξιοποιούνται οι συλλεγόμενες πληροφορίες για τη βελτίωση διαδικασιών και τη δημιουργία νέων δυνατοτήτων (Firouzi et al., 2020). Συνολικά, το IoT αποτελεί ένα σύνθετο και δυναμικό οικοσύστημα που εξελίσσεται συνεχώς, επιφέροντας τεχνολογικές καινοτομίες και παρέχοντας νέες ευκαιρίες σε μια ευρεία γκάμα τομέων και εφαρμογών.

Οι συσκευές Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) συνεργάζονται μέσω ενός σύνθετου συστήματος που ενσωματώνει αισθητήρες, ενεργοποιητές και πυλώνες, οι οποίοι επιτρέπουν τη σύνδεση με υπηρεσίες cloud και κέντρα δεδομένων. Η ολοκλήρωση αυτή επιτυγχάνεται μέσω λογισμικού και πρωτοκόλλων πολυεπιπέδων που διευκολύνουν την επικοινωνία των αισθητήρων και ενεργοποιητών με τα κέντρα δεδομένων μέσω των πυλών ή ενδιάμεσων κόμβων (Truong & Dustdar, 2015).

Οι πλατφόρμες IoT, όπως το Pacific Controls Galaxy και το Xively, παίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασύνδεση των φυσικών και ψηφιακών κόσμων, μετατρέποντας τα δεδομένα σε εντολές που είναι ικανές για δράση και επιτρέποντας έτσι τη λειτουργικότητα των συσκευών IoT (Guth et al., 2018). Για την υποστήριξη της αλληλεπίδρασης σε συστήματα IoT, απαιτείται ένα ευέλικτο πλαίσιο με επίγνωση σύνδεσης. Ένα τέτοιο πλαίσιο περιλαμβάνει ένα επίπεδο API που χρησιμοποιεί εξωτερικούς συναρμολογητές υπηρεσιών, ελεγκτές υπηρεσιών, στοιχεία παρακολούθησης υπηρεσιών και δρομολογητές υπηρεσιών για τον συντονισμό διαδικασιών δημοσίευσης, συνδρομής, αποσύνδεσης και συνδυασμού υπηρεσιών (Uviase & Kotonya, 2018).

Η Αρχιτεκτονική Προσανατολισμένη στις Υπηρεσίες (Service Oriented Architecture - SOA) παρέχει ένα μοντέλο που επιτρέπει τη χρήση και την επαναχρησιμοποίηση των υπηρεσιών IoT με τρόπο χαλαρά συνδεδεμένο, μειώνοντας τα προβλήματα ολοκλήρωσης συστημάτων (Uviase & Kotonya, 2018). Αυτά τα διαφορετικά στοιχεία των πλατφορμών IoT μπορούν να ενσωματωθούν σε μια ενιαία αρχιτεκτονική αναφοράς, η οποία επιτρέπει τη λειτουργική συνεργασία των συσκευών IoT (Guth et al., 2018).

Οι συσκευές IoT ενεργοποιούνται μέσω της συνεργασίας των βασικών τους στοιχείων: δικτυωμένοι αισθητήρες και ενεργοποιητές, καταστήματα ακατέργαστων και επεξεργασμένων δεδομένων, καθώς και μηχανές ανάλυσης και υπολογισμού (Kumar & Mallick, 2018). Η αρχιτεκτονική του IoT βασίζεται σε τέσσερα κύρια στοιχεία: Τα Πράγματα, τις Πύλες, την Υποδομή Δικτύου και την Υποδομή Cloud, που λειτουργούν συνεργατικά για να υποστηρίξουν την ενεργοποίηση των συσκευών IoT (Kumar & Mallick, 2018).

2.2 Τεχνολογία IoT για Περιβαλλοντική Παρακολούθηση

Η τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα στην επανάσταση της περιβαλλοντικής παρακολούθησης. Αυτή η τεχνολογία, η οποία ενσωματώνει ασύρματους αισθητήρες που συνδέονται μέσω Wi-Fi και Bluetooth Smart, επιτρέπει τη συλλογή και την απεικόνιση δεδομένων από απομακρυσμένες τοποθεσίες, προσφέροντας έτσι μια ισχυρή επισκόπηση των περιβαλλοντικών συνθηκών (Mois et al., 2017).

Σύμφωνα με τις ερευνητικές μελέτες των Fang et al. (2014), η τεχνολογία IoT-AI (υποδομή εφαρμογών IoT) χρησιμοποιείται στα Ολοκληρωμένα Πληροφοριακά Συστήματα (IIS) για την παρακολούθηση και τη διαχείριση του περιβάλλοντος. Αυτό περιλαμβάνει την εφαρμογή τεχνολογιών API στο ενδιάμεσο λογισμικό των IIS, καθώς και τη χρήση αισθητήρων και web υπηρεσιών για τη συλλογή δεδομένων.

Η εφαρμογή της τεχνολογίας IoT στον γεωργικό τομέα έχει φέρει μια επανάσταση, προσφέροντας νέες δυνατότητες για διαχείριση και παρακολούθηση, καθώς και για την ανάπτυξη μη επανδρωμένων μηχανημάτων (Kim et al., 2020). Η χρήση τεχνολογιών ασύρματης επικοινωνίας στη γεωργία βασισμένη στο IoT βελτιώνει τη μετάδοση δεδομένων, ενώ η απαιτούμενη μικρότερη ισχύς επεξεργασίας των συσκευών IoT καθιστά τις ιδανικές για εφαρμογές τηλεπισκόπησης στη γεωργία (Mirani et al., 2017). Η αποτελεσματική χρήση των φυσικών πόρων, η βελτίωση της περιβαλλοντικής ασφάλειας και βιωσιμότητας είναι επίσης σημαντικά οφέλη της υιοθέτησης της τεχνολογίας IoT στη γεωργία. Μέσω της ανάλυσης

δεδομένων, το IoT μπορεί να βοηθήσει στην αυτοματοποίηση της γεωργίας, μειώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο και εργασία, ενώ παράλληλα βελτιώνει την αποδοτικότητα και παραγωγικότητα (Kim et al., 2020; Elijah et al., 2018).

Επιπλέον, η τεχνολογία IoT μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της ποιότητας και παραγωγής των καλλιεργειών, προάγοντας την επισιτιστική ασφάλεια και αντιμετωπίζοντας τις προκλήσεις από την αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση και τους περιορισμένους φυσικούς πόρους (Kim et al., 2020; Elijah et al., 2018). Η αλληλεπίδραση μεταξύ του IoT και της ανάλυσης δεδομένων δημιουργεί ευκαιρίες για έξυπνη γεωργία και περιβαλλοντική παρακολούθηση, οδηγώντας σε αλλαγή από τη χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων στο IoT (Elijah et al., 2018). Ως εκ τούτου, η χρήση της τεχνολογίας IoT έχει τεράστιες δυνατότητες στους κλάδους της γεωργίας και της περιβαλλοντικής παρακολούθησης, οδηγώντας σε καλύτερη λειτουργική απόδοση, παραγωγικότητα και βιωσιμότητα.

Η τεχνολογία IoT εφαρμόζεται επίσης σε ποικίλους τομείς, όπως η ανάλυση εικόνων τηλεπισκόπησης, η πρόβλεψη επιπέδων ρύπανσης και η αξιολόγηση της ποιότητας νερού μέσω τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης (Ulló & Sinha, 2020). Οι έξυπνοι αισθητήρες και τα δίκτυα αισθητήρων επιτρέπουν την παρακολούθηση της ποιότητας του νερού, της υγρασίας του εδάφους, της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της θερμοκρασίας, συμβάλλοντας στην ακριβέστερη και αποτελεσματική παρακολούθηση του περιβάλλοντος (Hassan et al., 2020).

Σε πιο πρόσφατες μελέτες, η τεχνολογία IoT έχει δείξει να βελτιώνει σημαντικά τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων, ειδικά στο θαλάσσιο περιβάλλον. Η ενοποίηση των επιλογών παροχής και συλλογής ενέργειας, η εξέταση των πρωτοκόλλων επικοινωνίας, και η διανομή κόμβων και συστημάτων πρόσδεσης βελτιώνουν την ανάλυση δεδομένων σε σύγκριση με παραδοσιακές μεθόδους (Xu et al., 2019). Η αυτονομία, η προσαρμοστικότητα, και οι δυνατότητες αυτοθεραπείας της τεχνολογίας IoT συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση της προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Επομένως, η τεχνολογία IoT αποτελεί ένα κρίσιμο εργαλείο στην επιτυχία της περιβαλλοντικής παρακολούθησης και διαχείρισης, προσφέροντας ευρύ φάσμα εφαρμογών για την προστασία και τη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος.

Στον τομέα της περιβαλλοντικής παρακολούθησης, η τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) προσφέρει πολλαπλές εφαρμογές που συμβάλλουν σημαντικά στην παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, τη διαχείριση των υδάτων και τη διατήρηση της άγριας ζωής. Σύμφωνα με τις μελέτες των Abraham et al. (2017), τα συστήματα IoT εφαρμόζονται για τη μέτρηση

διαφόρων ρύπων στον αέρα σε πραγματικό χρόνο, παρέχοντας κρίσιμα δεδομένα για αναλύσεις και λήψεις αποφάσεων.

Στο πεδίο της διαχείρισης των υδάτων, η χρήση του IoT προσφέρει ευκαιρίες για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με την ποιότητα, την ποσότητα και την κατανάλωση του νερού. Οι λύσεις IoT που έχουν αναπτυχθεί για την παρακολούθηση του νερού περιλαμβάνουν καινοτόμες και αξιόπιστες στρατηγικές που ενσωματώνουν την υπάρχουσα υποδομή επικοινωνίας για ευφυείς εφαρμογές. Ωστόσο, η καθιέρωση των εμπορικών συστημάτων IoT για την παρακολούθηση του νερού έχει περιοριστεί λόγω του υψηλού κόστους και της κλειστής αρχιτεκτονικής, γεγονός που δυσκολεύει την ευρεία χρήση τους, ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες (Jan et al., 2021).

Στη διατήρηση της άγριας ζωής, το IoT παρέχει πολύτιμα δεδομένα για την κίνηση, τη συμπεριφορά και τον βίοτοπο των ζώων, επιτρέποντας τον αποτελεσματικό σχεδιασμό και την υλοποίηση πολιτικών περιβαλλοντικής διαχείρισης. Οι τεχνικές παρακολούθησης βασισμένες στο IoT είναι καθοριστικές για την προστασία του περιβάλλοντος, ιδιαίτερα σε δύσβατες και απομακρυσμένες περιοχές. Τα συστήματα IoT επιτρέπουν τη συλλογή μεγάλων όγκων δεδομένων, τα οποία μπορούν να παρουσιαστούν μέσω γραφικών διεπαφών χρήστη, προσφέροντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τις περιοχές υπό παρακολούθηση. Η χρήση τεχνολογίας IoT επιτρέπει τον καθορισμό ορίων παραμέτρων και την ενεργοποίηση ειδοποιήσεων σε περίπτωση αποκλίσεων.

Οι τεχνικές AIoT (Τεχνητή Νοημοσύνη και Διαδίκτυο των Πραγμάτων) έχουν επίσης εφαρμοστεί για την παρακολούθηση της απόρριψης ρύπων και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας στα γλυκά νερά. Ειδικότερα, η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού με βάση το IoT, γνωστή ως έξυπνη παρακολούθηση ποιότητας νερού (IoT-WQMS), έχει αναπτυχθεί για την εφαρμογή της σε οικιακούς, γεωργικούς και βιομηχανικούς τομείς, καθώς και σε λίμνες και ποτάμια. Φορητοί αισθητήρες, ψηφιακές υπολογιστικές συσκευές και εργαλεία επικοινωνίας χρησιμοποιούνται για την επίτευξη αυτών των στόχων, προσφέροντας αποτ. τελεσματικές λύσεις για τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό και τη χάραξη πολιτικής (Jan et al., 2021). Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την ακριβή και συνεχή παρακολούθηση των παραμέτρων ποιότητας του νερού, όπως η θερμοκρασία, το pH, η διαλυμένη οξυγόνωση, και άλλες χημικές ουσίες, παρέχοντας έτσι έναν αξιόπιστο τρόπο παρακολούθησης και διαχείρισης των υδάτινων πόρων.

Αναφορικά με την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, τα συστήματα IoT ενσωματώνουν αισθητήρες για τη μέτρηση επιπέδων ρύπων όπως οξείδια του αζώτου, θειικά αέρια, μικροσωματίδια και άλλους αέριους ρύπους. Αυτοί οι αισθητήρες παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, βοηθώντας στην ακριβή καταγραφή και ανάλυση της ποιότητας του αέρα, καθιστώντας δυνατή τη λήψη έγκαιρων και ενημερωμένων αποφάσεων για τη διαχείριση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Στο πλαίσιο της διατήρησης της άγριας ζωής, το IoT βοηθά στην παρακολούθηση και στην καταγραφή δεδομένων που αφορούν την κίνηση, τη συμπεριφορά και τον βιότοπο των άγριων ζώων. Χρησιμοποιώντας τηλεμετρικές συσκευές, κάμερες και άλλους αισθητήρες, οι ερευνητές μπορούν να παρακολουθούν τις ζωικές πληθυσμούς και να καταγράφουν σημαντικές πληροφορίες για τη διατήρηση των ειδών και τη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος. Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο μέσω των συστημάτων IoT επιτρέπει επίσης την πρόληψη της λαθροθηρίας και την ανάλυση των αλλαγών στο περιβάλλον που μπορεί να επηρεάζουν τα άγρια ζώα.

Συνοψίζοντας, η τεχνολογία IoT παρέχει πολύτιμα εργαλεία για την ενίσχυση των διαδικασιών περιβαλλοντικής παρακολούθησης και διαχείρισης. Μέσω της εφαρμογής της στην παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, τη διαχείριση των υδάτων και τη διατήρηση της άγριας ζωής, το IoT διευκολύνει τη συλλογή μεγάλων όγκων δεδομένων και την ανάλυσή τους, επιτρέποντας πιο ενημερωμένες και αποτελεσματικές αποφάσεις για την προστασία και βιωσιμότητα του περιβάλλοντος.

Κεφάλαιο 3ο. Εφαρμογές του IoT στην Προειδοποίηση Φυσικών Καταστροφών

3.1 Εφαρμογές Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στην Έγκαιρη Προειδοποίηση Φυσικών Καταστροφών

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) στην πρόληψη και πρόβλεψη φυσικών καταστροφών αποτελεί μία εξαιρετικά σημαντική καινοτομία. Συγκεκριμένα, τα συστήματα IoT μπορούν να αξιοποιηθούν για την έγκαιρη προειδοποίηση και πρόβλεψη διαφόρων φυσικών απειλών. Ένα παράδειγμα αυτής της τεχνολογίας είναι το σύστημα SENDI (Sensor Network for Disaster Information), το οποίο

ανιχνεύει και προβλέπει φυσικές καταστροφές μέσω της συλλογής δεδομένων από διάφορες πηγές όπως αισθητήρες, δορυφόροι και κάμερες (Furquim et al., 2018).

Τα δεδομένα που συλλέγονται μέσω συσκευών IoT αναλύονται με την χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (Machine Learning), επιτρέποντας την έγκαιρη πρόβλεψη και αντίδραση σε πιθανές καταστροφές. Αυτό μεταφράζεται σε αποτελεσματικότερη παρακολούθηση και προειδοποίηση σε πραγματικό χρόνο, μειώνοντας τον αντίκτυπο των καταστροφικών γεγονότων (Furquim et al., 2018).

Η ανάπτυξη και η χρήση τεχνολογιών όπως το Edge Computing και το Cloud Computing είναι σημαντικές για την μείωση του λανθάνοντος χρόνου και την βελτίωση της επεξεργασίας δεδομένων. Το Edge Computing, συγκεκριμένα, επιτρέπει την ταχύτερη αντίδραση και μείωση του όγκου των δεδομένων που μεταδίδονται στους κεντρικούς διακομιστές (Esposito et al., 2022).

Επιπρόσθετα, η τεχνολογία IoT ενσωματώνεται επιτυχώς σε συστήματα όπως ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, λύσεις Cloud, και μηχανική μάθηση, αυξάνοντας την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης. Αυτό περιλαμβάνει τη βελτίωση της συνολικής ενέργειας του συστήματος και τη διασφάλιση της ανοχής σε σφάλματα (Esposito et al., 2022)(Furquim et al., 2018).

