



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

## **Πτυχιακή/ Διπλωματική Εργασία**

### **Τίτλος εργασίας**

**Μελέτη και σχεδιασμός οικολογικού συστήματος υποβοήθησης ύδρευσης  
οικισμών σε περίπτωση πυρκαγιάς**

**Συγγραφέας/είς**

**Όνοματεπώνυμο: Ιωάννης Ζαννίκος**

**ΑΜ: 222017033**

**Επιβλέπων/ουσα:**

**Όνοματεπώνυμο: Χρήστος Δρόσος**

**Αθήνα, Ιούλιος 2024**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**SCHOOL OF ENGINEERS**  
**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND PRODUCTION**

## **Diploma Thesis**

### **Title**

**Study and design of an ecological system to assist the water supply of settlements in case of fire**

**Student name and surname:**

**Ioannis Zannikos**

**Registration Number:**

**222017033**

**Supervisor name and surname:**

**Christos Drosos**

**Athens, July 2024**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ  
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**Τίτλος εργασίας**

**Μελέτη και σχεδιασμός οικολογικού συστήματος υποβοήθησης ύδρευσης  
οικισμών σε περίπτωση πυρκαγιάς**

**Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή**

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

<b>A/a</b>	<b>ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	Χρήστος Δρόσος	Επίκουρος Καθηγητής	
2	Νίκος Λάσκαρης	Επίκουρος Καθηγητής	
3	Ευάγγελος Παπακίτσος	Μέλος ΕΔΠΠ	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ιωάννης Ζαννίκος, του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 222017033 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, 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».

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

Ο/Η Δηλών/ούσα



Γιάννης Ζαννίκος

\* 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](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)

## Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν θα ήταν δυνατή χωρίς τη συνδρομή και την υποστήριξη πολλών ανθρώπων, στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες.

Πρώτα απ' όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Χρήστο Δρόσο, για την καθοδήγηση, την υποστήριξη και τις συμβουλές του κατά τη διάρκεια της εργασίας μου. Η γνώση και η εμπειρία του ήταν ανεκτίμητες για την ολοκλήρωση αυτής της έρευνας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της επιτροπής αξιολόγησης, κ. Νίκο Λάσκαρη και κ. Ευάγγελο Παπακίτσο για το χρόνο και την προσοχή που αφιέρωσαν στην αξιολόγηση της εργασίας μου, καθώς και για τα εποικοδομητικά τους σχόλια.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω στην οικογένειά μου, που με στήριξε όλα τα χρόνια ώστε να φτάσω στο πέρας των σπουδών μου. Η υπομονή και η κατανόηση τους ήταν καθοριστικής σημασίας για την επίτευξη των στόχων μου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Η υποστήριξη και η συμβολή όλων σας ήταν ανεκτίμητη.

## Περίληψη

Η αυξανόμενη συχνότητα και ένταση των πυρκαγιών λόγω κλιματικών αλλαγών, σε συνδυασμό με τις αρνητικές επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, έχουν καταδείξει την ανάγκη για καλύτερη διαχείριση των διαθέσιμων υδάτινων πόρων και την θωράκιση των υποδομών ύδρευσης. Στην εργασία αυτή εξετάζονται τρόποι ενίσχυσης των υδάτινων αποθεμάτων μέσω οικολογικών λύσεων και παρεμβάσεων, τόσο στη φύση όσο και στις ανθρώπινες υποδομές με απώτερο σκοπό την αμεσότερη και αποτελεσματικότερη διαχείριση πυρκαγιών που ξεσπούν σε δασικές εκτάσεις και απειλούν παρακείμενους οικισμούς. Συγκεκριμένα διερευνάται η συλλογή και επαναχρησιμοποίηση βρόχινου και γκρίζου νερού ως βιώσιμη λύση για την ενίσχυση της διαθεσιμότητας νερού κατά την πυρόσβεση και τη μείωση της εξάρτησης από πόσιμους υδάτινους πόρους. Η εργασία παρουσιάζει τεχνολογικές προόδους και καινοτόμες πρακτικές για την επεξεργασία και συλλογή νερού, καθώς και την ενσωμάτωση έξυπνων δικτύων νερού για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της ανθεκτικότητας των συστημάτων ύδρευσης, σε συνδυασμό με εφαρμογή καινοτόμων υλικών ανθεκτικών στις υψηλές θερμοκρασίες. Πλήθος εφαρμοσμένων παραδειγμάτων όλων αυτών των πρακτικών ανά τον κόσμο, αναδεικνύει την αποτελεσματικότητά τους και την αναγκαιότητα συνεχούς ανάπτυξής τους.

Κλιματική αλλαγή, Πυρκαγιές, Απομακρυσμένοι Οικισμοί, Διαχείριση υδάτινων πόρων, Υποδομές ύδρευσης, Οικολογικές λύσεις, Συλλογή βρόχινου νερού, Συλλογή και διαχείριση Γκρίζου νερού, Έξυπνα δίκτυα νερού, Πυρόσβεση, Υδάτινα αποθέματα

### **Abstract**

The increasing frequency and intensity of wildfires due to climate change, combined with the negative impacts of human activities, have highlighted the need for better management of available water resources and the fortification of water supply infrastructure. This study examines ways to enhance water reserves through ecological solutions and interventions, both in nature and human infrastructure, with the ultimate goal of more immediate and effective wildfire management in forest areas that threaten adjacent settlements. Specifically, the collection and reuse of rainwater and greywater are investigated as sustainable solutions to enhance water availability for firefighting and reduce dependence on potable water resources. The study presents technological advancements and innovative practices for water treatment and collection, as well as the integration of smart water networks to improve the efficiency and resilience of water supply systems, combined with the application of innovative materials resistant to high temperatures. Numerous applied examples of these practices worldwide highlight their effectiveness and the necessity for their continuous development.