Επιπλέον, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας IoT με ρομποτικά συστήματα παρέχει πρόσθετες δυνατότητες για την επιθεώρηση και την αντίδραση σε έκτακτες ανάγκες, όπως σεισμούς. Τα έξυπνα ρομπότ μπορούν να εκτελέσουν επιθεώρηση εσωτερικών χώρων, να ανιχνεύσουν την κίνηση των ανθρώπων και να λειτουργήσουν σε δομικά ασφαλείς χώρους. Αυτό συμβάλλει σημαντικά στην έγκαιρη επιθεώρηση και αντίδραση σε καταστροφικά γεγονότα (Abdalzaher et al., 2023).

Συμπερασματικά, η τεχνολογία IoT προσφέρει πολλαπλές δυνατότητες για την ανίχνευση, την πρόβλεψη και την αντίδραση σε φυσικές καταστροφές. Η συνεχής βελτίωση των υπαρχόντων συστημάτων και η ανάπτυξη νέων εφαρμογών παραμένει ουσιαστική για την αύξηση της αποδοτικότητας και της αξιοπιστίας στην πρόληψη και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών. Ειδικότερα, οι καινοτόμες λύσεις, όπως η χρήση υπολογισμού ομίχλης (fog computing) και υπολογισμού άκρου (edge computing), μπορούν να προσφέρουν βελτιωμένες δυνατότητες στην επεξεργασία και μετάδοση δεδομένων. Αυτό οδηγεί σε μειωμένο λανθάνοντα χρόνο και βελτιωμένη απόδοση των συστημάτων προειδοποίησης, καθώς και στην βελτιστοποίηση της

κατανάλωσης μπαταρίας και της συνολικής αξιοπιστίας των συστημάτων (Esposito et al., 2022).

Η ανάπτυξη και χρήση της τεχνολογίας IoT στον τομέα των φυσικών καταστροφών προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για την ενίσχυση της δημόσιας ασφάλειας και της αποτελεσματικής διαχείρισης κινδύνων. Μέσω της αξιοποίησης του πλήθους δεδομένων που παρέχονται από τις IoT συσκευές και της εφαρμογής προηγμένων τεχνικών ανάλυσης και μηχανικής μάθησης, είναι δυνατή η ανάπτυξη πιο ακριβών και αποτελεσματικών συστημάτων πρόβλεψης και αντίδρασης. Αυτό αυξάνει την ικανότητα πρόληψης και μείωσης του αντίκτυπου των φυσικών καταστροφών, παρέχοντας έγκαιρες και αξιόπιστες προειδοποιήσεις στις αρχές και στο κοινό.

Συνεπώς, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας IoT στην πρόληψη και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών αποτελεί μια κρίσιμη καινοτομία που προσφέρει τη δυνατότητα για σημαντικές βελτιώσεις στην ασφάλεια και προστασία του πληθυσμού. Με τη συνεχή ανάπτυξη και βελτίωση των συστημάτων IoT, είναι πιθανό να πραγματοποιηθεί ακόμα μεγαλύτερη πρόοδος στον τομέα αυτό στο μέλλον.

3.1.1 Κρίσιμα Στοιχεία Συστημάτων Έγκαιρης Προειδοποίησης με Βάση το IoT

Στην περίπτωση των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης που βασίζονται στην τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) για φυσικές καταστροφές, τα βασικά στοιχεία εστιάζουν στην ανίχνευση, εκτίμηση και πρόβλεψη φυσικών καταστροφών. Σύμφωνα με τους Sharma et al. (2021), αυτά τα συστήματα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα τόσο να ανιχνεύουν την εμφάνιση μιας φυσικής καταστροφής, όσο και να εκτιμούν το μέγεθος και τη διάρκειά της. Πέραν της ανίχνευσης, η ικανότητα προσφοράς προειδοποιήσεων στις πληγείσες περιοχές είναι κρίσιμη, παρέχοντας στους ανθρώπους αρκετό χρόνο για προετοιμασία και ασφαλή εκκένωση.

Για την αποτελεσματική λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν θεμελιώδες συστατικό (Sharma et al., 2021). Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης για σεισμούς, για παράδειγμα, χρησιμοποιούν τεχνολογία για την ανίχνευση των δονούμενων κυμάτων που δημιουργούνται από σεισμούς, με τις πληροφορίες αυτές να αποτελούν τη βάση για την επικοινωνία προειδοποιήσεων στο κοινό μέσω ενός IoT βασισμένου συστήματος (Sharma et al., 2021).

Ένα προηγμένο μοντέλο όπως το 3S-AE-CNN, το οποίο ενσωματώνει τον αυτόματο κωδικοποιητή (Autoencoder - AE) και το συνελκτικό νευρωνικό δίκτυο (Convolutional

Neural Network - CNN), αποτελεί παράδειγμα της εφαρμογής τεχνολογίας IoT στην έγκαιρη προειδοποίηση. Αυτό το μοντέλο είναι σχεδιασμένο για τον γρήγορο εντοπισμό του μεγέθους και της θέσης του σεισμού, με σφάλματα που είναι εξαιρετικά χαμηλά, παρέχοντας έγκαιρες και ακριβείς πληροφορίες (Abdalzaher et al., 2021).

Η χρήση των μέσων κοινωνικής δικτύωσης μπορεί να ενσωματωθεί με παραδοσιακές λύσεις για τον μετριασμό των συνεπειών από καταστροφές (Abdalzaher et al., 2021). Επιπλέον, η εικονικοποίηση αποτελεί ένα κρίσιμο στοιχείο για τον μετριασμό κινδύνων, ενσωματώνοντας συστήματα cloud και ετερογενή εικονικά δίκτυα για τη δημιουργία αποτελεσματικών συστημάτων προειδοποίησης (Abdalzaher et al., 2021).

Για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος, τα βασικά τεχνολογικά στοιχεία περιλαμβάνουν δορυφορικά συστήματα, τεχνολογίες 5G, αναγνώστες ραδιοσυχνοτήτων (Radio-Frequency Identification - RFID), δίκτυα SDN (Software Defined Networking) και NFV (Network Function Virtualization). Αυτά τα στοιχεία είναι ιδιαίτερα σημαντικά σε περιοχές με μεγάλη κλίμακα καταστροφών, όπου η υποδομή είναι μερικώς ή πλήρως κατεστραμμένη (Abdalzaher et al., 2021). Σε τέτοιες περιπτώσεις, η χρήση τεχνολογιών SDN και NFV μπορεί να διευκολύνει την ευελιξία και την ταχύτητα αντίδρασης του δικτύου, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα των συστημάτων προειδοποίησης.

Επιπρόσθετα, στα συστήματα αυτά ενσωματώνονται αισθητήρες κραδασμών (επιταχυνσιόμετρα), ελεγκτές περιφερειακών συσκευών (Peripheral Interface Controllers - PIC), διαδικασία ZIGBEE, οθόνες υγρών κρυστάλλων (Liquid Crystal Display - LCD) και καλώδια RS232. Αυτά τα στοιχεία συμβάλλουν στην ακριβή ανίχνευση και την αποδοτική μετάδοση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την ενημέρωση του κοινού και των αρμόδιων αρχών (Sharma et al., 2021).

Το κρίσιμο στοιχείο σε ένα τέτοιο σύστημα είναι η ικανότητα γρήγορου προσδιορισμού του μεγέθους και της θέσης του σεισμού (Earthquake - EQ). Η ακρίβεια στην πρόβλεψη του μεγέθους, του γεωγραφικού πλάτους και μήκους του σεισμού είναι θεμελιώδης για την αποτελεσματική διαχείριση καταστροφών και τον μετριασμό του κινδύνου EQ. Το δίκτυο IoT παίζει κεντρικό ρόλο στη μεταφορά αυτών των παραμέτρων στο κεντρικό σύστημα για την έγκαιρη αντίδραση και την ανακούφιση από τις καταστροφές (Abdalzaher et al., 2021).

Συνοψίζοντας, τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης για φυσικές καταστροφές με βάση το IoT περιλαμβάνουν την υψηλή τεχνολογική εξοπλισμένη ανίχνευση, την ακριβή εκτίμηση και πρόβλεψη, καθώς και την ικανότητα γρήγορης και αποτελεσματικής

επικοινωνίας και αντίδρασης. Αυτά τα στοιχεία συνδυάζονται για να παρέχουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα που ενισχύει την δημόσια ασφάλεια και μειώνει τον αντίκτυπο των φυσικών καταστροφών.

3.2 Πλεονεκτήματα της Χρήσης της Τεχνολογίας IoT σε Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης

3.2.1 Σύγκριση μεταξύ Τεχνολογίας IoT και Παραδοσιακών Μεθόδων στην Έγκαιρη Προειδοποίηση

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης προσφέρει αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους. Όπως επισημαίνουν οι Furquim et al. (2018) και οι Xie et al. (2019), τα συστήματα που βασίζονται στο IoT διακρίνονται για την ικανότητά τους να συλλέγουν, αναλύουν και διαχειρίζονται πληροφορίες από πολλαπλές πηγές, προσφέροντας έτσι έγκαιρες προειδοποιήσεις. Η δυνατότητα αυτή είναι πιθανό να είναι πιο αποτελεσματική από τις παραδοσιακές μεθόδους, καθώς παρέχει παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο για καταστάσεις όπως η κατάσταση των υλικών, του εξοπλισμού και των κατασκευαστικών δραστηριοτήτων.

Η τεχνολογία IoT επιτρέπει επίσης την απομακρυσμένη παρακολούθηση του ηλεκτρικού εξοπλισμού, μειώνοντας την ανάγκη για φυσικές επιθεωρήσεις και βελτιώνοντας την απόδοση, όπως αναφέρουν οι Lei et al. (2022). Επιπρόσθετα, η ενοποίηση των τεχνολογιών IoT με συστήματα γεωτεχνικής παρακολούθησης έχει οδηγήσει στη δημιουργία ενός πλήρως αυτοματοποιημένου και συνδεδεμένου με το δίκτυο συστήματος, γνωστού ως Διαδίκτυο Φυσικών Κινδύνων (Internet of Natural Hazards - IoNH), το οποίο παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση στην έγκαιρη προειδοποίηση και συντήρηση, σύμφωνα με τους Segalini et al. (2021).

Τα συστήματα που βασίζονται στο IoT μπορούν επίσης να συλλέγουν και να αναλύουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων για προγνωστική συντήρηση, μειώνοντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας και το κόστος (Lei et al., 2022). Η αξιοποίηση τεχνικών τεχνητής νοημοσύνης, όπως ο συλλογισμός βάσει περιπτώσεων και τα ασαφή σύνολα, ενισχύει την ακρίβεια των προβλέψεων και τον εντοπισμό σφαλμάτων σε πραγματικό χρόνο (Xie et al., 2019; Lei et al., 2022). Αυτή η δυνατότητα ενισχύει την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος,

διασφαλίζοντας την αποτελεσματική επικοινωνία και την εμφάνιση δυνητικά κρίσιμων συμβάντων, οδηγώντας σε προληπτικά μέτρα ασφαλείας (Segalini et al., 2021).

Τέλος, η τεχνολογία IoT επιτρέπει τη δημιουργία αξιόπιστων σχέσεων αιτίου-αποτελέσματος που σχετίζονται με πληροφορίες πολλαπλών παραμέτρων, επιτρέποντας την έγκαιρη παρέμβαση και συντήρηση, όπως τονίζουν οι Carrì et al. (2021). Η ικανότητα αυτή είναι κρίσιμη για την προστασία των υποδομών και την εγγύηση της ασφάλειας του κοινού. Συνοπτικά, η τεχνολογία IoT προσφέρει μια σειρά από σημαντικά πλεονεκτήματα για τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, της προγνωστικής συντήρησης, της βελτιωμένης απόδοσης και της αυξημένης ασφάλειας. Αυτά τα πλεονεκτήματα αποδεικνύουν την υπεροχή της τεχνολογίας IoT έναντι των παραδοσιακών μεθόδων στην αντιμετώπιση των προκλήσεων της έγκαιρης προειδοποίησης και της διαχείρισης φυσικών καταστροφών.

3.3 Ρόλος της Τεχνολογίας IoT στην Προετοιμασία, Αντιμετώπιση και Ανάκαμψη από Φυσικές Καταστροφές

Η τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) έχει αναγνωριστεί ως μία εξαιρετικά υποσχόμενη λύση στην αντιμετώπιση και διαχείριση καταστροφών. Όπως τονίζουν οι Sharma et al. (2021) και οι Sinha et al. (2019), η χρήση συσκευών IoT μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην ελαχιστοποίηση της ζημίας που προκαλείται από καταστροφές και στην επιτάχυνση της ανάκαμψης από αυτές. Επιπλέον, η τεχνολογία IoT προσφέρει χρήσιμες λειτουργίες για επιτυχή προετοιμασία, επείγουσα ανακούφιση και αποτελεσματική βοήθεια στα θύματα κατά τη διάρκεια καταστροφών.

Η προτεινόμενη λύση IoT στοχεύει στην παροχή ακριβών πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο για άμεσες επιχειρήσεις ανακούφισης, ευθυγραμμισμένη με τις βασικές απαιτήσεις για την πραγματοποίηση επιχειρήσεων άμεσης βοήθειας (Sinha et al., 2019). Η ειδική στη διαχείριση καταστροφών και την τεχνολογική ευαισθητοποίηση έχουν υπογραμμίσει την αξία της λύσης IoT ως κίνητρο για αποτελεσματική διαχείριση καταστροφών (Sinha et al., 2019). Μέσω της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων από αισθητήρες, κάμερες, drones και άλλους περιβαλλοντικούς και υποδομικούς παράγοντες, η τεχνολογία IoT βελτιώνει την επίγνωση της

κατάστασης και επιτρέπει την αντίδραση με βάση ενημερωμένες αποφάσεις (Damasevicius et al., 2023).

Η δυνατότητα παρακολούθησης της κίνησης ανθρώπων και πόρων κατά τη διάρκεια έκτακτης ανάγκης είναι επίσης σημαντική, καθώς διασφαλίζει ότι οι πόροι αναπτύσσονται εκεί που χρειάζονται περισσότερο και επιτρέπει την αποτελεσματική κατανομή πόρων κατά την απόκριση σε καταστροφές. Η βελτίωση της επικοινωνίας και του συντονισμού μεταξύ διαφόρων υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης και η διασφάλιση της αποκατάστασης και ανασυγκρότησης μετά την καταστροφή είναι άλλα κρίσιμα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας IoT (Damasevicius et al., 2023).

Παράλληλα, η τεχνολογία IoT διευκολύνει την παρακολούθηση και τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών. Συσκευές IoT με επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο μπορούν να χειριστούν τη δυναμική φύση των καταστροφών και να παρέχουν ενημερωμένες πληροφορίες στους ανταποκριτές έκτακτης ανάγκης για τη λήψη αποτελεσματικών αποφάσεων (Ray et al., 2017).

Αυτές οι συσκευές παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες για τις περιβαλλοντικές συνθήκες, την κατάσταση των υποδομών και την κίνηση των ανθρώπων, επιτρέποντας την αποτελεσματική διάσωση και ανάπτυξη πόρων σε κρίσιμες περιοχές (Damasevicius et al., 2023). Η ανάλυση δεδομένων και η εφαρμογή τεχνητής νοημοσύνης μέσω του IoT ενισχύουν την έγκαιρη ανίχνευση και προειδοποίηση για πιθανά ατυχήματα, αποτρέποντας την επιδείνωση των καταστάσεων έκτακτης ανάγκης (Ray et al., 2017).

Επιπλέον, η τεχνολογία IoT διευκολύνει την απρόσκοπτη διασύνδεση μεταξύ ετερογενών συσκευών με διάφορες λειτουργίες για τη διαχείριση καταστροφών, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στην παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και τη λήψη αποφάσεων. Η ανάπτυξη μιας απρόσκοπτης πλατφόρμας ανάλυσης δεδομένων, όπως μια υπηρεσία cloud, είναι κρίσιμη για την επίτευξη αυτού του στόχου, καθώς παρέχει τη δυνατότητα για αποτελεσματική παρακολούθηση και λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών (Ray et al., 2017).

Συνολικά, η τεχνολογία IoT αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο στην αντιμετώπιση και διαχείριση καταστροφών, προσφέροντας ενισχυμένη παρακολούθηση και λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την έγκαιρη ανίχνευση και αποτροπή σοβαρών καταστάσεων. Μέσω της αξιοποίησης των δυνατοτήτων του IoT, οι υπηρεσίες έκτακτης

ανάγκης μπορούν να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, να ανταποκριθούν γρήγορα και αποτελεσματικά σε κρίσεις, και να ελαχιστοποιήσουν τις συνέπειες φυσικών καταστροφών.

3.3.1 Πρακτικές Εφαρμογές του IoT στην Αντιμετώπιση και Διαχείριση Καταστροφών

Η τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) αποτελεί μια ζωτικής σημασίας εργαλείο στην αντιμετώπιση και διαχείριση καταστροφών, καθώς προσφέρει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που είναι πολύτιμα για τις ομάδες διάσωσης. Όπως επισημαίνουν οι Sharma et al. (2021), οι συσκευές IoT μπορούν να συλλέγουν πληροφορίες για παραμέτρους όπως θερμοκρασία, υγρασία, ισχύς φωτός και καπνός, παρέχοντας έτσι έγκαιρες προειδοποιήσεις και ειδοποιήσεις σε περίπτωση πυρκαγιών, βοηθώντας στην εκκένωση ανθρώπων και στη διάσωση ζώων.

Επιπλέον, σε περιβάλλοντα όπως οι έξυπνες πόλεις, το IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία μηχανισμών διαχείρισης καταστροφών, που επιτρέπουν την ανίχνευση, τον χειρισμό και τον υπολογισμό σε πραγματικό χρόνο (Sharma et al., 2021). Στην περίπτωση πυρκαγιών σε τροπικά δάση, οι συσκευές IoT μπορούν να εντοπίσουν ακριβή σημεία πυρκαγιών, βοηθώντας τις ομάδες διάσωσης να ανταποκριθούν και να διαχειριστούν την καταστροφή πιο αποτελεσματικά.

Στο πλαίσιο της ανακούφισης από φυσικές καταστροφές, το IoT είναι ανεκτίμητο για το προσωπικό που εμπλέκεται σε επιχειρήσεις ανακούφισης, καθώς παρέχει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την παρακολούθηση ανθρώπων, την εκτίμηση της ζημίας και τον συντονισμό των προσπαθειών διάσωσης (Sinha et al., 2019).

Ερευνητές έχουν εξετάσει τον ρόλο της τεχνολογίας IoT στη διαχείριση καταστροφών, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι αποτελεί ένα κρίσιμο συστατικό των συστημάτων διαχείρισης καταστροφών. Η δυνατότητα των συσκευών IoT να συλλέγουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο ενισχύει τη δυνατότητα των ομάδων διάσωσης να λαμβάνουν αποτελεσματικές αποφάσεις, μειώνοντας έτσι τη ζημία που προκαλείται από καταστροφές (Sinha et al., 2019).

Συνοψίζοντας, η τεχνολογία IoT αποδεικνύεται ως ένας αποτελεσματικός σύμμαχος στην αντιμετώπιση και διαχείριση καταστροφών, παρέχοντας έγκαιρη ανίχνευση και επιτρέποντας την αποτελεσματική διαχείριση των κρίσεων και των διαδικασιών ανάκαμψης.

3.4 Προκλήσεις και Περιορισμοί στην Εφαρμογή του IoT για Συστήματα Προειδοποίησης Φυσικών Καταστροφών

3.4.1 Αντιμετώπιση Προκλήσεων και Περιορισμών του IoT στην Προειδοποίηση για Φυσικές Καταστροφές

Παρόλο που η τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) αναγνωρίζεται ως μια πολλά υποσχόμενη λύση για τα συστήματα προειδοποίησης φυσικών καταστροφών, υπάρχουν σημαντικές προκλήσεις και περιορισμοί που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Όπως επισημαίνουν Esposito et al. (2022), μία από τις κύριες προκλήσεις είναι οι διακοπές στην παροχή ρεύματος λόγω φυσικών καταστροφών, όπως τυφώνες, πλημμύρες, και σεισμοί, οι οποίες μπορούν να εμποδίσουν τη λειτουργία των συσκευών IoT.

Επιπλέον, η επιτυχής εφαρμογή της τεχνολογίας IoT απαιτεί αξιόπιστα δίκτυα και κανάλια επικοινωνίας που μπορούν να αντέξουν στις επιπτώσεις έντονων καιρικών συνθηκών. Αυτό εγείρει την ανάγκη για ανθεκτικές υποδομές και συστήματα που μπορούν να λειτουργούν αξιόπιστα υπό ακραίες συνθήκες. Παράλληλα, η διασφάλιση της ασφάλειας και του απορρήτου των δεδομένων που μεταδίδονται από τις συσκευές IoT αποτελεί μια άλλη σημαντική πρόκληση, ιδιαίτερα στο πεδίο της διαχείρισης καταστροφών.

Στο πλαίσιο της βελτίωσης των υφιστάμενων συστημάτων και της μελλοντικής έρευνας, η βελτιστοποίηση της κατανάλωσης της μπαταρίας, του λανθάνοντος χρόνου, της αποτελεσματικότητας και της αξιοπιστίας της επικοινωνίας είναι κρίσιμα ζητήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η ανάγκη για δυνατότητες ανοχής σφαλμάτων στις αναπτυσσόμενες λύσεις, ιδίως στον τομέα των δικτύων αισθητήρων και της ανθεκτικότητας των επικοινωνιών, είναι εξίσου σημαντική, καθώς εξασφαλίζει ότι τα συστήματα προειδοποίησης παραμένουν λειτουργικά ακόμη και σε αντίξοες συνθήκες.

Όσον αφορά στους περιορισμούς της υπάρχουσας υποδομής IoT, οι ανάγκες για αξιόπιστα και ακριβή δίκτυα αισθητήρων, ασφαλή κανάλια επικοινωνίας και η ανάγκη για επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο παραμένουν θεμελιώδεις προκλήσεις. Η επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο πρέπει να βελτιστοποιηθεί, ώστε να μην προστίθεται καθυστέρηση στο σύστημα, και οι λύσεις IoT πρέπει να παρέχουν υψηλή αξιοπιστία και μειωμένες καθυστερήσεις.

Για την αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών και μειονεκτημάτων, προτείνεται η ενσωμάτωση ενός στρώματος ομίχλης/άκρου (Fog/Edge computing) στις αναπτυσσόμενες αρχιτεκτονικές IoT. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να βοηθήσει στην αντιμετώπιση ορισμένων από τους περιορισμούς, όπως οι καθυστερήσεις δικτύου και οι περιορισμοί εύρους ζώνης. Η επεξεργασία δεδομένων στην άκρη του δικτύου μειώνει τον όγκο των δεδομένων που πρέπει να μεταφερθούν στο cloud, μειώνοντας έτσι την καθυστέρηση και εξασφαλίζοντας έγκαιρη αντίδραση σε καταστάσεις καταστροφής. Επιπλέον, το Fog/Edge computing μπορεί να προσφέρει βελτιωμένη ασφάλεια και απορρήτου, καθώς διατηρεί ευαίσθητα δεδομένα στην άκρη του δικτύου και περιορίζει την πρόσβαση μόνο σε εξουσιοδοτημένο προσωπικό (Esposito et al., 2022).

Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και περιορισμών θα απαιτήσει συνεχή επένδυση στην ανάπτυξη και βελτίωση των υποδομών IoT, καθώς και στην έρευνα και ανάπτυξη προηγμένων τεχνολογιών. Η συνεργασία μεταξύ δημόσιων φορέων, ιδιωτικού τομέα και ακαδημαϊκών ιδρυμάτων θα είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη βιώσιμων και αξιόπιστων λύσεων IoT για τα συστήματα προειδοποίησης φυσικών καταστροφών.

Συνοψίζοντας, ενώ η τεχνολογία IoT παρέχει σημαντικές δυνατότητες για την ενίσχυση των συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών, η επιτυχής εφαρμογή της απαιτεί την αντιμετώπιση σειράς προκλήσεων και περιορισμών. Αυτές περιλαμβάνουν την ανάγκη για αξιόπιστες υποδομές, επαρκή ασφάλεια και απορρήτου δεδομένων, και αποτελεσματική επεξεργασία δεδομένων. Μέσω της συνεχούς ανάπτυξης και βελτίωσης τεχνολογιών, όπως το Fog/Edge computing, και της συνεργασίας μεταξύ διαφόρων φορέων, είναι δυνατόν να ξεπεραστούν αυτοί οι περιορισμοί και να επιτευχθούν πιο αξιόπιστα και αποτελεσματικά συστήματα προειδοποίησης.

3.5 Μελλοντικές Κατευθύνσεις και Καινοτομίες στον Τομέα του IoT για την Προειδοποίηση Φυσικών Καταστροφών

Η τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) παρουσιάζει σημαντικό δυναμικό για την επανάσταση των συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών. Σύμφωνα με τις ερευνητικές προσπάθειες, η τεχνολογία αυτή προσφέρει δυνατότητες για την ανάπτυξη προηγμένων συστημάτων με ενσωμάτωση επιτόπιων προβλέψεων, υλοποιήσεων τεχνητής νοημοσύνης και χαμηλού κόστους συστημάτων μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων (MEMS) και αλγορίθμων πρόβλεψης μηχανικής μάθησης (Esposito et al., 2022;

Khan et al., 2020). Η ενσωμάτωση του IoT με άλλες τεχνολογίες ανοίγει νέες δυνατότητες για τη βελτίωση των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης.

Οι λύσεις υπολογιστικών άκρων (Edge Computing) προτείνονται ως μέθοδος για τη μείωση της καθυστέρησης και του αριθμού των μεταδόσεων, καθώς και της επεξεργασίας δεδομένων σε κεντρικούς διακομιστές (Esposito et al., 2022). Η επεξεργασία δεδομένων κοντά στην πηγή παρέχει τη δυνατότητα έγκαιρης αντίδρασης σε καταστάσεις καταστροφών. Επιπλέον, η ανάλυση και η βελτιστοποίηση της τοποθέτησης αισθητήρων, η επιλογή των σωστών παραμέτρων για παρακολούθηση και οι σωστοί ρυθμοί δειγματοληψίας για κάθε αισθητήρα είναι επίσης σημαντικοί τομείς εστίασης (Esposito et al., 2022). Αυτές οι προσεγγίσεις βοηθούν στην ελαχιστοποίηση του κόστους και της κατανάλωσης ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα διασφαλίζουν την αξιοπιστία και την ακρίβεια των προβλέψεων.

Η ενσωμάτωση του IoT με τεχνολογίες όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων ανοίγει το δρόμο για πιο εξελιγμένες και αποτελεσματικές λύσεις (Khan et al., 2020). Οι συνεργασίες μεταξύ διαφόρων ερευνητικών φορέων και η συνεχής ανάπτυξη καινοτομικών τεχνολογιών θα είναι κρίσιμη για την προώθηση των δυνατοτήτων του IoT στον τομέα της προειδοποίησης φυσικών καταστροφών. Επιπρόσθετα, η συνεχής ανάπτυξη νέων εφαρμογών και η βελτίωση των υπάρχουσών αρχιτεκτονικών IoT θα απαιτήσει συνεχή έρευνα και ανάπτυξη για να εξασφαλιστεί η επίτευξη του μέγιστου δυναμικού τους.

Συμπερασματικά, η τεχνολογία IoT αναμένεται να συνεχίσει να παρέχει καινοτόμες λύσεις και να συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης φυσικών καταστροφών. Η ενσωμάτωση του IoT με τεχνολογίες όπως το Edge Computing, η τεχνητή νοημοσύνη, η μηχανική μάθηση, και η ανάλυση μεγάλων δεδομένων προσφέρει δυνατότητες για πιο αποτελεσματική διαχείριση και πρόληψη καταστροφών. Η βελτίωση των αλγορίθμων ανίχνευσης και πρόβλεψης, καθώς και η εξέλιξη των υποδομών του IoT, θα επιτρέψει την παροχή πιο ακριβών και έγκαιρων προειδοποιήσεων σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών.

Οι προκλήσεις όπως η ανάγκη για αξιόπιστες υποδομές και η διασφάλιση της ασφάλειας των δεδομένων πρέπει να αντιμετωπίζονται με την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών και την εφαρμογή ενισχυμένων μέτρων ασφάλειας. Η δυνατότητα των συστημάτων IoT να λειτουργούν σε ακραίες συνθήκες και να παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες είναι ουσιαστική για την αποτελεσματική λειτουργία των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης.

Οι μελλοντικές κατευθύνσεις στην έρευνα και ανάπτυξη του IoT για την προειδοποίηση φυσικών καταστροφών περιλαμβάνουν την εξερεύνηση καινοτόμων τρόπων για την ανάπτυξη πιο αποτελεσματικών και ανθεκτικών δικτύων αισθητήρων, τη βελτίωση των τεχνικών ανάλυσης δεδομένων και την ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών για την αύξηση της ανοχής σφαλμάτων των αναπτυσσόμενων λύσεων. Επιπλέον, η συνεργασία μεταξύ διαφόρων φορέων και η διαμόρφωση ενός ολοκληρωμένου πλαισίου για την αξιοποίηση των δυνατοτήτων του IoT θα είναι κρίσιμη για την επίτευξη ενός αποτελεσματικού συστήματος προειδοποίησης φυσικών καταστροφών.

Συνοπτικά, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας IoT με άλλες τεχνολογίες και η συνεχής ανάπτυξη και βελτίωση των συστημάτων της παρέχουν σημαντικές ευκαιρίες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των συστημάτων προειδοποίησης και διαχείρισης φυσικών καταστροφών.

Κεφάλαιο 4^ο. Μελλοντικές Εξελίξεις και προκλήσεις

4.1 Εξέταση των μελλοντικών τάσεων στην τεχνολογία του IOT σε σχέση με την προειδοποίηση φυσικών καταστροφών.

4.1.1 Τρέχουσα κατάσταση Συστημάτων Προειδοποίησης Φυσικών Καταστροφών

Τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης (Early Warning Systems - EWS) αναγνωρίζονται ως κρίσιμα εργαλεία για την προώθηση της ετοιμότητας αντιμετώπισης καταστροφών και τη διαχείριση κινδύνων. Η βασική λειτουργία τους είναι η προληπτική ειδοποίηση σχετικά με πιθανούς κινδύνους, επιτρέποντας σε άτομα, κοινότητες, και οργανισμούς να λάβουν προληπτικά μέτρα για την ελαχιστοποίηση του αντίκτυπου πιθανών καταστροφών (Sakic Trogrlic et al., 2022; Guzzetti et al., 2020). Οι EWS κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το είδος του κινδύνου που αντιμετωπίζουν και έχουν ως στόχο την προστασία της ζωής, της περιουσίας, των περιουσιακών στοιχείων, της εθνικής ασφάλειας, και των οικονομιών (Sakic Trogrlic et al., 2022).

Η σύγχρονη εποχή έχει φέρει σημαντικές βελτιώσεις στην τεχνολογία και τις μεθόδους που υποστηρίζουν τα EWS. Προεξέχουσα είναι η ενσωμάτωση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας στη διαδικασία ειδοποίησης, με τους φορείς εκμετάλλευσης τηλεπικοινωνιών να διαδραματίζουν έναν καθοριστικό ρόλο στη διάσωση ζωών και την ελαχιστοποίηση της ζημίας κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών (Srinivasa Kumar et al., 2021). Επιπλέον, οι προσπάθειες υπό την ομπρέλα των Ηνωμένων Εθνών από τη δεκαετία του '90 και εξής επιδιώκουν την προώθηση της εφαρμογής και της βελτίωσης των EWS παγκοσμίως, με τη διεθνή συνεργασία να έχει κεντρικό ρόλο σε αυτήν τη διαδικασία (Goniewicz & Burkle, 2019).

Η κατανόηση των μηχανισμών λειτουργίας των EWS είναι ζωτικής σημασίας για την ενίσχυση της ικανότητας των βιομηχανιών, των κυβερνήσεων, και των ατόμων να λαμβάνουν ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με την κατανομή πόρων για την μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών (Sadiq et al., 2023; Sakic Trogrlic et al., 2022; Guzzetti et al., 2020). Τέλος, οι EWS είναι υποχρεωμένοι να παρέχουν αποτελεσματική διάδοση των προειδοποιήσεων, να συντηρούν μια σταθερή κατάσταση ετοιμότητας, να ενθαρρύνουν την άμεση συμμετοχή των κοινοτήτων σε κίνδυνο, και να διευκολύνουν την εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με τους κινδύνους (Guzzetti et al., 2020).

Παρά τις προόδους στις προγνωστικές ικανότητες, τα σημερινά συστήματα προειδοποίησης εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν περιορισμούς στην πρόβλεψη και την απόκριση σε φυσικές

καταστροφές. Ένας από τους βασικούς περιορισμούς είναι η ανεπαρκής κάλυψη σημαντικού μέρους του παγκόσμιου πληθυσμού, ιδιαίτερα σε λιγότερο ανεπτυγμένες χώρες, όπου η πρόσβαση σε αξιόπιστα συστήματα προειδοποίησης παραμένει περιορισμένη (Alcantara-Ayala & Oliver-Smith, 2017). Αυτό αποτελεί ένδειξη της ανισότητας στην παγκόσμια κατανομή των πόρων για την πρόληψη και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών.