### **Keywords**

Climate change, Wildfires, Remote Settlements, Water resource management, Water supply infrastructure, Ecological solutions, Rainwater collection, Greywater collection and management, Smart water networks, Firefighting, Water reserves

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή .....	9
1.1	Ερευνητικοί Στόχοι.....	9
1.2	Σημαντικότητα της Μελέτης.....	10
2.	Συχνότητα και έκταση των πυρκαγιών παγκοσμίως	
2.1	Ευρώπη .....	11
2.2	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.....	15
2.3	ΑΦΡΙΚΗ .....	17
2.4	ΑΣΙΑ .....	18
2.5	Ανάγκη διαχείρισης υδάτινων αποθεμάτων .....	21
3.	Διαχείριση υδάτινων πόρων .....	24
3.1	Προκλήσεις στη Διαχείριση Νερού κατά τη Διάρκεια Πυρκαγιών .....	24
3.2	Οικολογικές Προσεγγίσεις στη Διαχείριση Νερού .....	25
3.2.1	Διαχείριση Λεκανών Απορροής: Ενίσχυση της Διαθεσιμότητας Νερού και Μείωση της Απορροής μέσω Βιώσιμων Πρακτικών .....	26
3.2.2	Συλλογή Όμβριων Υδάτων - Κατάσβεση πυρκαγιών .....	34
3.2.3	Συλλογή και αποθήκευση Γκρίζου Νερού - Υποδομές και Χρήση του για Πυρόσβεση .....	38
3.3	Τεχνολογίες και Καινοτομίες για την Ανθεκτικότητα της Υδροδότησης .....	42
3.3.1	Έξυπνα Δίκτυα Νερού: Βελτιστοποίηση της Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων και Αντιμετώπιση Έκτακτων Αναγκών .....	42
3.3.2	Καινοτομίες στα Υλικά .....	44
4.	Ενσωμάτωση Οικολογικών και Τεχνολογικών Λύσεων - Μελέτη Εφαρμογής.....	46
5.	Σύνοψη .....	53
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	54



# 1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, στα όρια των αστικών περιοχών με τις δασικές εκτάσεις, συχνά αναφερόμενες ως το μεταίχμιο της “άγριας/δασικής - αστικής” περιοχής (Wild - Urban Intersection), έχει σημειωθεί αυξανόμενη συχνότητα και ένταση πυρκαγιών. Η αυξημένη συχνότητα πυρκαγιών προκαλεί μεγάλο φόρτο στα υπάρχοντα συστήματα υδροδότησης, αναδεικνύοντας την επείγουσα ανάγκη για κατασκευή πιο ανθεκτικών υποδομών. Οι πυρκαγιές απειλούν όχι μόνο τη φυσική διαθεσιμότητα του νερού αλλά και την ποιότητά του, καθώς οι ζημιές στις υποδομές μπορεί να οδηγήσουν σε μόλυνση και μακροχρόνια έλλειψη νερού. Η κρίσιμη ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση νερού κατά τη διάρκεια τέτοιων εκτάκτων περιστάσεων απαιτεί καινοτόμες προσεγγίσεις που ενσωματώνουν οικολογικές αρχές για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας και βιωσιμότητας των συστημάτων. [1],[2]

Οι οικισμοί που βρίσκονται σε περιοχές επιρρεπείς σε πυρκαγιές συχνά αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις στη διαχείριση των υδάτινων πόρων κατά τη διάρκεια πυρκαγιών. Τα παραδοσιακά συστήματα ύδρευσης, που έχουν σχεδιαστεί κυρίως για οικιακή και εμπορική κατανάλωση, συχνά δεν έχουν την ικανότητα να διαχειριστούν την απότομη αύξηση της ζήτησης που απαιτείται για την πυρόσβεση και την γρήγορη και αποδοτική απόκριση σε έκτακτες ανάγκες. Η ανεπάρκεια αυτών των συστημάτων κατά τη διάρκεια κρίσεων μπορεί να οδηγήσει σε γρήγορη εξάντληση των αποθεμάτων νερού, εμποδίζοντας τις προσπάθειες πυρόσβεσης και αυξάνοντας την επίδραση της φυσικής καταστροφής στην κοινότητα.

Επιπλέον, η αυξημένη ζήτηση μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της πίεσης του νερού, ανεπαρκείς ρυθμούς ροής και την πιθανή εισαγωγή μολυσματικών ουσιών στο σύστημα ύδρευσης, περιπλέκοντας περαιτέρω τις προσπάθειες αντιμετώπισης και ανάκαμψης μετά την κρίση. [3]

Αυτή η μελέτη στοχεύει να εξερευνήσει οικολογικά συστήματα που μπορούν να σχεδιαστούν ειδικά για την υποστήριξη και την ενίσχυση της υποδομής ύδρευσης σε οικισμούς που αντιμετωπίζουν απειλές από πυρκαγιές, διασφαλίζοντας τόσο τη διαθεσιμότητα όσο και την ασφάλεια του νερού κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς αλλά και έπειτα από αυτήν.

## 1.1 Ερευνητικοί Στόχοι

Η μελέτη καθοδηγείται από τον απώτερο στόχο της ορθής διαχείρισης των υδατικών αποθεμάτων και της μελέτης βιώσιμων καινοτόμων πρακτικών, ώστε να απλοποιηθεί η ενσωμάτωση οικολογικών συστημάτων σε υπάρχοντα πλαίσια διαχείρισης νερού για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας στις πυρκαγιές. Οι επιμέρους στόχοι περιλαμβάνουν:

- Να αξιολογηθούν οι ευπάθειες των τρεχόντων συστημάτων ύδρευσης σε οικισμούς που είναι επιρρεπείς σε πυρκαγιές. Αυτό περιλαμβάνει την ανάλυση των μηχανισμών της αποτυχίας αυτών των συστημάτων κατά τη διάρκεια εκτάκτων καταστάσεων και την αναγνώριση των κύριων παραγόντων που συμβάλλουν στην ευπάθεια τους.
- Να διερευνηθούν οι δυνατότητες των οικολογικών λύσεων στην υποστήριξη της ύδρευσης κατά τη διάρκεια πυρκαγιών. Αυτό θα περιλαμβάνει την έρευνα βιώσιμων και καινοτόμων οικολογικών τεχνολογιών και πρακτικών που μπορούν να ενσωματωθούν στα συστήματα διαχείρισης νερού για τη βελτίωση της λειτουργικότητάς τους κατά τη διάρκεια έκτακτων καταστάσεων πυρκαγιάς.

Να γίνει διεξοδική μελέτη συγκεκριμένης περιοχής όπου εφαρμόζεται η οικολογική διαχείριση νερού για μη πόσιμες ανάγκες και πυρόσβεση. Η μελέτη αυτή θα εξετάζει την εφαρμογή οικολογικών συστημάτων συλλογής και επεξεργασίας νερού, αναλύοντας την αποτελεσματικότητά τους στη μείωση της εξάρτησης από πόσιμους υδάτινους πόρους και την ενίσχυση της ανθεκτικότητας στις πυρκαγιές, συμβάλλοντας έτσι στη βελτίωση της συνολικής βιωσιμότητας της περιοχής.

## 1.2 Σημαντικότητα της Μελέτης

Η σημαντικότητα αυτής της μελέτης έγκειται στο ότι μπορεί να προσφέρει πολύτιμες γνώσεις στον τομέα της διαχείρισης καταστροφών και της περιβαλλοντικής μηχανικής. Εστιάζοντας σε οικολογικά συστήματα που ενισχύουν την ανθεκτικότητα της ύδρευσης, αυτή η έρευνα αντιμετωπίζει ένα κρίσιμο κενό στις τρέχουσες πρακτικές διαχείρισης νερού, ιδιαίτερα σε περιοχές επιρρεπείς σε πυρκαγιές. Τα ευρήματα θα μπορούσαν να προσφέρουν μια βάση για τους πολιτικούς, τους αστικούς σχεδιαστές και τους ηγέτες των κοινοτήτων να εφαρμόσουν πιο αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης νερού, οδηγώντας τελικά σε πιο ασφαλείς και βιώσιμες κοινότητες. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της μελέτης μπορούν να προσφέρουν ένα μοντέλο που μπορεί να προσαρμοστεί σε διάφορα παγκόσμια πλαίσια, διευρύνοντας έτσι την εφαρμογή και την επίδρασή του στη βελτίωση της παγκόσμιας ανθεκτικότητας σε περιβαλλοντικές καταστροφές.

## 2. Συχνότητα και έκταση των πυρκαγιών παγκοσμίως

### 2.1 Ευρώπη

Η Ευρώπη τις τελευταίες δεκαετίες έχει αντιμετωπίσει αύξηση των πυρκαγιών, κυρίως λόγω της κλιματικής αλλαγής και των ανθρωπογενών παραγόντων. Οι χώρες της Μεσογείου, όπως η Ισπανία, η Πορτογαλία, η Ιταλία και η Ελλάδα, είναι ιδιαίτερα ευάλωτες. Τα δεδομένα δείχνουν ότι οι πυρκαγιές έχουν αυξηθεί σε συχνότητα και έκταση, καταστρέφοντας εκατομμύρια στρέμματα δασικών και αγροτικών εκτάσεων. [4]

Για την σφαιρική κατανομή του μεγέθους του προβλήματος, αλλά και των παραγόντων που εισφέρουν στην ολόενα κλιμακούμενη έκταση των φαινομένων, έχουν γίνει διεξοδικές μελέτες. Στη συνέχεια ακολουθεί συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων ορισμένων ερευνών.