Παράλληλα, η εξέλιξη στην επιστημονική πρόβλεψη δεν είναι πάντα συνοδευόμενη από συμβατές βελτιώσεις στην ικανότητα επεξεργασίας και αποτελεσματικής χρήσης των προειδοποιητικών πληροφοριών (Kelman & Glantz, 2014). Αυτό αναδεικνύει την ανάγκη για ολοκληρωμένες στρατηγικές που θα ενισχύουν την προετοιμασία και την απόκριση των κοινοτήτων σε φυσικές καταστροφές. Επιπρόσθετα, οι διαφωνίες στα σχέδια απόκρισης και η αντίληψη του υψηλού κόστους υλοποίησης συγκεκριμένων στρατηγικών μπορούν να υπονομεύσουν την αξιοπιστία και την αποτελεσματικότητα των συστημάτων προειδοποίησης (Kelman & Glantz, 2014).

Επομένως, τα συστήματα προειδοποίησης πρέπει να αναπτυχθούν σε συνδυασμό με ικανότητες απόκρισης σε τοπικό, εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο, ιδιαίτερα σε εξαιρετικά ευάλωτες περιοχές (Kelman & Glantz, 2014). Είναι επίσης σημαντικό τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης όχι μόνο να εντοπίζουν τους κινδύνους αλλά και να διασφαλίζουν ότι οι πληθυσμοί σε κίνδυνο λαμβάνουν και κατανοούν προειδοποιήσεις (Alcantara-Ayala & Oliver-Smith, 2017). Επιπλέον, τα εργαλεία πρόβλεψης διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αποτελεσματικότητα των συστημάτων συναγερμού και προειδοποίησης για φυσικές καταστροφές. Τέλος, τα δημόσια δίκτυα παρέχουν τη βάση για πολλά ιδιωτικά δίκτυα και θα συνεχίσουν να είναι σημαντικά ακόμη και όταν οι άνθρωποι χρησιμοποιούν ιδιωτικά δίκτυα για να λαμβάνουν πληροφορίες (Ramaki & Atani, 2016).

Η τεχνολογία έχει διαδραματίσει πρωταρχικό ρόλο στην εξέλιξη και εφαρμογή των συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών, συμβάλλοντας στην προστασία ζώων και περιουσιών. Μέσω της χρήσης του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), έχει καταστεί δυνατή η συλλογή, επεξεργασία και ερμηνεία πληροφοριών που σχετίζονται με κρίσιμες καιρικές συνθήκες, όπως καιρικά μοτίβα, επίπεδα ποταμών και σεισμική δραστηριότητα, ενισχύοντας την ικανότητα πρόβλεψης και προειδοποίησης (Esposito et al., 2022; Ramchurn et al., 2016).

Αρχές όπως η Εθνική Διοίκηση Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA) και το Γεωλογικό Ινστιτούτο των ΗΠΑ (USGS) έχουν ενσωματώσει εξειδικευμένους επιστήμονες στις

διαδικασίες τους, χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές για την παρακολούθηση, πρόβλεψη και παροχή ειδοποιήσεων σε περίπτωση φυσικών καταστροφών, συμβάλλοντας στην ενημέρωση και προετοιμασία του κοινού και των αρμοδίων αρχών (Ramchurn et al., 2016).

Η χρήση διαστημικών τεχνολογιών και η παρατήρηση της Γης έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμες στην ανάπτυξη συστημάτων προειδοποίησης για τσουνάμι, αλλά και σε άλλους τύπους καταστροφών όπως πλημμύρες, σεισμοί, και κατολισθήσεις (Goniewicz & Burkle, 2019). Η συνεχή βελτίωση και ανάπτυξη τεχνολογικών εργαλείων και προσεγγίσεων έχουν ενισχύσει την ακρίβεια και την έγκαιρη διάθεση προειδοποιήσεων, καθιστώντας δυνατή την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών.

Αυτές οι τεχνολογικές καινοτομίες έχουν συμβάλει στην μείωση της καθυστέρησης στη μετάδοση κρίσιμων δεδομένων, ενώ παράλληλα μειώνει τον όγκο των απαιτούμενων μεταδόσεων και επεξεργασίας δεδομένων, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα και την αξιοπιστία των συστημάτων προειδοποίησης (Esposito et al., 2022). Επιπρόσθετα ενισχύουν τη δυνατότητα πρόωξης ανίχνευσης και προειδοποίησης, καθιστώντας δυνατή την εκτέλεση πιο αποτελεσματικών ενεργειών για την προστασία της ζωής και των περιουσιών.

4.1.2 Ο ρόλος του IoT στην προειδοποίηση και την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στα συστήματα προειδοποίησης για φυσικές καταστροφές παρουσιάζει έναν εξαιρετικά αποτελεσματικό μηχανισμό για τη βελτίωση της ακρίβειας και της επικαιρότητας των εν λόγω προειδοποιήσεων. Χάρη στη δυνατότητα αυτή, είναι δυνατή η μείωση των πιθανών κινδύνων από καταστροφικά φαινόμενα, μέσω της αξιοποίησης συνδεδεμένων αισθητήρων για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών δεικτών όπως η σεισμική δραστηριότητα, τα καιρικά μοτίβα και η ποιότητα του αέρα (Pujar et al., 2022).

Μέσω της χρήσης των IoT συστημάτων, είναι δυνατή η ανίχνευση ανωμαλιών και η αυτοματοποιημένη ενεργοποίηση προειδοποιήσεων, επιτρέποντας έτσι την έγκαιρη εκκένωση και την κινητοποίηση απαραίτητων πόρων για τον μετριασμό των επιπτώσεων πιθανών καταστροφών (Pujar et al., 2022). Οι λύσεις IoT διαδραματίζουν έναν κρίσιμο ρόλο στη συλλογή, μετάδοση και πρόβλεψη δεδομένων για την υποστήριξη των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης, ενσωματώνοντας τεχνολογίες όπως ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, λύσεις cloud, μηχανική μάθηση και στοιχεία edge computing (Esposito et al., 2022).

Ταυτόχρονα, η τεχνολογία IoT παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης των πλημμυρών, των πυρκαγιών και της ποιότητας του αέρα κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών, με τους αισθητήρες να μετρούν κρίσιμους παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου, ενισχύοντας επιπλέον την ακρίβεια των προειδοποιήσεων (Ali et al., 2019; Pujar et al., 2022). Η άμεση μετάδοση ειδοποιήσεων και προειδοποιήσεων μέσω ασύρματων συσκευών και η παροχή ειδοποιήσεων συγκεκριμένης τοποθεσίας μέσω των δυνατοτήτων GPS των συσκευών IoT, διασφαλίζουν την έγκαιρη εκκένωση και την ελαχιστοποίηση των ανθρώπινων θυμάτων (Esposito et al., 2022).

Ωστόσο, αντιμετωπίζονται προκλήσεις σχετικά με το απόρρητο των δεδομένων, την ασφάλεια και την πιθανότητα εκδήλωσης ψευδών συναγερμών, προκλήσεις που απαιτούν προσεκτική διαχείριση κατά την ανάπτυξη τεχνολογιών IoT για τις προειδοποιήσεις φυσικών καταστροφών. Η ισορροπία μεταξύ της χρήσης δεδομένων για τη βελτίωση της ασφάλειας και της διασφάλισης των ατομικών δικαιωμάτων είναι ένας κεντρικός παράγοντας στην υπεύθυνη ανάπτυξη και εφαρμογή των IoT λύσεων (Pujar et al., 2022).

Η ενσωμάτωση τεχνολογίας Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) σε υπάρχοντα συστήματα προειδοποίησης φυσικών καταστροφών προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για τη βελτίωση των δυνατοτήτων ανταπόκρισης. Σύμφωνα με Esposito et al. (2022), η δυνατότητα διασυνδεδεμένων συσκευών να επικοινωνούν και να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους δημιουργεί ένα ολοκληρωμένο οικοσύστημα διαχείρισης καταστροφών. Τέτοια συστήματα επιτρέπουν την ανίχνευση ανωμαλιών και την ενεργοποίηση αυτοματοποιημένων ειδοποιήσεων, καθιστώντας την έγκαιρη εκκένωση και κινητοποίηση πόρων πιο αποτελεσματική (Esposito et al., 2022).

Οι συσκευές IoT μπορούν να ενσωματωθούν με εφαρμογές για κινητά τηλέφωνα, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών ή άλλων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης (Ali et al., 2021). Επιπλέον, η ενσωμάτωση συσκευών IoT με συστήματα δημόσιων διευθύνσεων μπορεί να βελτιώσει την έγκαιρη διάδοση ειδοποιήσεων έκτακτης ανάγκης στο κοινό, ενώ οι έξυπνες οικιακές συσκευές μπορούν να παρέχουν ειδοποιήσεις έκτακτης ανάγκης σε άτομα μέσα στα σπίτια τους (Ali et al., 2021).

Οι αισθητήρες IoT με δυνατότητα παρακολούθησης φαινομένων όπως η σεισμική δραστηριότητα ή οι μεταβολές των καιρικών συνθηκών, μπορούν να αποτελέσουν σημαντικά εργαλεία για την έγκαιρη ανίχνευση και προειδοποίηση πιθανών φυσικών καταστροφών. Η αναμετάδοση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στα κεντρικά συστήματα προειδοποίησης

επιτρέπει την ακριβέστερη πρόβλεψη και την ταχύτερη ανταπόκριση από τις ομάδες διαχείρισης έκτακτης ανάγκης (Ali et al., 2021).

Ωστόσο, προκλήσεις όπως η λανθάνουσα κατάσταση και η ανάγκη για βελτιστοποίηση της μετάδοσης και της επεξεργασίας των δεδομένων πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ενσωμάτωση των συσκευών IoT στα υπάρχοντα συστήματα προειδοποίησης (Esposito et al., 2022). Η ικανότητα των συσκευών IoT να παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και η δυνατότητα για άμεση ενεργοποίηση προειδοποιήσεων συνιστούν σημαντικά πλεονεκτήματα για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των συστημάτων απόκρισης σε φυσικές καταστροφές (Mohammad et al., 2019; Zeng et al., 2023). Η συνεχής ανάπτυξη και ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών IoT στα συστήματα προειδοποίησης είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της προετοιμασίας και της προστασίας των κοινοτήτων από φυσικές καταστροφές (Shah et al., 2019).

Η ενσωμάτωση τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στη διαχείριση και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών προσφέρει ευρείας κλίμακας οφέλη, αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα και την ολοκληρωμένη λειτουργικότητα των συστημάτων προειδοποίησης. Η εφαρμογή της IoT έχει τη δυνατότητα να παρέχει προληπτικά μέτρα, βελτιώνοντας την προειδοποίηση και την απόκριση σε τέτοια φαινόμενα, με τον τελικό στόχο τη διάσωση ζωών και την προστασία των κοινοτήτων (Abdullah & Hamodat, 2023; Ray et al., 2017).

Μέσω της ενσωμάτωσης των IoT συσκευών, επιτυγχάνεται μια συνεχής παρακολούθηση και ανίχνευση πιθανών κινδύνων, επιτρέποντας την έγκαιρη αντίδραση πριν την εμφάνιση της καταστροφής. Αυτό είναι δυνατό μέσω της ανάλυσης των δεδομένων που συλλέγονται από διάφορους αισθητήρες, καθώς και της προβολής μοτίβων που μπορούν να οδηγήσουν σε ακριβείς προβλέψεις (Rajendran et al., 2023; Ray et al., 2017).

Επιπρόσθετα, η IoT τεχνολογία μπορεί να συμβάλει στην προστασία του περιβάλλοντος μέσω της μείωσης των αρνητικών επιπτώσεων φυσικών καταστροφών. Η δυνατότητα των IoT συσκευών να επικοινωνούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει στις αρχές να λαμβάνουν έγκαιρα μέτρα για τον περιορισμό των ζημιών σε φυσικούς πόρους και υποδομές (Rajendran et al., 2023; Ray et al., 2017).

Περαιτέρω, η τεχνολογία IoT διευκολύνει την λήψη αποφάσεων βασισμένων σε δεδομένα κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών, επιτρέποντας την αξιολόγηση των κινδύνων και την υλοποίηση προληπτικών μέτρων για τη μείωση των επιπτώσεων αυτών των καταστροφών

(Rajendran et al., 2023; Ray et al., 2017). Η ικανότητα των IoT συσκευών να προσφέρουν έγκαιρες ειδοποιήσεις και να ενισχύουν την ορθή κατανομή πόρων συντελεί στη βελτίωση της ανταπόκρισης σε καταστάσεις καταστροφών.

Τέλος, η εφαρμογή της τεχνολογίας IoT στη διαχείριση φυσικών καταστροφών μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αυτών των φαινομένων, καθώς και να διευρύνει τη γνώση και την κατανόηση σχετικά με την αποτελεσματική διαχείριση και αντιμετώπισή τους. Η παροχή έγκαιρων ειδοποιήσεων, η βελτιστοποίηση της διανομής πόρων, η εντοπισμός των κινδύνων που απειλούν τη ζωή και η βοήθεια στη διαχείριση καταστροφών μέσω των υπολογιστικών εργαλείων και της μηχανικής μάθησης, καταδεικνύουν την κρίσιμη σημασία της IoT στη σύγχρονη εποχή διαχείρισης φυσικών καταστροφών (Ray et al., 2017; Rajendran et al., 2023).

4.1.3 Ευκαιρίες για την εφαρμογή του IoT στη διαχείριση φυσικών καταστροφών (π.χ. σεισμοί, τυφώνες, πλημμύρες)

Η εφαρμογή τεχνολογίας Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στην αντιμετώπιση και προειδοποίηση διαφορετικών τύπων φυσικών καταστροφών, όπως σεισμοί, τυφώνες, και πλημμύρες, προσφέρει πολλαπλές ευκαιρίες για βελτίωση της προετοιμασίας και της ανταπόκρισης σε τέτοια επείγοντα γεγονότα. Οι συσκευές IoT, χάρη στη δυνατότητά τους να συλλέγουν και να μεταδίδουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, μπορούν να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες που συμβάλλουν στην ακριβέστερη πρόβλεψη και αντιμετώπιση τέτοιων καταστροφών.

Σε περιπτώσεις σεισμών, οι συσκευές IoT μπορούν να ενσωματωθούν σε συστήματα προειδοποίησης για την έγκαιρη ανίχνευση των προκαταρκτικών σεισμικών κυμάτων (P-κύματα) που προηγούνται των πιο καταστροφικών κύματων (S-κύματα), επιτρέποντας την έγκαιρη προειδοποίηση και εκκένωση των επηρεαζόμενων περιοχών. Σε περιπτώσεις τυφώνων, η IoT μπορεί να υποστηρίξει την ακριβή παρακολούθηση της πορείας του τυφώνα, της ταχύτητας των ανέμων, και των προβλέψεων προσκρούσεων, ενώ παράλληλα διασφαλίζει την κατάλληλη επικοινωνία ειδοποιήσεων σε πολίτες και υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης.

Όσον αφορά τις πλημμύρες, οι συσκευές IoT, όπως οι αισθητήρες επιπέδου νερού, μπορούν να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την πρόβλεψη και τον εντοπισμό πιθανών

πλημμυρών, ενεργοποιώντας προειδοποιήσεις και σχέδια εκκένωσης. Αυτό επιτρέπει την έγκαιρη ενημέρωση των κοινοτήτων και την αποτελεσματική ανάπτυξη πόρων για την αντιμετώπιση της κρίσης.

Μέσω της ανάπτυξης αυτοματοποιημένων συστημάτων που βασίζονται στην τεχνολογία IoT, είναι δυνατόν να επιτευχθεί μια πιο ολοκληρωμένη και συντονισμένη αντίδραση σε φυσικές καταστροφές, βελτιώνοντας τις δυνατότητες πρόβλεψης, προειδοποίησης, και απόκρισης. Τέλος, η χρήση IoT ενισχύει την αποδοτικότητα της διαχείρισης καταστροφών μέσω της βελτιστοποίησης της συλλογής, ανάλυσης, και διανομής δεδομένων, καθιστώντας τις κοινότητες πιο ανθεκτικές στις επιπτώσεις τέτοιων καταστροφών (Ray et al., 2017; Abdullah & Hamodat, 2023). Συνολικά, η τεχνολογία IoT έχει τη δυνατότητα να φέρει επανάσταση στις λειτουργίες διαχείρισης καταστροφών παρέχοντας ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και παρακολούθηση περιβαλλοντικών παραγόντων.

Οι αισθητήρες και τα δίκτυα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) προσφέρουν σημαντικές δυνατότητες για την έγκαιρη ανίχνευση και προειδοποίηση φυσικών καταστροφών, ενισχύοντας τις προσπάθειες ανταπόκρισης και μετριασμού των επιπτώσεων τους. Η δυνατότητα αυτών των συστημάτων να συλλέγουν και να μεταδίδουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο αποτελεί έναν πολύτιμο πόρο για την αντιμετώπιση διαφόρων τύπων φυσικών καταστροφών, όπως σεισμοί, τυφώνες και πλημμύρες (Ali et al., 2021; Abdullah & Hamodat, 2023).

Στο πλαίσιο των σεισμών, οι αισθητήρες IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση των πρώτων σημάτων σεισμικής δραστηριότητας, παρέχοντας πολύτιμο χρόνο για προειδοποίηση και προετοιμασία των πληθυσμών στις ευάλωτες περιοχές (Ali et al., 2021). Όσον αφορά τους τυφώνες, τα δίκτυα IoT επιτρέπουν την ακριβή παρακολούθηση της πορείας και της έντασης των καταιγίδων, καθιστώντας δυνατή την πρόβλεψη των περιοχών που θα επηρεαστούν και την εφαρμογή αποτελεσματικών μέτρων εκκένωσης (Abdullah & Hamodat, 2023).

Σε περιπτώσεις πλημμυρών, η χρήση αισθητήρων για τη μέτρηση των επιπέδων νερού σε ποτάμια και αποθέματα νερού μπορεί να προσφέρει σημαντικές προειδοποιήσεις για επικείμενες πλημμύρες, επιτρέποντας την έγκαιρη ενεργοποίηση συστημάτων εκκένωσης και προετοιμασία των πληθυσμών στις ευάλωτες περιοχές (Ray et al., 2017). Η δυνατότητα αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική στην πρόληψη ανθρώπινων απωλειών και τη μείωση της

οικονομικής ζημιάς από πλημμύρες, παρέχοντας στις αρχές τα απαραίτητα δεδομένα για την αποτελεσματική αντιμετώπιση της κρίσης.

Επιπλέον, οι αισθητήρες και τα δίκτυα IoT μπορούν να παίξουν κρίσιμο ρόλο στην ανίχνευση και την πρόληψη άλλων τύπων φυσικών καταστροφών, όπως πυρκαγιές στο δάσος και ηφαιστειακές εκρήξεις. Οι αισθητήρες μπορούν να μετρούν σημαντικούς περιβαλλοντικούς δείκτες όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, καθώς και να παρακολουθούν τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων που μπορεί να εκλύονται πριν από μια ηφαιστειακή έκρηξη, παρέχοντας έτσι προειδοποιητικά σήματα για την πρόληψη και την έγκαιρη αντίδραση σε τέτοια φαινόμενα (Shah et al., 2019). Αυτό ενισχύει την ασφάλεια των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε ηφαιστειακές δραστηριότητες και παρέχει τη δυνατότητα για την προστασία της ζωής και της περιουσίας.

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας IoT στη διαχείριση φυσικών καταστροφών προσφέρει επίσης τη δυνατότητα για τη βελτίωση της επικοινωνίας κατά τη διάρκεια κρίσεων. Δίκτυα IoT μπορούν να υποστηρίξουν συστήματα ειδοποίησης που ενημερώνουν τους πολίτες για επερχόμενες καταστροφές μέσω κινητών εφαρμογών ή άλλων συνδεδεμένων συσκευών, ενισχύοντας την ικανότητα των κοινοτήτων να αντιδρούν γρήγορα και αποτελεσματικά (Zeng et al., 2023). Αυτή η άμεση επικοινωνία είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς δίνει στα άτομα τη δυνατότητα να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα, να εκκενώνουν επικίνδυνες περιοχές ή να προστατεύουν την περιουσία τους σε περίπτωση εκδήλωσης φυσικής καταστροφής.

Επιπρόσθετα, η χρήση της τεχνολογίας IoT διευκολύνει την παρακολούθηση και τη διαχείριση της ανάκαμψης μετά από φυσικές καταστροφές. Αισθητήρες μπορούν να αξιολογούν την έκταση της ζημιάς σε κρίσιμες υποδομές, όπως δρόμοι, γέφυρες και κτίρια, και να παρέχουν στις αρχές δεδομένα που βοηθούν στην προτεραιοποίηση των προσπαθειών αποκατάστασης (Ray et al., 2017). Αυτό σημαίνει ότι οι πόροι μπορούν να κατευθύνονται εκεί όπου είναι πιο αναγκαίοι, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα των απαντήσεων στην ανάκαμψη και συνεισφέροντας στη γρηγορότερη επιστροφή στην κανονικότητα για τις επηρεαζόμενες κοινότητες.

Συνοψίζοντας, οι αισθητήρες και τα δίκτυα IoT παρέχουν μια πολυδιάστατη πλατφόρμα που ενισχύει την έγκαιρη ανίχνευση, την προειδοποίηση και την αποτελεσματική διαχείριση φυσικών καταστροφών. Η ικανότητά τους να συλλέγουν, να αναλύουν και να μεταδίδουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο επιτρέπει μια πιο στοχευμένη και ευέλικτη αντίδραση σε επείγουσες καταστάσεις, ενώ παράλληλα βοηθά στην πρόληψη ανθρώπινων απωλειών και στη

μείωση της οικονομικής και περιβαλλοντικής ζημιάς. Μέσω της ολοκληρωμένης προσέγγισης στην παρακολούθηση και διαχείριση κινδύνου, τα δίκτυα IoT συμβάλλουν στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας των κοινοτήτων απέναντι σε φυσικές καταστροφές, προωθώντας την ασφάλεια και τη βιωσιμότητα στο περιβάλλον.

Η εφαρμογή τεχνολογίας Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στη διαχείριση φυσικών καταστροφών παρουσιάζει σημαντικές ευκαιρίες για την εξοικονόμηση κόστους, ενισχύοντας παράλληλα την αποτελεσματικότητα της πρόληψης, της αντιμετώπισης και της ανάκαμψης από καταστροφές. Αρχικά, η χρήση IoT επιτρέπει την έγκαιρη ανίχνευση και προειδοποίηση σχετικά με φυσικά φαινόμενα, μειώνοντας τον αντίκτυπο των καταστροφών και τις συνεπαγόμενες ζημιές σε υποδομές και ανθρώπινες ζωές (Zafar et al., 2019).

Η ακριβέστερη πρόβλεψη και η πιο αποτελεσματική διαχείριση των καταστροφών μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική μείωση του κόστους επανόρθωσης και αποκατάστασης των πληγέντων περιοχών. Επιπλέον, οι IoT λύσεις συμβάλλουν στην βελτίωση της αποδοτικότητας των επιχειρήσεων έκτακτης ανάγκης, μειώνοντας τον χρόνο και τους πόρους που απαιτούνται για την αντιμετώπιση καταστροφών, καθιστώντας δυνατή την ταχύτερη επιστροφή στην κανονικότητα και την ελαχιστοποίηση της οικονομικής απώλειας.

Πέρα από την αντιμετώπιση καταστροφών, η τεχνολογία IoT προσφέρει ευκαιρίες για τη βελτίωση της αποδοτικότητας στην ανάκαμψη και αποκατάσταση των πληγέντων περιοχών. Αισθητήρες και δίκτυα IoT μπορούν να παρέχουν ακριβή δεδομένα σχετικά με την έκταση της ζημιάς, επιτρέποντας την αποδοτικότερη κατανομή πόρων και την προτεραιοποίηση των εργασιών αποκατάστασης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές εξοικονομήσεις στο κόστος ανοικοδόμησης και στην ταχύτερη επαναφορά της πληγείσας περιοχής σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

Τέλος, η τεχνολογία IoT προσφέρει ευκαιρίες για τη βελτίωση της απόδοσης των συστημάτων προειδοποίησης και πρόληψης, μειώνοντας το κόστος που σχετίζεται με την πρόληψη φυσικών καταστροφών και την προετοιμασία των κοινοτήτων. Η συνεχής παρακολούθηση και η έγκαιρη ανίχνευση προειδοποιητικών σημάτων μπορούν να μειώσουν την ανάγκη για εκτεταμένες παρεμβάσεις μετά την εκδήλωση καταστροφών, οδηγώντας σε εξοικονομήσεις στο κόστος των αντιμετώπισεων και της διαχείρισης κρίσεων.

4.2 Ανάλυση των προκλήσεων που ενδέχεται να προκύψουν και πιθανών λύσεων

4.2.1 Προκλήσεις και προβληματισμοί κατά την υιοθέτηση του IoT για προειδοποίηση και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών

Οι περιοχές που είναι επιρρεπείς σε φυσικές καταστροφές αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις στη διασφάλιση αξιόπιστης υποδομής συνδεσιμότητας και επικοινωνίας για τις συσκευές IoT, οι οποίες είναι κρίσιμες για την αποτελεσματική διαχείριση καταστροφών. Η υποδομή μπορεί να υποστεί σοβαρές ζημιές λόγω καταστροφών, προκαλώντας διακοπές στις συνδέσεις και στην επικοινωνία, το οποίο επηρεάζει την αξιοπιστία της πληροφορίας που παρέχεται από τις συσκευές IoT (Zeng et al., 2023).

Επιπρόσθετα, τα παραδοσιακά σχέδια δεδομένων μπορεί να είναι ανεπαρκή για την υποστήριξη της αυξημένης ροής δεδομένων από τις συσκευές IoT κατά τη διάρκεια καταστροφών, απαιτώντας την ανάπτυξη πιο προηγμένων και ανθεκτικών τεχνολογιών για την εξασφάλιση της συνέχειας της επικοινωνίας (Zeng et al., 2023). Η ανάγκη για αξιόπιστη συνδεσιμότητα και επικοινωνία σε περιοχές επιρρεπείς σε καταστροφές είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση καταστροφών μέσω της χρήσης τεχνολογίας IoT (Zeng et al., 2023).

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας Internet of Things (IoT) στα συστήματα προειδοποίησης φυσικών καταστροφών παρουσιάζει σημαντικές ευκαιρίες για την αντιμετώπιση των περιορισμών των παραδοσιακών συστημάτων. Παρόλο που τα υφιστάμενα συστήματα εξαρτώνται συχνά από την ανθρώπινη παρέμβαση και τη διαθεσιμότητα εκπαιδευμένου προσωπικού, οι οποίοι αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες, η τεχνολογία IoT μπορεί να προσφέρει αυτοματοποιημένες και αποτελεσματικότερες λύσεις (Krichen et al., 2023). Τα παραδοσιακά συστήματα, λόγω του περιορισμένου αριθμού των αισθητήρων, δυσκολεύονται να προβλέψουν γεγονότα σε πραγματικό χρόνο. Ωστόσο, οι τεχνολογίες IoT, μέσω της αυξημένης χρήσης αισθητήρων, μπορούν να βελτιώσουν την ακρίβεια και την ταχύτητα της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων (Krichen et al., 2023).

Η ανάλυση ιστορικών δεδομένων σχετικά με τα καιρικά πρότυπα και προηγούμενες φυσικές καταστροφές μπορεί να βοηθήσει στην εκτίμηση του χρόνου και της σοβαρότητας επερχόμενων καταστάσεων και στην κινητοποίηση των αρχών για σχέδια εκκένωσης (Islam et

al., 2017). Επιπλέον, η τεχνολογία LoRa, εξοπλισμένη με τυπωμένες μπαταρίες, αναδεικνύει τις δυνατότητες της τεχνολογίας IoT στην ετοιμότητα και την πρόβλεψη φυσικών καταστροφών, προσφέροντας νέους τύπους εφαρμογών IoT (Islam et al., 2017).

Παρά τις εξελίξεις, συνεχίζουν να υπάρχουν περιορισμοί στην πρόβλεψη φυσικών καταστροφών, όπως η πιθανότητα εισαγωγής ανακριβών δεδομένων στο σύστημα AI, που απαιτούν προσοχή (Krichen et al., 2023). Η ενσωμάτωση αισθητήρων με μεγαλύτερη ευαισθησία και η ανάπτυξη πιο σύνθετων αλγορίθμων δεδομένων μπορούν να αντιμετωπίσουν αυτούς τους περιορισμούς και να βελτιώσουν την αποδοτικότητα των συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών (Islam et al., 2017; Krichen et al., 2023). Συνοψίζοντας, η τεχνολογία IoT προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για την επανάσταση της ετοιμότητας και του μετριασμού των καταστροφών μέσω της λήψης αποφάσεων βασισμένων σε δεδομένα, καθιστώντας τα συστήματα πιο αποτελεσματικά και οικονομικά αποδοτικά (Krichen et al., 2023).

Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, είναι απαραίτητη η διερεύνηση και η εφαρμογή νέων τεχνολογιών και μεθόδων που βελτιώνουν την αξιοπιστία της υποδομής επικοινωνίας, καθώς και την ανάπτυξη ανθεκτικών συστημάτων που μπορούν να διατηρούν τη λειτουργία τους ακόμη και υπό δύσκολες συνθήκες (Ali et al., 2015; Zeng et al., 2023). Η εξασφάλιση αξιόπιστης συνδεσιμότητας και επικοινωνίας για συσκευές IoT σε περιοχές επιρρεπείς σε καταστροφές είναι ένας βασικός παράγοντας για την επιτυχή εφαρμογή του IoT στη διαχείριση καταστροφών. Η ανάγκη για την ανάπτυξη ανθεκτικών στην καταστροφή υποδομών και τη βελτίωση των συστημάτων επικοινωνίας προκειμένου να εξασφαλιστεί η συνέχιση της παροχής κρίσιμων δεδομένων και πληροφοριών είναι προφανής. Η εφαρμογή εξελιγμένων τεχνολογιών, όπως τα δίκτυα mesh που μπορούν να διαμορφωθούν αυτομάτως και να προσφέρουν υψηλά επίπεδα ανθεκτικότητας σε διακοπές, αποτελούν βασικούς παράγοντες για την υποστήριξη της αξιοπιστίας των IoT συστημάτων σε τέτοιες προκλητικές συνθήκες (Ali et al., 2015; Zeng et al., 2023).

Περαιτέρω, η εξέλιξη και η εφαρμογή νέων πρωτοκόλλων και τεχνολογιών που έχουν σχεδιαστεί για να αντιμετωπίζουν τις συγκεκριμένες προκλήσεις της συνδεσιμότητας και της επικοινωνίας σε επιρρεπείς σε καταστροφές περιοχές, όπως το Low-Power Wide-Area Networks (LPWAN), είναι κρίσιμης σημασίας. Τέτοιες τεχνολογίες μπορούν να προσφέρουν βελτιωμένη κάλυψη σε μεγάλες αποστάσεις και σε δύσκολα περιβάλλοντα, ενώ παράλληλα διατηρούν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (Zeng et al., 2023).

Η διαλειτουργικότητα αποτελεί κεντρικό στοιχείο για την αποτελεσματική εφαρμογή συστημάτων IoT στη διαχείριση φυσικών καταστροφών, παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο δίκτυο για την προειδοποίηση και την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων. Για να αντιμετωπιστεί η πρόκληση της διαλειτουργικότητας, οι προσπάθειες συγκεντρώνονται στην ανάπτυξη και υιοθέτηση προτύπων και πρωτοκόλλων που επιτρέπουν την αρμονική συνεργασία διαφορετικών συστημάτων και συσκευών (Sharma et al., 2021). Η υλοποίηση ενός οικοσυστήματος βασισμένου στο IoT με ενσωματωμένη ικανότητα διαλειτουργικότητας εξασφαλίζει ότι δεδομένα από διάφορες πηγές μπορούν να ενσωματωθούν και να αναλυθούν αποτελεσματικά, βελτιώνοντας την ακρίβεια των προειδοποιήσεων και την ταχύτητα της αντίδρασης (Sharma et al., 2021; Shah et al., 2019).

Ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, το οποίο ενσωματώνει δεδομένα από διαφορετικά δίκτυα IoT, μπορεί να βελτιώσει τη διαχείριση των πόρων και να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα των αποκρίσεων σε καταστροφές (Sharma et al., 2021). Αυτό το σύστημα διασφαλίζει την έγκαιρη διανομή κρίσιμων πληροφοριών στις αρμόδιες αρχές, επιτρέποντας την ταχεία ανάπτυξη προληπτικών μέτρων και την αποτελεσματική διαχείριση των επιχειρήσεων ανάκαμψης (Shah et al., 2019).