#### "Evolving Risk of Wildfires in Europe"

Η μελέτη αυτή εξετάζει την αυξανόμενη απειλή των πυρκαγιών στην Ευρώπη, οι οποίες αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα της περιοχής. Οι ακραίες πυρκαγιές, αν και λιγότερες από το 2% του συνολικού αριθμού των πυρκαγιών, προκαλούν το μεγαλύτερο μέρος των ζημιών. Η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και η συχνότητα των σοβαρών ξηρασιών έχουν επιμηκύνει σημαντικά την περίοδο των πυρκαγιών. Από το 2000 έως το 2017, η Ευρώπη αντιμετώπισε πάνω από 50 μεγάλες πυρκαγιές ετησίως, με την περίοδο πυρκαγιών να διαρκεί κατά μέσο όρο 45 ημέρες περισσότερο από την περίοδο 1980-1999.

Οι πυρκαγιές είναι υπεύθυνες για την απώλεια περίπου 500.000 εκταρίων δασικής έκτασης κάθε χρόνο, με το 95% των πυρκαγιών να προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η γεωργία, η βιομηχανία και οι κατασκευές. Αυτές οι δραστηριότητες αυξάνουν την ευπάθεια των δασικών περιοχών σε πυρκαγιές και συμβάλλουν στην ένταση και τη συχνότητά τους.

Αναδεικνύεται επομένως η ανάγκη για στροφή από την καταστολή στην πρόληψη των πυρκαγιών. Η δημιουργία και διατήρηση ζωνών ασφαλείας γύρω από τις κατοικημένες περιοχές, καθώς και η διαχείριση των καυσίμων, μπορούν να μειώσουν σημαντικά τον κίνδυνο πυρκαγιών και τις οικονομικές απώλειες. Η ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού είναι κρίσιμης σημασίας, καθώς μπορεί να μειώσει την εμφάνιση πυρκαγιών κατά 30%.

Επιπλέον, η χρήση τεχνολογιών, όπως τα δορυφορικά συστήματα, έχει βελτιώσει την ικανότητα πρόγνωσης και αντίδρασης στις πυρκαγιές. Οι νέες τεχνολογίες επιτρέπουν τη λεπτομερή παρακολούθηση της υγρασίας των καυσίμων και των καιρικών συνθηκών, βελτιώνοντας την προετοιμασία και την απόκριση. Η Πορτογαλία, για παράδειγμα, έχει εφαρμόσει επιτυχημένες πρακτικές διαχείρισης πυρκαγιών, μειώνοντας τον αριθμό των πυρκαγιών κατά 50% την τελευταία δεκαετία. Η Τουρκία έχει υιοθετήσει συστήματα παρακολούθησης βίντεο για την έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιών, μειώνοντας τον χρόνο αντίδρασης κατά 20%. [5]

#### "Cross-country risk quantification of extreme wildfires in Mediterranean Europe"

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχει πληθώρα δεδομένων για την αξιολόγηση του κινδύνου εμφάνισης ακραίων πυρκαγιών για τις μεσογειακές χώρες της Ευρώπης, συγκεκριμένα την Πορτογαλία, την Ισπανία, την Ιταλία, την Ελλάδα και τη Γαλλία. Χρησιμοποιώντας δεδομένα από το Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών για τις Πυρκαγιές Δασών (EFFIS) και την ακραία ανάλυση τιμών (Extreme Value Analysis), οι ερευνητές αναλύουν τη συχνότητα και την ένταση των πυρκαγιών.

Η Πορτογαλία καταγράφει τις περισσότερες πυρκαγιές με μέση ετήσια καμένη έκταση 474 εκτάρια και μέγιστη καμένη έκταση 67.521 εκτάρια το 2017. Στην Ισπανία καταγράφηκαν 2.412 πυρκαγιές, με μέση ετήσια καμένη έκταση 386 εκτάρια και μέγιστη καμένη έκταση 32.424 εκτάρια. Στη Γαλλία καταγράφηκαν 668 πυρκαγιές, με μέση ετήσια καμένη έκταση 171 εκτάρια και μέγιστη καμένη έκταση 3.555 εκτάρια. Στην Ιταλία καταγράφηκαν 3.260 πυρκαγιές, με μέση ετήσια καμένη έκταση 204 εκτάρια και μέγιστη καμένη έκταση 11.550 εκτάρια. Στην Ελλάδα καταγράφηκαν 748 πυρκαγιές, με μέση ετήσια καμένη έκταση 761 εκτάρια και μέγιστη καμένη έκταση 45.809 εκτάρια.

Η ανάλυση δείχνει ότι οι πιθανότητες επιστροφής των ακραίων πυρκαγιών είναι υψηλότερες στην Πορτογαλία,

ακολουθούμενες από την Ελλάδα, την Ισπανία και την Ιταλία. Συγκεκριμένα, η 10-ετή μεσοσταθμική ετήσια πληγείσα έκταση από ακραία καταστροφικές πυρκαγιές στην Πορτογαλία είναι 50.338 εκτάρια, στην Ελλάδα 33.242 εκτάρια, στην Ισπανία 25.165 εκτάρια και στην Ιταλία 8.966 εκτάρια. Οι οικονομικές απώλειες από τις ακραίες πυρκαγιές εκτιμήθηκαν βάσει των δεδομένων καμένων εκτάσεων και των υπάρχουσών μελετών. Οι αναμενόμενες απώλειες για 10-ετή περίοδο είναι 162–439 εκατομμύρια ευρώ στην Πορτογαλία, 81–219 εκατομμύρια ευρώ στην Ισπανία, 41–290 εκατομμύρια ευρώ στην Ελλάδα και 18–78 εκατομμύρια ευρώ στην Ιταλία.