Περαιτέρω, η ενσωμάτωση τεχνολογιών IoT στις επιχειρήσεις έκτακτης ανάγκης προϋποθέτει την υλοποίηση αυστηρών πρωτοκόλλων ασφαλείας και προστασίας δεδομένων για να διασφαλίζεται η ιδιωτικότητα και η ασφάλεια των πληροφοριών που συλλέγονται και αναλύονται (Pujar et al., 2022). Η διαχείριση και η ανταλλαγή δεδομένων μέσω των δικτύων IoT απαιτεί επίσης την εφαρμογή προηγμένων τεχνολογιών για την αντιμετώπιση των προκλήσεων στον τομέα της κυβερνοασφάλειας, εξασφαλίζοντας έτσι την προστασία και την ακεραιότητα των συστημάτων (Shah et al., 2019).

Συνοψίζοντας, η επίτευξη διαλειτουργικότητας μεταξύ συσκευών και συστημάτων IoT απαιτεί μια συνεκτική προσέγγιση που ενσωματώνει την υιοθέτηση κοινών προτύπων, την ανάπτυξη συμβατών πλατφορμών και την εφαρμογή αυστηρών μέτρων ασφαλείας. Αυτές οι προσπάθειες συμβάλλουν στη δημιουργία ενός αποτελεσματικού και αξιόπιστου δικτύου προειδοποίησης και αντιμετώπισης φυσικών καταστροφών, ενισχύοντας την προετοιμασία και την ανθεκτικότητα της κοινωνίας σε τέτοιες καταστάσεις.

4.2.2 Βελτίωση της επικοινωνίας και της συλλογής δεδομένων στην αντιμετώπιση καταστροφών με το IoT

Η εφαρμογή τεχνολογίας Internet of Things (IoT) στην αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για τη βελτίωση της επικοινωνίας και της συλλογής δεδομένων κατά τη διάρκεια καταστροφικών γεγονότων. Η χρήση συσκευών IoT, όπως αισθητήρες και drones, επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για τις συνθήκες των πληγείσων περιοχών και των ατόμων κατά τη διάρκεια καταστροφών, παρέχοντας έγκαιρες πληροφορίες για τη λήψη αποφάσεων κατά τις προσπάθειες αντιμετώπισης καταστροφών (Yang et al., 2013; Shah et al., 2019b).

Επιπροσθέτως, η ενσωμάτωση συστημάτων IoT με τεχνολογίες τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης επιτρέπει την ανάλυση των συλλεγόμενων δεδομένων για την παροχή πιο ενημερωμένων αποφάσεων από τις αρχές (Zafar et al., 2019). Τα οφέλη του IoT στην ετοιμότητα και αντιμετώπιση καταστροφών είναι προφανή, καθώς μπορεί να αξιοποιήσει τη δύναμη των δεδομένων για την ενίσχυση των προσπαθειών αντιμετώπισης καταστροφών (Kamruzzama et al., 2017). Ωστόσο, είναι σημαντικό οι εφαρμογές του IoT να σχεδιάζονται με προσοχή, λαμβάνοντας υπόψη ζητήματα απορρήτου, ασφάλειας και ψευδών συναγερμών πριν από την ανάπτυξή τους στο πεδίο (Yang et al., 2013).

Ειδικότερα, η χρήση τεχνολογίας IoT σε συστήματα προειδοποίησης φυσικών καταστροφών έχει τη δυνατότητα να ξεπεράσει παραδοσιακούς περιορισμούς, όπως η εξάρτηση από την ανθρώπινη παρέμβαση και τη διαθεσιμότητα εκπαιδευμένου προσωπικού, μέσω της αυτοματοποίησης της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων (Krichen et al., 2023). Η τεχνολογία IoT μπορεί επίσης να επιτρέψει την επικοινωνία και τον συντονισμό μεταξύ των ομάδων διάσωσης κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών, βελτιώνοντας τις προσπάθειες αντίδρασης και μειώνοντας τα θύματα (Dar et al., 2018; Shah et al., 2019). Συνολικά, η εφαρμογή της τεχνολογίας IoT στη διαχείριση καταστροφών παρέχει σημαντικές δυνατότητες για τη βελτίωση της επικοινωνίας και της συλλογής δεδομένων κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών, προσφέροντας τη δυνατότητα για πιο αποτελεσματικές και οικονομικά αποδοτικές λύσεις (Zafar et al., 2019; Dar et al., 2018).

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας Internet of Things (IoT) στην αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών έχει φέρει σημαντικές βελτιώσεις στην ανταλλαγή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και τη λήψη αποφάσεων. Οι συσκευές IoT, όπως φορητές συσκευές, αισθητήρες,

κάμερες και drones, επιτρέπουν τη συλλογή και τη μετάδοση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την τοποθεσία, τη σοβαρότητα και τη φύση μιας καταστροφής, βελτιώνοντας σημαντικά την ικανότητα αντίδρασης σε κρίσεις (Dar et al., 2018; Damasevicius et al., 2023).

Οι αρχές διαχείρισης έκτακτης ανάγκης μπορούν να εκμεταλλευτούν τα δεδομένα από τις συσκευές IoT για την τεκμηρίωση και την εκτέλεση αποτελεσματικών στρατηγικών απόκρισης. Ειδικότερα, οι συσκευές IoT μπορούν να παρέχουν σημαντικά δεδομένα κατά τη διάρκεια καταστροφών, βοηθώντας τους ανταποκριτές έκτακτης ανάγκης να λαμβάνουν αποφάσεις γρήγορα και να κατανέμουν πόρους πιο αποτελεσματικά (Ali et al., 2015; Dar et al., 2018).

Επιπρόσθετα, η δυνατότητα των συσκευών IoT να παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο διευκολύνει την απρόσκοπτη επικοινωνία και τον συντονισμό μεταξύ διάφορων φορέων που εμπλέκονται στις προσπάθειες απόκρισης έκτακτης ανάγκης, ενισχύοντας την ολική αποτελεσματικότητα των προσπαθειών αντιμετώπισης (Krytska et al., 2017; Dar et al., 2018). Η χρήση των δεδομένων αυτών σε συνδυασμό με αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης στο cloud μπορεί να επιτρέψει την ανάλυση σε πραγματικό χρόνο και τη λήψη πρακτικών πληροφοριών για τη βελτίωση των στρατηγικών διαχείρισης καταστροφών (Damasevicius et al., 2023; Dar et al., 2018).

Συνολικά, η τεχνολογία IoT παρέχει μια πολύτιμη εργαλειοθήκη για την ενίσχυση της απόκρισης σε φυσικές καταστροφές, βελτιώνοντας την επικοινωνία, την ανταλλαγή δεδομένων και τη λήψη αποφάσεων μέσω της αξιοποίησης της δύναμης της συνδεσιμότητας και της ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

4.2.3 Ενσωμάτωση του IoT με την υπάρχουσα υποδομή προειδοποίησης και απόκρισης καταστροφών

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας Internet of Things (IoT) με την υπάρχουσα υποδομή προειδοποίησης και απόκρισης σε φυσικές καταστροφές παρουσιάζει μια στρατηγική προσέγγιση για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και της ακρίβειας της αντίδρασης σε καταστροφές. Οι δυνατότητες του IoT, όπως η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, η ευρεία κάλυψη, και η ακρίβεια, προσφέρουν πολλαπλά οφέλη στη διαχείριση φυσικών καταστροφών (Rajendran et al., 2023; Giroto et al., 2023).

Η εφαρμογή συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης που υποστηρίζονται από IoT επιτρέπει την αυτοματοποιημένη ειδοποίηση σε περίπτωση ανωμαλιών, όπως η σεισμική δραστηριότητα, καιρικά μοτίβα, ή αλλαγές στην ποιότητα του αέρα, επιτρέποντας την έγκαιρη κινητοποίηση

των αρχών και των πολιτών για την προληπτική δράση (Kamruzzama et al., 2017). Η προληπτική προσέγγιση βασίζεται στην τεχνολογία IoT, ενισχύοντας την ετοιμότητα και την αντίδραση στις πιθανές καταστροφές, καθιστώντας δυνατή την ταχεία κινητοποίηση πόρων και την αποτελεσματική μετρίαση των επιπτώσεων (Kamruzzama et al., 2017).

Επιπλέον, η ενσωμάτωση του IoT στις υπάρχουσες στρατηγικές διαχείρισης καταστροφών μπορεί να συμβάλει στην ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων φυσικών καταστροφών, προσφέροντας έναν βιώσιμο και αποτελεσματικό τρόπο διαχείρισης (Rajendran et al., 2023). Η οικοδόμηση ενός ασφαλέστερου και πιο ανθεκτικού μέλλοντος είναι εφικτή μέσω της επένδυσης σε υποδομές IoT που επιτρέπουν την εφαρμογή συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης, μετατρέποντας τα συστήματα αντιμετώπισης καταστροφών σε πιο αποτελεσματικά εργαλεία που σώζουν ζωές και μειώνουν τον αντίκτυπο στις κοινότητες και τις οικονομίες (Giroto et al., 2023).

Στρατηγικές όπως η ενσωμάτωση τεχνολογιών Edge Computing, η χρήση αλγορίθμων πρόβλεψης Machine Learning, και η αξιοποίηση υψηλού επιπέδου διαλειτουργικότητας μεταξύ των διαφόρων συσκευών και πλατφορμών IoT είναι κρίσιμες για την επίτευξη μιας ενσωματωμένης και αποτελεσματικής αντίδρασης σε φυσικές καταστροφές. Η εξασφάλιση άμεσης και αποτελεσματικής βοήθειας στα θύματα, καθώς και η ελαχιστοποίηση της βλάβης από τις καταστροφές, είναι εφικτή μέσω της δυνατότητας της τεχνολογίας IoT να παρέχει ακριβείς πληροφορίες και έγκαιρες προειδοποιήσεις με βάση τα δεδομένα που συλλέγονται από το εκτεταμένο δίκτυο αισθητήρων (Sharma et al., 2021).

Οι λύσεις IoT μπορούν να βελτιώσουν τη συνολική ετοιμότητα και απόκριση των παραδοσιακών συστημάτων προειδοποίησης (Esposito et al., 2022). Οι φορητές συσκευές εξοπλισμένες με αισθητήρες μπορούν να παρακολουθούν ζωτικά σημεία και να μεταδίδουν σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες για την υγεία και την ευημερία στις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης κατά τη διάρκεια μιας κρίσης, συμβάλλοντας στην εξατομικευμένη ετοιμότητα για καταστροφές (Kamruzzama et al., 2017). Η συνδεσιμότητα που παρέχεται από το IoT μπορεί να ενδυναμώσει τόσο τους ανταποκριτές όσο και τα άτομα κατά τη διάρκεια καταστροφών και οι αισθητήρες και οι συσκευές IoT συμβάλλουν στην αποτελεσματική και αποτελεσματική απόκριση έκτακτης ανάγκης (Kamruzzama et al., 2017; Elvas et al., 2021). Μελέτες περιπτώσεων πραγματικού κόσμου καταδεικνύουν την πρακτική εφαρμογή του IoT σε έξυπνες πόλεις για τη διάσωση ζωών και την προστασία των κοινοτήτων. Η ανάπτυξη πιο εξελιγμένων εργαλείων ανάλυσης μπορεί να βελτιώσει τη συνολική ετοιμότητα και απόκριση, καθώς τα

δεδομένα του IoT μπορούν να αναλυθούν για να ληφθούν καλύτερες αποφάσεις σχετικά με την απόκριση έκτακτης ανάγκης. Συμπερασματικά, τα συστήματα έκτακτης ανάγκης με δυνατότητα IoT μπορούν να συμπληρώσουν τα παραδοσιακά συστήματα προειδοποίησης για τη βελτίωση της συνολικής ετοιμότητας και απόκρισης παρέχοντας πρόσβαση σε πληροφορίες και ειδοποιήσεις σε πραγματικό χρόνο και μειώνοντας τους χρόνους απόκρισης κατά τη διάρκεια κρίσεων (Elvas et al., 2021).

Συμπερασματικά, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας Internet of Things (IoT) με την υπάρχουσα υποδομή προειδοποίησης και απόκρισης σε καταστροφές αντιμετωπίζει διάφορα εμπόδια, τα οποία περιλαμβάνουν οικονομικά, τεχνολογικά και διαχειριστικά ζητήματα. Τα κόστη υλοποίησης και συντήρησης αποτελούν σημαντικό εμπόδιο, καθώς η απαιτούμενη επένδυση για την ανάπτυξη και τη συντήρηση ενός εκτεταμένου δικτύου IoT μπορεί να είναι σημαντική (Sakhardande et al., 2016). Επιπλέον, τα ζητήματα συμβατότητας και διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφόρων συσκευών και πλατφορμών IoT, καθώς και η ανάγκη για αξιόπιστη και ασφαλή δικτυακή υποδομή, αποτελούν επίσης σημαντικά εμπόδια (Elvas et al., 2021).

Για την υπέρβαση των οικονομικών εμποδίων, μπορούν να αναπτυχθούν καινοτόμα μοντέλα χρηματοδότησης, όπως δημόσιο-ιδιωτικές συνεργασίες και μοντέλα χρηματοδότησης με βάση την απόδοση, τα οποία μπορούν να μειώσουν το αρχικό οικονομικό βάρος για τους δημόσιους φορείς (Sakhardande et al., 2016). Όσον αφορά τα τεχνολογικά εμπόδια, η ανάπτυξη τυπικών πρωτοκόλλων και διεπαφών για την επίτευξη διαλειτουργικότητας μεταξύ διαφόρων συσκευών και συστημάτων IoT είναι κρίσιμη (Elvas et al., 2021). Επιπροσθέτως, η ενίσχυση της ασφάλειας δικτύου και δεδομένων μέσω της υιοθέτησης προηγμένων μεθόδων κρυπτογράφησης και ασφαλείας μπορεί να βελτιώσει την ασφάλεια των δικτύων IoT (Nizetic et al., 2020).

Για τη διασφάλιση της επιτυχούς ενσωμάτωσης, είναι επίσης απαραίτητο να εκπαιδευτούν οι εμπλεκόμενοι φορείς στις νέες τεχνολογίες και να αναπτυχθούν διαδικασίες για την επίβλεψη, τη συντήρηση και την ενημέρωση των συστημάτων IoT. Η συνεχής αξιολόγηση και τροποποίηση των στρατηγικών ενσωμάτωσης, με βάση τις τρέχουσες ανάγκες και τεχνολογικές εξελίξεις, είναι απαραίτητη για τη διασφάλιση της επιτυχίας και της βιωσιμότητας της ενσωμάτωσης του IoT στην υπάρχουσα υποδομή προειδοποίησης και απόκρισης σε καταστροφές.

4.2.4 Διασφάλιση αξιοπιστίας και ασφάλειας των συστημάτων προειδοποίησης καταστροφών με δυνατότητα IoT

Η ενσωμάτωση της τεχνολογίας Internet of Things (IoT) στα συστήματα προειδοποίησης και απόκρισης σε φυσικές καταστροφές φέρει την υπόσχεση επαναστατικών βελτιώσεων στην έγκαιρη προειδοποίηση και την αποτελεσματικότητα της απόκρισης. Ωστόσο, τα ζητήματα αξιοπιστίας και ασφάλειας των συστημάτων IoT αποτελούν σημαντικά εμπόδια που πρέπει να ξεπεραστούν για να αποκτήσουν πλήρης λειτουργικότητα και να επιτευχθεί η εμπιστοσύνη των χρηστών.

Ένα βασικό ζήτημα είναι το απόρρητο των δεδομένων. Η προστασία των ευαίσθητων πληροφοριών που συλλέγονται από συσκευές IoT απαιτεί σύνθετα μέτρα ασφαλείας για να προστατεύσει τα δεδομένα από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση ή κακόβουλη χρήση (Kamruzzama et al., 2017). Η ασφάλεια των συστημάτων IoT είναι εξίσου κρίσιμη, καθώς η ευπάθεια σε επιθέσεις μπορεί να θέσει σε κίνδυνο την ακεραιότητα του συστήματος και να αμφισβητήσει την αξιοπιστία των προειδοποιήσεων που παρέχονται (Xu et al., 2018).

Η διασφάλιση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας στα συστήματα προειδοποίησης φυσικών καταστροφών με δυνατότητα IoT απαιτεί πολλαπλά επίπεδα προστασίας και μέτρα μετριασμού. Στατιστικές προσεγγίσεις και αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να συμβάλουν στην εξάλειψη ψευδών συναγεργμών, βελτιώνοντας την ακρίβεια των προειδοποιήσεων (Esposito et al., 2022). Επιπλέον, η υιοθέτηση κρυπτογραφημένων επικοινωνιών και τεχνολογιών blockchain μπορεί να ενισχύσει την ασφάλεια των δεδομένων, διασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα παραμένουν ασφαλή κατά τη μεταφορά και την αποθήκευση (Xu et al., 2018).

Η ενσωμάτωση εκτεταμένων δοκιμών και αξιολογήσεων ασφαλείας καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του συστήματος IoT είναι ουσιώδης για την έγκαιρη ανίχνευση και διόρθωση ευπαθειών πριν από την εφαρμογή στο πεδίο. Αυτό απαιτεί μια συνεχή προσπάθεια ενημέρωσης και αναβάθμισης του συστήματος για να αντιμετωπίζει νέες απειλές και ευπάθειες που εμφανίζονται (Damasevicius et al., 2023).

Η εκπαίδευση και η ευαισθητοποίηση των χρηστών και των διαχειριστών συστημάτων σχετικά με τις καλές πρακτικές ασφαλείας και την ανάγκη για συνεχή επαγρύπνηση είναι επίσης κρίσιμη. Οι χρήστες πρέπει να κατανοούν τους κινδύνους και να εφαρμόζουν βέλτιστες

πρακτικές για τη διατήρηση της ασφάλειας των συσκευών τους και την προστασία των δεδομένων (Kamruzzama et al., 2017).

Τέλος, η δημιουργία ενός συστήματος ανταπόκρισης σε περιπτώσεις παραβίασης είναι αναγκαία για την αντιμετώπιση περιστατικών ασφαλείας άμεσα και αποτελεσματικά. Αυτό περιλαμβάνει την ανάπτυξη πρωτοκόλλων για την γρήγορη εντοπισμό, εκτίμηση και αντιμετώπιση παραβιάσεων ασφαλείας, καθώς και την ανάκτηση και επαναφορά των συστημάτων σε φυσιολογική λειτουργία (Esposito et al., 2022).

Με την εφαρμογή αυτών των στρατηγικών, μπορεί να επιτευχθεί η διασφάλιση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας των συστημάτων προειδοποίησης φυσικών καταστροφών με δυνατότητα IoT, παρέχοντας μια ισχυρότερη και πιο αποτελεσματική βάση για την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών.

Κεφάλαιο 5°. Συμπεράσματα

Μέσα από τη μελέτη της βιβλιογραφίας διαπιστώθηκε ότι η τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για τη βελτίωση των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης σε φυσικές καταστροφές, επιτρέποντας την ανίχνευση απειλών σε πραγματικό χρόνο και την αυτοματοποιημένη εκκίνηση προειδοποιήσεων. Συνδεδεμένοι αισθητήρες, παρέχοντας πληροφορίες για παράγοντες όπως η σεισμική δραστηριότητα και τα καιρικά μοτίβα, επιτρέπουν την έγκαιρη προετοιμασία και την κινητοποίηση των πόρων για τον μετριασμό των επιπτώσεων (Ali et al., 2015). Ωστόσο, η εφαρμογή της τεχνολογίας IoT σε τέτοια συστήματα αντιμετωπίζει προκλήσεις, όπως την ανάγκη για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, την αποφυγή ψευδών συναγερμών, και την επιλογή της κατάλληλης τοποθέτησης αισθητήρων (Esposito et al., 2022; Ali et al., 2023).

Ειδικότερα, τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από αισθητήρες με δυνατότητα IoT έχουν τη δυνατότητα να βελτιώσουν την πρόβλεψη και την ανίχνευση φυσικών καταστροφών, καθιστώντας τα συστήματα πιο αποτελεσματικά και οικονομικά (Ali et al., 2015). Παρόλο που η τεχνολογία IoT μπορεί να μειώσει τις επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών, είναι σημαντικό να επιτευχθεί μια ισορροπία μεταξύ της αξιοποίησης των δεδομένων και της προστασίας των ατομικών δικαιωμάτων, αντιμετωπίζοντας προκλήσεις όπως το απόρρητο των δεδομένων και η ασφάλεια (Ali et al., 2015).

Οι προκλήσεις που σχετίζονται με την εφαρμογή της τεχνολογίας IoT για προειδοποιήσεις φυσικών καταστροφών περιλαμβάνουν την ανάγκη για αξιόπιστη λειτουργία σε ακραία συνθήκες, την αποφυγή ψευδών συναγερμών και την επιλογή της κατάλληλης τοποθέτησης αισθητήρων για βέλτιστη ανίχνευση (Esposito et al., 2022; Ali et al., 2023).

Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί στρατηγικές βελτιστοποίησης, όπως η χρήση τεχνολογιών χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, η εφαρμογή αλγορίθμων για την αποφυγή ψευδών συναγερμών, και η προσεκτική επιλογή και τοποθέτηση αισθητήρων βάσει ανάλυσης κινδύνου (Esposito et al., 2022). Μέσω της βελτίωσης των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης, η τεχνολογία IoT επιτρέπει την προστασία των ευάλωτων πληθυσμών και την ελαχιστοποίηση των ζημιών στις κοινότητες και τις οικονομίες, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη μιας πιο ανθεκτικής κοινωνίας στις φυσικές καταστροφές. Παρ' όλα αυτά, οι προκλήσεις που σχετίζονται με την ασφάλεια δεδομένων, την αξιοπιστία της τεχνολογίας και την ανάγκη για υψηλή ανθεκτικότητα και ανοχή σε σφάλματα απαιτούν στρατηγικές προσέγγισης για την επίλυση τους (Esposito et al., 2022; Ali et al., 2023).

Όπως διαπιστώθηκε, η εφαρμογή της τεχνολογίας Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) προσφέρει σημαντικές δυνατότητες για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για φυσικές καταστροφές. Μέσω της παρακολούθησης περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η σεισμική δραστηριότητα και τα καιρικά μοτίβα, με τη χρήση συνδεδεμένων αισθητήρων, η τεχνολογία IoT επιτρέπει την έγκαιρη εκκένωση και την κινητοποίηση πόρων (Ali et al., 2015). Αυτό διασφαλίζει ότι οι αρχές και οι πολίτες λαμβάνουν έγκαιρες προειδοποιήσεις, ενισχύοντας έτσι την ικανότητα των κοινοτήτων να αντιδράσουν αποτελεσματικά σε φυσικές καταστροφές (Ali et al., 2023; Ali et al., 2015). Ωστόσο, η εφαρμογή της τεχνολογίας αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως η ανάγκη για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και η αποφυγή ψευδών συναγερμών, απαιτώντας προσεκτικό σχεδιασμό και βελτιστοποίηση της τοποθέτησης των αισθητήρων (Esposito et al., 2022; Ali et al., 2023).

Ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης που βασίζεται στο IoT απαιτεί τη συνεργασία τεσσάρων βασικών στοιχείων: σχεδιασμού, υλοποίησης, αξιολόγησης και προειδοποίησης/ειδοποίησης (da Silva et al., 2020). Η ενσωμάτωση της υποδομής IoT ενισχύει την έγκαιρη διάδοση των πληροφοριών, επιτρέποντας τη λήψη κατάλληλων μέτρων για την προστασία ανθρωπίνων ζωών και περιουσιών (Ali et al., 2023). Η αξιοποίηση των δεδομένων από τα IoT συστήματα επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση και την άμεση αντίδραση στις ανάγκες κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών (Esposito et al., 2022; Ali et al., 2023).

Η χρήση του IoT στη βελτίωση του συντονισμού απόκρισης σε φυσικές καταστροφές επιτρέπει την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων και την κατάλληλη κατανομή πόρων (Damasevicius et al., 2023; Rajendran et al., 2023). Η ενσωμάτωση του IoT στη διαχείριση καταστροφών μπορεί να ενισχύσει τις προσπάθειες ανταπόκρισης, βελτιώνοντας την ευαισθητοποίηση και την επικοινωνία μεταξύ των αρχών και των πολιτών, καθώς και την αποδοτικότητα στην κατανομή των πόρων και στη λήψη αποφάσεων (Damasevicius et al., 2023; Boukerche & Coutinho, 2018).

Τέλος, η αξιοποίηση του IoT για τη βελτίωση του συντονισμού απόκρισης επηρεάζει θετικά την κατανομή πόρων και τη λήψη αποφάσεων, καθιστώντας τη διαχείριση καταστροφών πιο αποτελεσματική και βιώσιμη. Η ενσωμάτωση του IoT στη δημόσια διοίκηση και στην αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών επιτρέπει την ανάπτυξη πιο ευέλικτων και αποτελεσματικών συστημάτων απόκρισης, συμβάλλοντας στη βελτίωση της δημόσιας ασφάλειας και στην προστασία των πολιτών (Boukerche & Coutinho, 2018; Damasevicius et al., 2023).

Η εφαρμογή της τεχνολογίας Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) στην αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών παρουσιάζει μια σημαντική δυνατότητα για τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Μέσω της ενσωμάτωσης αισθητήρων και δικτύων IoT, είναι δυνατόν να συλλέγονται, να αναλύονται και να διανέμονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας την έγκαιρη αντίδραση σε πλημμύρες, σεισμούς και άλλα φυσικά φαινόμενα (Abd El-Mawla et al., 2019; Salam & Salam, 2020). Αυτή η δυνατότητα μπορεί να μειώσει τις καταστροφικές επιπτώσεις των φυσικών καταστροφών και να ελαχιστοποιήσει τον αντίκτυπο στο περιβάλλον, παρέχοντας μια σημαντική συμβολή στις προσπάθειες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής.

Επιπλέον, η χρήση της τεχνολογίας IoT στη διαχείριση φυσικών καταστροφών μπορεί να έχει θετικές επιπτώσεις στην βιωσιμότητα. Η αποδοτική συλλογή και ανάλυση δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε πιο έγκαιρες και ακριβείς προειδοποιήσεις, μειώνοντας τον αριθμό των αναγκαίων μεταδόσεων και επεξεργασίας δεδομένων και συνεπώς την κατανάλωση ενέργειας (Esposito et al., 2022). Η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης μπαταρίας και η βελτίωση της αποδοτικότητας της επικοινωνίας μπορούν να συμβάλουν στην προώθηση της βιωσιμότητας, μειώνοντας τις επιπτώσεις στο περιβάλλον και ενισχύοντας την ανθεκτικότητα σε ακραία γεγονότα (Esposito et al., 2022).

Τα μακροπρόθεσμα οφέλη της εφαρμογής της τεχνολογίας IoT στην αντιμετώπιση κλιματικής αλλαγής και την προώθηση της βιωσιμότητας στη διαχείριση καταστροφών περιλαμβάνουν

την αυξημένη επίγνωση και την καλύτερη προστασία του περιβάλλοντος μέσω της αποτελεσματικής παρακολούθησης και πρόβλεψης φυσικών καταστροφών. Επιπλέον, η βελτιστοποίηση της κατανομής πόρων και η μείωση των αποβλήτων μπορεί να οδηγήσει σε πιο βιώσιμες πρακτικές, βελτιώνοντας τη διαχείριση των καταστροφών και συμβάλλοντας σε έναν πιο ανθεκτικό και βιώσιμο κόσμο (Rajendran et al., 2023; Bibri, 2018). Αυτές οι πρωτοβουλίες μπορούν να διασφαλίσουν ότι οι μελλοντικές γενιές θα κληρονομήσουν έναν πλανήτη που διατηρεί την ικανότητα να υποστηρίζει τη ζωή, προωθώντας τη βιωσιμότητα και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής μέσω της καινοτομίας και της τεχνολογικής εξέλιξης.

Βιβλιογραφία

Abdalzaher, M. S., Elsayed, H. A., Fouda, M. M., & Salim, M. M. (2023). Employing machine learning and IoT for earthquake early warning system in smart cities. *Energies*, 16(1), 495.

Abdalzaher, M. S., Krichen, M., Yiltas-Kaplan, D., Ben Dhaou, I., & Adoni, W. Y. H. (2023). Early detection of earthquakes using IoT and cloud infrastructure: A survey. *Sustainability*, 15(15), 11713.

Abdalzaher, M. S., Soliman, M. S., El-Hady, S. M., Benslimane, A., & Elwekeil, M. (2021). A deep learning model for earthquake parameters observation in IoT system-based earthquake early warning. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(11), 8412-8424.

Abdullah, M. H., & Hamodat, Z. (2023). Iot techniques for disaster prediction and prevention. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 11(9s), 34-45.

Abid, S. K., Sulaiman, N., Chan, S. W., Nazir, U., Abid, M., Han, H., ... & Vega-Muñoz, A. (2021). Toward an integrated disaster management approach: how artificial intelligence can boost disaster management. *Sustainability*, 13(22), 12560.

Abraham, S., Beard, J., & Manijacob, R. (2017). Remote environmental monitoring using Internet of Things (IoT). In *2017 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)* (pp. 1-6). IEEE.

Alcantara-Ayala, I., & Oliver-Smith, A. (2017). The necessity of early warning articulated systems (EWASs): critical issues beyond response. *Identifying Emerging Issues in Disaster Risk Reduction, Migration, Climate Change and Sustainable Development: Shaping Debates and Policies*, 101-124.

Ali, K., Nguyen, H. X., Shah, P., Vien, Q. T., & Ever, E. (2019). Internet of things (IoT) considerations, requirements, and architectures for disaster management system. *Performability in internet of things*, 111-125.

Ali, K., Nguyen, H. X., Vien, Q. T., & Shah, P. (2015). Disaster management communication networks: Challenges and architecture design. In *2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops)* (pp. 537-542). IEEE.

Ali, K., Nguyen, H. X., Vien, Q. T., & Shah, P. (2015). Disaster management communication networks: Challenges and architecture design. In *2015 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops)* (pp. 537-542). IEEE.

Ali, K., Nguyen, H. X., Vien, Q. T., Shah, P., Raza, M., Paranthaman, V. V., ... & Rodrigues, J. J. (2021). Review and implementation of resilient public safety networks: 5G, IoT, and emerging technologies. *IEEE network*, 35(2), 18-25.

Alnashwan, R., & Mokhtar, H. (2019). Disaster management system over Wifi direct. In *2019 2nd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)* (pp. 1-6). IEEE.

Booth, L., Fleming, K., Abad, J., Schueller, L. A., Leone, M., Scolobig, A., & Bails, A. (2020a). Simulating synergies between climate change adaptation and disaster risk reduction stakeholders to improve management of transboundary disasters in Europe. *International journal of disaster risk reduction*, 49, 101668.

Booth, L., Schueller, L. A., Scolobig, A., & Marx, S. (2020b). Stakeholder solutions for building interdisciplinary and international synergies between climate change adaptation and disaster risk reduction. *International journal of disaster risk reduction*, 46, 101616.

Buzachis, A., Fazio, M., Galletta, A., Celesti, A., & Villari, M. (2019). Infrastructureless IoT-as-a-service for public safety and disaster response. In *2019 7th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)* (pp. 133-140). IEEE.

Carri, A., Valletta, A., Cavalca, E., Savi, R., & Segalini, A. (2021). Advantages of IoT-based geotechnical monitoring systems integrating automatic procedures for data acquisition and elaboration. *Sensors*, 21(6), 2249.

Damasevicius, R., Bacanin, N., & Misra, S. (2023). From sensors to safety: Internet of Emergency Services (IoES) for emergency response and disaster management. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 12(3), 41.

Damaševičius, R., Bacanin, N., & Misra, S. (2023). From sensors to safety: Internet of Emergency Services (IoES) for emergency response and disaster management. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 12(3), 41.