Τονίζεται επίσης η σημασία της κλιματικής αλλαγής και των καιρικών συνθηκών, όπως ο Δείκτης Καιρικών Συνθηκών Πυρκαγιάς (FWI), ως σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση και τη συχνότητα των πυρκαγιών. Η ανάλυση καταλήγει στο ότι η πρόληψη και η καλύτερη διαχείριση των καμένων εκτάσεων μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη μείωση των οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων των πυρκαγιών.[6]

### **"Quantitative Assessment of the Relationship between Land Use - Land Cover Changes and Wildfires in Southern Europe"**

Η μελέτη αυτή εξετάζει τη σχέση μεταξύ των αλλαγών στη χρήση/κάλυψη γης (Land Use Land Cover Changes) και των πυρκαγιών στη νότια Ευρώπη. Χρησιμοποιώντας δεδομένα από τη βάση δεδομένων CORINE Land Cover και το Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών για τις Πυρκαγιές Δασών (EFFIS), οι ερευνητές ανέλυσαν τις μεταβολές χρήσης γης και τις καμένες εκτάσεις στην Ευρώπη τις τελευταίες δύο δεκαετίες (2000-2019). Η ανάλυση αποκάλυψε ότι τα δάση και οι θάμνοι είναι οι κύριες κατηγορίες που επηρεάζονται από τις πυρκαγιές, με τις μεγαλύτερες καταστροφές να παρατηρούνται στην Πορτογαλία, την Ισπανία και τη Γαλλία, ενώ οι εκτάσεις γεωργικής χρήσης επηρεάστηκαν σε πολύ μικρότερο βαθμό.

Η μελέτη επιβεβαιώνει την ύπαρξη ισχυρής σχέσης μεταξύ των πυρκαγιών και των αλλαγών στη χρήση/κάλυψη γης (Land Use - Land Cover Changes). Η κατανόηση αυτών των σχέσεων μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της πρόληψης, της ανίχνευσης και της καταστολής των πυρκαγιών, καθώς και στην ανάκαμψη των πληγέντων περιοχών. Η μελέτη προτείνει την καλύτερη διαχείριση των καυσίμων και τη χρήση παραδοσιακών πρακτικών καύσης για τη μείωση των καυσίμων και την πρόληψη των μεγάλων πυρκαγιών. Η συνεργασία μεταξύ των διαφόρων περιφερειών και χωρών μπορεί επίσης να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα των μέτρων πρόληψης και καταστολής. [7]

### **"Comparison between satellite wildfire databases in Europe"**

Αυτή η μελέτη συγκρίνει διάφορες δορυφορικές βάσεις δεδομένων για τις πυρκαγιές στην Ευρώπη, όπως την "European Forest Fire Information System (EFFIS)", την "MODIS Burned Area Product" και τη βάση δεδομένων της Εθνικής Δασικής Αρχής της Πορτογαλίας "AFN". Η βάση δεδομένων EFFIS περιλαμβάνει πυρκαγιές με καμένη έκταση μεγαλύτερη από 1.0 εκτάρια που σημειώθηκαν στις ευρωπαϊκές χώρες κατά την περίοδο 2000-2011, παρέχοντας τα όρια των καμένων περιοχών και χρησιμοποιείται ευρέως για την παραγωγή επίσημων αναφορών και μελετών.

Η βάση δεδομένων MODIS Burned Area Product (MCD45A1) περιέχει πληροφορίες για την καύση ανά εικονοστοιχείο, με διακριτική ικανότητα 500m. Αναπτύχθηκε από την Ομάδα Πυρκαγιών MODIS στο Πανεπιστήμιο του Μέριλαντ και είναι διαθέσιμο από τον Απρίλιο του 2000. Η βάση δεδομένων της Εθνικής Δασικής Αρχής της Πορτογαλίας (AFN) δημοσιεύει τον εθνικό χάρτη των καμένων εκτάσεων των ετών 1990 έως 2011, βασισμένο σε εικόνες Landsat, που καταγράφουν πυρκαγιές μεγαλύτερες από 5.0 εκτάρια.

Η προκαταρκτική ανάλυση των δεδομένων από τις βάσεις δεδομένων EFFIS και MODIS έδειξε συγκεκριμένες τάσεις και μοτίβα στις πυρκαγιές σε ολόκληρη την Ευρώπη. Με την ένταξη του AFN συμπληρώνεται η ανάλυση με δεδομένα από την Πορτογαλία, επιτρέποντας μια λεπτομερή σύγκριση των καμένων εκτάσεων και της γεωγραφικής κατανομής των πυρκαγιών.

Η συγκριτική ανάλυση μεταξύ των βάσεων δεδομένων EFFIS και MODIS ανέδειξε σημαντικές διαφορές και ομοιότητες στη χωρική τοποθεσία και την έκταση των καμένων περιοχών. Οι διαφορές αυτές οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, όπως οι διαφορετικές μεθοδολογίες ανίχνευσης και οι χρονικές κλίμακες των δεδομένων. Ωστόσο, και οι δύο βάσεις δεδομένων παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την κατανόηση των πυρκαγιών στην Ευρώπη.

Η χρήση πολλαπλών πηγών δεδομένων επιτρέπει μια πληρέστερη κατανόηση των πυρκαγιών και μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη καλύτερων στρατηγικών διαχείρισης και πρόληψης. Η μελέτη υπογραμμίζει τη σημασία της χρήσης τεχνολογιών, όπως τα δορυφορικά συστήματα, για την παρακολούθηση και την ανάλυση των πυρκαγιών. [8]

## Ελλάδα

Τα δάση στην Ελλάδα αποτελούν έναν ανεκτίμητο φυσικό πλουτοπαραγωγικό πόρο με πολλαπλές περιβαλλοντικές, κοινωνικοοικονομικές και πολιτισμικές λειτουργίες. Παρέχουν πρώτες ύλες, όπως ξυλεία, και συμμετέχουν στη ρύθμιση του κλίματος, του κύκλου του νερού και της βιοποικιλότητας. Ωστόσο, οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν έναν από τους μεγαλύτερους κινδύνους για τα δάση μας, με καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον, τις περιουσίες και την ανθρώπινη ζωή. Πάνω από το 10% της έκτασης της χώρας καλύπτεται από άγονες και βραχώδεις εκτάσεις ως αποτέλεσμα διαδοχικών πυρκαγιών, επισημαίνοντας την κρισιμότητα του προβλήματος.

Κατά τη δεκαετία του 1980, η Ελλάδα άρχισε να βιώνει μια αύξηση στη συχνότητα και την ένταση των δασικών πυρκαγιών. Οι συνθήκες ξηρασίας και οι αυξημένες θερμοκρασίες, συνδυασμένες με την εγκατάλειψη των αγροτικών περιοχών, δημιούργησαν ένα ευάλωτο περιβάλλον. Το 1981 ήταν μια ιδιαίτερα δύσκολη χρονιά, με συνολικά 1.159 πυρκαγιές που κατέστρεψαν 814.170 στρέμματα γης. Το 1985, μια από τις πιο καταστροφικές χρονιές, κάηκαν 1.054.500 στρέμματα από 1.442 πυρκαγιές.

Η δεκαετία του 1990 χαρακτηρίστηκε από μια ακόμα μεγαλύτερη αύξηση των δασικών πυρκαγιών. Το 1998, η ευθύνη της δασοπυρόσβεσης μεταφέρθηκε από τη Δασική Υπηρεσία στο Πυροσβεστικό Σώμα, με στόχο την αποτελεσματικότερη αντιμετώπιση των πυρκαγιών. Ωστόσο, οι αριθμοί συνεχίζουν να αυξάνονται. Το 1992 ήταν μια καταστροφική χρονιά με 2.042 πυρκαγιές που κατέστρεψαν 663.470 στρέμματα, ενώ το 1994 καταγράφηκαν 1.954 πυρκαγιές με 526.030 στρέμματα καμένων εκτάσεων.

Η δεκαετία του 2000 ξεκίνησε με μια από τις χειρότερες χρονιές στην ιστορία των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα. Το 2000, 12.980 πυρκαγιές κατέστρεψαν 1.559.850 στρέμματα. Το 2007, οι πυρκαγιές στην Πελοπόννησο και την Εύβοια αποτέφρωσαν πάνω από 2.623.933 στρέμματα και προκάλεσαν τον θάνατο 84 ατόμων. Οι πυρκαγιές του 2007 αποτέλεσαν ένα σημείο καμπής, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για πιο αποτελεσματικά μέτρα πρόληψης και καλύτερο συντονισμό των δυνάμεων καταστολής.

Η δεκαετία του 2010 συνέχισε να αποτελεί μια περίοδο προκλήσεων για την Ελλάδα. Παρά τις προσπάθειες της κυβέρνησης να ενισχύσει τις δυνάμεις καταστολής και να βελτιώσει τα μέτρα πρόληψης, οι πυρκαγιές συνέχισαν να προκαλούν σημαντικές ζημιές. Το 2012, οι πυρκαγιές στη Χίο αποτέφρωσαν 500.405 στρέμματα, ενώ το 2018, οι πυρκαγιές στο Μάτι και την Κινέτα προκάλεσαν τον θάνατο 102 ατόμων και κατέστρεψαν 193.816 στρέμματα. Το 2018 αποτέλεσε άλλη μια καταστροφική χρονιά που ανέδειξε τις ελλείψεις στην προετοιμασία και τον συντονισμό των κρατικών υπηρεσιών.

Το 2021, μέχρι τον Ιούλιο, καταγράφηκαν ήδη 6.776 αγροτοδασικές πυρκαγιές που κατέστρεψαν 130.000 στρέμματα. Οι τρέχουσες συνθήκες ξηρασίας και οι υψηλές θερμοκρασίες αυξάνουν τον κίνδυνο για περαιτέρω καταστροφές. Το ετήσιο κόστος της δασοπροστασίας υπολογίζεται πλέον σε πάνω από 500 εκατομμύρια ευρώ, με το κόστος της καταστολής να ανέρχεται στα 400 εκατομμύρια ευρώ.