- Dar, B. K., Shah, M. A., Shahid, H., Fizzah, F., & Amjad, Z. (2018). An architecture for fog computing enabled Emergency Response and Disaster Management System (ERDMS). In *2018 24th International Conference on Automation and Computing (ICAC)* (pp. 1-6). IEEE.
- Dhiviya, S., Malathy, S., & Kumar, D. R. (2018). Internet of things (IoT) elements, trends and applications. *Journal of computational and theoretical nanoscience*, 15(5), 1639-1643.
- Dilling, L., Daly, M. E., Travis, W. R., Wilhelmi, O. V., & Klein, R. A. (2015). The dynamics of vulnerability: why adapting to climate variability will not always prepare us for climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6(4), 413-425.
- Dorsemaine, B., Gaulier, J. P., Wary, J. P., Kheir, N., & Urien, P. (2015). Internet of things: a definition & taxonomy. In *2015 9th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies* (pp. 72-77). IEEE.
- Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y., & Hindia, M. N. (2018). An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. *IEEE Internet of things Journal*, 5(5), 3758-3773.
- Elvas, L. B., Mataloto, B. M., Martins, A. L., & Ferreira, J. C. (2021). Disaster management in smart cities. *Smart Cities*, 4(2), 819-839.
- Esposito, M., Palma, L., Belli, A., Sabbatini, L., & Pierleoni, P. (2022). Recent advances in internet of things solutions for early warning systems: A review. *Sensors*, 22(6), 2124.
- Fang, S., Da Xu, L., Zhu, Y., Ahati, J., Pei, H., Yan, J., & Liu, Z. (2014). An integrated system for regional environmental monitoring and management based on internet of things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1596-1605.
- Firouzi, F., Farahani, B., Weinberger, M., DePace, G., & Aliee, F. S. (2020). IoT fundamentals: Definitions, architectures, challenges, and promises. *Intelligent Internet of Things: From Device to Fog and Cloud*, 3-50.
- Fonseca, L. M., Domingues, J. P., & Dima, A. M. (2020). Mapping the sustainable development goals relationships. *Sustainability*, 12(8), 3359.
- Furquim, G., Filho, G. P., Jalali, R., Pessin, G., Pazzi, R. W., & Ueyama, J. (2018). How to improve fault tolerance in disaster predictions: a case study about flash floods using IoT, ML and real data. *Sensors*, 18(3), 907.

Giroto, C. D., Piadeh, F., Bkhtiari, V., Behzadian, K., Chen, A. S., Campos, L. C., & Zolgharni, M. (2023). A critical review of digital technology innovations for early warning of water-related disease outbreaks associated with climatic hazards. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 104151.

Goniewicz, K., & Burkle, F. M. (2019). Analysis of the potential of IT system support in early warning systems: mitigating flood risk in Poland. *Prehospital and disaster medicine*, 34(5), 563-565.

Guth, J., Breitenbücher, U., Falkenthal, M., Fremantle, P., Kopp, O., Leymann, F., & Reinfurt, L. (2018). A detailed analysis of IoT platform architectures: concepts, similarities, and differences. *Internet of everything: algorithms, methodologies, technologies and perspectives*, 81-101.

Guzzetti, F., Gariano, S. L., Peruccacci, S., Brunetti, M. T., Marchesini, I., Rossi, M., & Melillo, M. (2020). Geographical landslide early warning systems. *Earth-Science Reviews*, 200, 102973.

Hák, T., Janoušková, S., & Moldan, B. (2016). Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators. *Ecological indicators*, 60, 565-573.

Hasan, M. M., Rahman, M. A., Sedigh, A., Khasanah, A. U., Asyhari, A. T., Tao, H., & Bakar, S. A. (2021). Search and rescue operation in flooded areas: A survey on emerging sensor networking-enabled IoT-oriented technologies and applications. *Cognitive Systems Research*, 67, 104-123.

Hassan, M. N., Islam, M. R., Faisal, F., Semantha, F. H., Siddique, A. H., & Hasan, M. (2020). An IoT based environment monitoring system. In *2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)* (pp. 1119-1124). IEEE.

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 151 pp.

Islam, R. U., Andersson, K., & Hossain, M. S. (2017). Heterogeneous wireless sensor networks using CoAP and SMS to predict natural disasters. In *2017 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)* (pp. 30-35). IEEE.

- Islam, S., Chu, C., & Smart, J. C. (2020). Challenges in integrating disaster risk reduction and climate change adaptation: Exploring the Bangladesh case. *International journal of disaster risk reduction*, 47, 101540.
- Jan, F., Min-Allah, N., & Düşteğör, D. (2021). IoT based smart water quality monitoring: Recent techniques, trends and challenges for domestic applications. *Water*, 13(13), 1729.
- Kamruzzaman, M. D., Sarkar, N. I., Gutierrez, J., & Ray, S. K. (2017). A study of IoT-based post-disaster management. In *2017 international conference on information networking (ICOIN)* (pp. 406-410). IEEE.
- Kelman, I., & Glantz, M. H. (2014). Early warning systems defined. *Reducing disaster: Early warning systems for climate change*, 89-108.
- Khan, A., Gupta, S., & Gupta, S. K. (2020). Multi-hazard disaster studies: Monitoring, detection, recovery, and management, based on emerging technologies and optimal techniques. *International journal of disaster risk reduction*, 47, 101642.
- Khan, S. M., Shafi, I., Butt, W. H., Diez, I. D. L. T., Flores, M. A. L., Galán, J. C., & Ashraf, I. (2023). A Systematic Review of Disaster Management Systems: Approaches, Challenges, and Future Directions. *Land*, 12(8), 1514.
- Kim, W. S., Lee, W. S., & Kim, Y. J. (2020). A review of the applications of the internet of things (IoT) for agricultural automation. *Journal of Biosystems Engineering*, 45, 385-400.
- Krichen, M., Abdalzaher, M. S., Elwekeil, M., & Fouda, M. M. (2023). Managing natural disasters: An analysis of technological advancements, opportunities, and challenges. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*.
- Krytska, Y., Skarga-Bandurova, I., & Velykzhanin, A. (2017). IoT-based situation awareness support system for real-time emergency management. In *2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)* (Vol. 2, pp. 955-960). IEEE.
- Kumar, N. M., & Mallick, P. K. (2018). The Internet of Things: Insights into the building blocks, component interactions, and architecture layers. *Procedia computer science*, 132, 109-117.
- Lavric, A., Petrariu, A. I., & Popa, V. (2019). Long range sigfox communication protocol scalability analysis under large-scale, high-density conditions. *IEEE Access*, 7, 35816-35825.

- Lei, T., Lv, F., Liu, J., & Feng, J. (2022). Research on electrical equipment monitoring and early warning system based on Internet of things technology. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1-12.
- Li, N., Sun, M., Bi, Z., Su, Z., & Wang, C. (2014). A new methodology to support group decision-making for IoT-based emergency response systems. *Information systems frontiers*, 16, 953-977.
- Li, Q. (2022). Emergency Broadcasting System Based on Cable Digital Network and Communication 4G Network.
- Lukau, E., Hellriegel, J., & Klafft, M. (2023). *Towards a general methodology to assess the ease of use of public safety applications and crisis communications services*.
- Mall, R. K., Srivastava, R. K., Banerjee, T., Mishra, O. P., Bhatt, D., & Sonkar, G. (2019). Disaster risk reduction including climate change adaptation over south Asia: challenges and ways forward. *International Journal of Disaster Risk Science*, 10, 14-27.
- Mirani, A. A., Memon, M. S., Bhati, M. N., Soomro, M. A., & Rahu, M. A. (2017). Taxonomy of ubiquitous computing: Applications and challenges. In *2017 International Conference on Information and Communication Technologies (Icict)* (pp. 202-208). IEEE.
- Mohammad, N., Muhammad, S., Bashar, A., & Khan, M. A. (2019). Formal analysis of human-assisted smart city emergency services. *Ieee Access*, 7, 60376-60388.
- Mois, G., Folea, S., & Sanislav, T. (2017). Analysis of three IoT-based wireless sensors for environmental monitoring. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 66(8), 2056-2064.
- Munawar, H. S., Mojtahedi, M., Hammad, A. W., Kouzani, A., & Mahmud, M. P. (2022). Disruptive technologies as a solution for disaster risk management: A review. *Science of the Total Environment*, 806, 151351.
- Nitti, M., Pilloni, V., Colistra, G., & Atzori, L. (2015). The virtual object as a major element of the Internet of Things: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(2), 1228-1240.
- Nizetic, S., Solić, P., Gonzalez-De, D. L. D. I., & Patrono, L. (2020). Internet of Things (IoT): Opportunities, issues and challenges towards a smart and sustainable future. *Journal of cleaner production*, 274, 122877.

O'Sullivan, T. L., Kuziemy, C. E., Toal-Sullivan, D., & Corneil, W. (2013). Unraveling the complexities of disaster management: A framework for critical social infrastructure to promote population health and resilience. *Social science & medicine*, 93, 238-246.

Paterson, J., Berry, P., Ebi, K., & Varangu, L. (2014). Health care facilities resilient to climate change impacts. *International journal of environmental research and public health*, 11(12), 13097-13116.

Paul, J. D., Bee, E., & Budimir, M. (2021). Mobile phone technologies for disaster risk reduction. *Climate Risk Management*, 32, 100296.

Pujar, P. M., Kulkarni, U. M., Kulkarni, R. M., & Kenchannavar, H. H. (2022). Internet of Things-based disaster management system. In *Nanotechnology-Based Smart Remote Sensing Networks for Disaster Prevention* (pp. 59-84). Elsevier.

Qi, X., Yu, K., Sato, T., Shibata, K., Brigham, E., Tokutake, T., ... & Sato, T. (2021). Ledger-based Points Transfer System in LPWAN: From Disaster Management Aspect. In *2021 International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM)* (pp. 150-155). IEEE.

Rajendran, S., Jadhav, S. A., Praba, J. A., Muthukumaran, D., Kiran, K., & Sharma, S. (2023). Leveraging the Internet of Things (IoT) for Disaster Management: Enhancing Resilience, Early Warning System in a Globally Connected World. In *2023 9th International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS)* (pp. 1-6). IEEE.

Rajendran, S., Jadhav, S. A., Praba, J. A., Muthukumaran, D., Kiran, K., & Sharma, S. (2023). Leveraging the Internet of Things (IoT) for Disaster Management: Enhancing Resilience, Early Warning System in a Globally Connected World. In *2023 9th International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS)* (pp. 1-6). IEEE.

Ramaki, A. A., & Atani, R. E. (2016). A survey of IT early warning systems: architectures, challenges, and solutions. *Security and Communication Networks*, 9(17), 4751-4776.

Ramchurn, S. D., Huynh, T. D., Wu, F., Ikuno, Y., Flann, J., Moreau, L., ... & Jennings, N. R. (2016). A disaster response system based on human-agent collectives. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 57, 661-708.

Rastogi, N., & Sharma, A. K. (2022). Measuring the Efficiency of LPWAN in Disaster Logistics System. In *International Conference on Artificial Intelligence and Sustainable*

Engineering: Select Proceedings of AISE 2020, Volume 1 (pp. 131-149). Singapore: Springer Nature Singapore.

Ray, P. P., Mukherjee, M., & Shu, L. (2017). Internet of things for disaster management: State-of-the-art and prospects. *IEEE Access*, 5, 18818-18835.

Sadiq, A. A., Okhai, R., Tyler, J., & Entress, R. (2023). Public alert and warning system literature review in the USA: identifying research gaps and lessons for practice. *Natural hazards*, 1-34.

Sahardande, P., Hanagal, S., & Kulkarni, S. (2016). Design of disaster management system using IoT based interconnected network with smart city monitoring. In *2016 international conference on internet of things and applications (IOTA)* (pp. 185-190). IEEE.

Sakic Trogrlic, R., van den Homberg, M., Budimir, M., McQuistan, C., Sneddon, A., & Golding, B. (2022). Early warning systems and their role in disaster risk reduction. In *Towards the "Perfect" Weather Warning: Bridging Disciplinary Gaps through Partnership and Communication* (pp. 11-46). Cham: Springer International Publishing.

Šakić Trogrlić, R., van den Homberg, M., Budimir, M., McQuistan, C., Sneddon, A., & Golding, B. (2022). *Early warning systems and their role in disaster risk reduction. In Towards the "Perfect" Weather Warning: Bridging Disciplinary Gaps through Partnership and Communication* (pp. 11-46). Cham: Springer International Publishing.

Satria, D., Yana, S., Hidayat, T., Syahreza, S., Yusibani, E., & Munadi, R. (2019). Application of GSM communication system on flood alarm systems. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1232, No. 1, p. 012023). IOP Publishing.

Segalini, A., Savi, R., Cavalca, E., Valletta, A., & Carri, A. (2021). Innovative application of IoT technologies to improve geotechnical monitoring tools and early warning performances. In *Critical Thinking in the Sustainable Rehabilitation and Risk Management of the Built Environment: CRIT-RE-BUILT. Proceedings of the International Conference, Iași, Romania, November 7-9, 2019* (pp. 142-146). Springer International Publishing.

Shah, S. A., Seker, D. Z., Hameed, S., & Draheim, D. (2019). The rising role of big data analytics and IoT in disaster management: recent advances, taxonomy and prospects. *IEEE Access*, 7, 54595-54614.

Shah, S. A., Seker, D. Z., Hameed, S., & Draheim, D. (2019b). The rising role of big data analytics and IoT in disaster management: recent advances, taxonomy and prospects. *IEEE Access*, 7, 54595-54614.

Shah, S. A., Seker, D. Z., Rathore, M. M., Hameed, S., Yahia, S. B., & Draheim, D. (2019). Towards disaster resilient smart cities: Can internet of things and big data analytics be the game changers?. *IEEE Access*, 7, 91885-91903.

Shah, S. A., Seker, D. Z., Rathore, M. M., Hameed, S., Yahia, S. B., & Draheim, D. (2019a). Towards disaster resilient smart cities: Can internet of things and big data analytics be the game changers?. *IEEE Access*, 7, 91885-91903.

Sharma, K., Anand, D., Sabharwal, M., Tiwari, P. K., Cheikhrouhou, O., & Frikha, T. (2021). A disaster management framework using Internet of Things-based interconnected devices. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 1-21.

Sharma, K., Anand, D., Sabharwal, M., Tiwari, P. K., Cheikhrouhou, O., & Frikha, T. (2021). A disaster management framework using internet of things-based interconnected devices. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 1-21.

Sinha, A., Kumar, P., Rana, N. P., Islam, R., & Dwivedi, Y. K. (2019). Impact of Internet of Things (IoT) in disaster management: a task-technology fit perspective. *Annals of Operations Research*, 283, 759-794.

Sneddon, C., Howarth, R. B., & Norgaard, R. B. (2006). Sustainable development in a post-Brundtland world. *Ecological Economics*, 57(2), 253-268.

Srinivasa Kumar, T., & Manneela, S. (2021). A review of the progress, challenges and future trends in tsunami early warning systems. *Journal of the Geological Society of India*, 97, 1533-1544.

Srivastava, M., & Kumar, R. (2021). Smart environmental monitoring based on IoT: Architecture, issues, and challenges. In *Advances in Computational Intelligence and Communication Technology: Proceedings of CICT 2019* (pp. 349-358). Springer Singapore.

Tomislav, K. (2018). The concept of sustainable development: From its beginning to the contemporary issues. *Zagreb International Review of Economics & Business*, 21(1), 67-94.

Truong, H. L., & Dustdar, S. (2015). Principles for engineering IoT cloud systems. *IEEE Cloud Computing*, 2(2), 68-76.

Ullo, S. L., & Sinha, G. R. (2020). Advances in smart environment monitoring systems using IoT and sensors. *Sensors*, 20(11), 3113.

Uviase, O., & Kotonya, G. (2018). IoT architectural framework: connection and integration framework for IoT systems. <https://arxiv.org/pdf/1803.04780v1.pdf>

Wang, Y., Ho, I. W. H., Chen, Y., Wang, Y., & Lin, Y. (2021). *Real-time water quality monitoring and estimation in AIoT for freshwater biodiversity conservation*. IEEE Internet of Things Journal.

World Meteorological Association. (2022). State of the global climate 2021.

Xie, Y., Liu, J., Zhu, S., Chong, D., Shi, H., & Chen, Y. (2019). An IoT-based risk warning system for smart libraries. *Library Hi Tech*, 37(4), 918-932.

Xu, G., Shi, Y., Sun, X., & Shen, W. (2019). Internet of things in marine environment monitoring: A review. *Sensors*, 19(7), 1711.

Xu, X., Zhang, L., Sotiriadis, S., Asimakopoulou, E., Li, M., & Bessis, N. (2018). CLOTHO: A large-scale Internet of Things-based crowd evacuation planning system for disaster management. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(5), 3559-3568.

Yang, L., Yang, S. H., & Plotnick, L. (2013). How the internet of things technology enhances emergency response operations. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(9), 1854-1867.

Zafar, U., Shah, M. A., Wahid, A., Akhunzada, A., & Arif, S. (2019). Exploring IoT applications for disaster management: identifying key factors and proposing future directions. *Recent trends and advances in wireless and IoT-enabled networks*, 291-309.

Zeng, F., Pang, C., & Tang, H. (2023). Sensors on the internet of things systems for urban disaster management: a systematic literature review. *Sensors*, 23(17), 7475.

Zhou, C., & Ding, L. Y. (2017). Safety barrier warning system for underground construction sites using Internet-of-Things technologies. *Automation in Construction*, 83, 372-389.

Zuccaro, G., Leone, M. F., & Martucci, C. (2020). Future research and innovation priorities in the field of natural hazards, disaster risk reduction, disaster risk management and climate change adaptation: A shared vision from the ESPREsSO project. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101783.