### Ανάλυση των Δεδομένων και Συμπεράσματα

Η μελέτη καλύπτει την περίοδο από το 1980 έως το 2020 δείχνει μια σαφή αύξηση τόσο στον αριθμό των δασικών πυρκαγιών όσο και στις καμένες εκτάσεις. Κατά το διάστημα των 41 ετών, προκλήθηκαν συνολικά 56.326 δασικές πυρκαγιές που κατέστρεψαν 18.190.592 στρέμματα αγροτοδασικών εκτάσεων. Από αυτές, οι 233.682 ήταν αγροτοδασικές πυρκαγιές, εκ των οποίων οι 29.731 ήταν καθαρά δασικές πυρκαγιές. Ο μέσος ετήσιος αριθμός δασικών πυρκαγιών κατά το διάστημα αυτό ήταν 1.373,8, ενώ ο μέσος ετήσιος αριθμός των καμένων εκτάσεων ήταν 443.672,9 στρέμματα.

Η μεταφορά της ευθύνης της δασοπυρόσβεσης στο Πυροσβεστικό Σώμα το 1998 είχε ως στόχο τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας. Ωστόσο, οι αριθμοί δείχνουν ότι οι προκλήσεις παραμένουν, με τον μέσο ετήσιο αριθμό των αγροτοδασικών πυρκαγιών να ανέρχεται σε 10.160,1 κατά την περίοδο 1998-2020.

Η έρευνα δείχνει ότι τα μέτρα καταστολής δεν επαρκούν για την αντιμετώπιση του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών. Είναι απαραίτητη η υιοθέτηση ολοκληρωμένων σχεδίων πρόληψης που να περιλαμβάνουν τη συντήρηση των δασών, την απομάκρυνση της ξερής βλάστησης και τη δημιουργία αντιπυρικών ζωνών. Η εκπαίδευση και η ευαισθητοποίηση των πολιτών είναι επίσης κρίσιμης σημασίας για την πρόληψη των

πυρκαγιών. Η συνεργασία μεταξύ των κρατικών φορέων, η ενίσχυση της εθελοντικής πυροσβεστικής και η χρήση νέων τεχνολογιών για την παρακολούθηση και πρόβλεψη των πυρκαγιών είναι μερικά από τα μέτρα που μπορούν να συμβάλουν στη μείωση του κινδύνου. [9]

### **Συμπέρασμα**

Οι τέσσερις αυτές μελέτες προσφέρουν μια ικανοποιητική εικόνα της κατάστασης των πυρκαγιών στην Ευρώπη, αναδεικνύοντας την ανάγκη για βελτιωμένες στρατηγικές πρόληψης και καταστολής. Η κλιματική αλλαγή και οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση και τη συχνότητα των πυρκαγιών, καθιστώντας αναγκαία τη συνεργασία μεταξύ των χωρών και την υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Η χρήση πολλαπλών πηγών δεδομένων και τεχνολογιών, όπως τα δορυφορικά συστήματα, μπορεί να βελτιώσει την πρόληψη, την ανίχνευση και την καταστολή των πυρκαγιών, συμβάλλοντας στη μείωση των οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων.

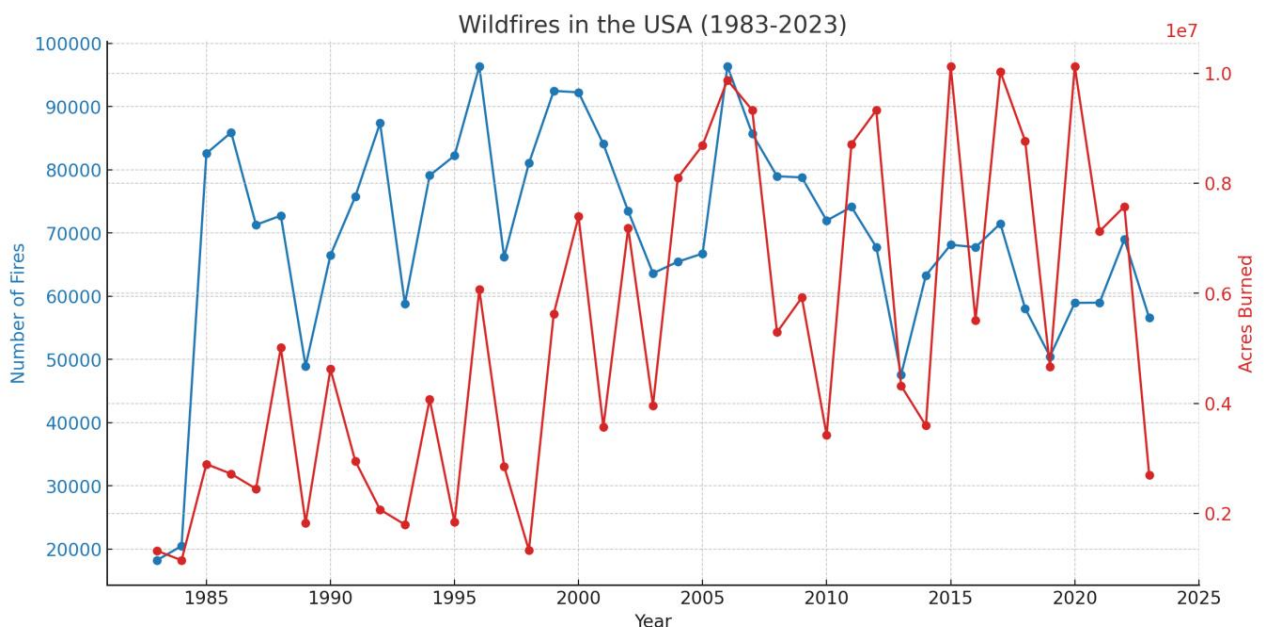
## 2.2 Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι πυρκαγιές έχουν παρουσιάσει σημαντικές αλλαγές τις τελευταίες τρεις δεκαετίες. Σύμφωνα με τα δεδομένα του USGS, οι πυρκαγιές από το 1983 έως το 2019 έχουν γίνει πιο συχνές και καταστροφικές λόγω της αύξησης των θερμοκρασιών και της μειωμένης υγρασίας του εδάφους. Τα δεδομένα της EPA δείχνουν ότι η καμένη έκταση κορυφώνεται πλέον τον Ιούλιο, ενώ παλιότερα κορυφωνόταν τον Αύγουστο. Από το 2003 έως το 2021, κατά μέσο όρο 1,8 εκατομμύρια στρέμματα καίγονται κάθε Ιούλιο. Επιπλέον, οι δαπάνες για την καταπολέμηση των πυρκαγιών έχουν ξεπεράσει τα 1 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως, με 3,5 δισεκατομμύρια δολάρια να ξοδεύονται το 2022

### Ανάλυση των Στατιστικών Στοιχείων για τις Πυρκαγιές στις ΗΠΑ (1983-2023)

Τα τελευταία χρόνια, οι πυρκαγιές μεγάλης κλίμακας έχουν προκαλέσει πολυάριθμους θανάτους και μεγάλες ζημιές σε υποδομές. Οι πυρκαγιές έχουν επίσης σημαντικές επιπτώσεις στο κλίμα και τα οικοσυστήματα, με πρόσφατες μελέτες να τονίζουν την ανάγκη για περιφερειακή ανάλυση των δυναμικών και των αλλαγών στο καθεστώς των πυρκαγιών, καθώς και των παραγόντων που τις επηρεάζουν. Οι πυρκαγιές επηρεάζουν τη διαχείριση των κινδύνων, τις κλιματικές μελέτες και την έρευνα των οικοσυστημάτων, καθιστώντας σημαντική την κατάλληλη ανάλυση των ιστορικών βάσεων δεδομένων για τις πυρκαγιές.

Παρά τις σημαντικές μελέτες που χρησιμοποιούν στατιστικά δεδομένα για τις πυρκαγιές, συχνά αντιμετωπίζουν προκλήσεις λόγω της χαμηλής χωρικής και/ή χρονικής ανάλυσης των δεδομένων τους. Τα δεδομένα καλύπτουν τον αριθμό των πυρκαγιών και την έκταση των καμένων περιοχών από το 1983 έως το 2023 στις ΗΠΑ. Πιο αναλυτικά, λαμβάνεται υπ' όψη ένα σύνολο δεδομένων υψηλής ανάλυσης που περιλαμβάνει 88.855 πυρκαγιές της USFS για την περίοδο 1983-2023, και εξετάζεται η εμφάνιση των πυρκαγιών σε όλη την επικράτεια των ΗΠΑ με βάση την οικοπεριοχή (μονάδες γης ταξινομημένες κατά κλίμα, βλάστηση και τοπογραφία), την πηγή ανάφλεξης (ανθρωπογενής vs κεραυνοί), τον αριθμό των πυρκαγιών κάθε έτος και την έκταση των περιοχών που κάηκαν κάθε έτος μετρημένη σε acres. [10]



**Ευρήματα**

- Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει μια αυξανόμενη τάση τόσο στον αριθμό των πυρκαγιών όσο και στην έκταση των καμένων περιοχών.
- Το 2020 ήταν μια από τις πιο καταστροφικές χρονιές, με πάνω από 10 εκατομμύρια acres καμένα και σχεδόν 59.000 πυρκαγιές.
- Το 2015, 2017, 2018 και 2020 ήταν ιδιαίτερα καταστροφικές χρονιές με πάνω από 10 εκατομμύρια acres καμένα κάθε χρόνο.
- Το 2006 και το 2007 ήταν επίσης καταστροφικές χρονιές, με τις πυρκαγιές να καίνε πάνω από 9 εκατομμύρια acres.
- Ο αριθμός των πυρκαγιών παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις κάθε χρόνο. Το 2006 είχε τον υψηλότερο αριθμό πυρκαγιών με 96.385, ενώ το 1984 είχε τον χαμηλότερο αριθμό με 20.493.
- Οι καμένες εκτάσεις παρουσιάζουν επίσης μεγάλη μεταβλητότητα. Το 2004 είχε μια από τις χαμηλότερες εκτάσεις με περίπου 3.5 εκατομμύρια acres, ενώ το 2020 είχε πάνω από 10 εκατομμύρια acres καμένα.

**Συμπεράσματα**

Τα δεδομένα των τελευταίων τεσσάρων δεκαετιών καταδεικνύουν μια ανησυχητική αύξηση τόσο στον αριθμό των πυρκαγιών όσο και στην καμένη έκταση στις Ηνωμένες Πολιτείες. Οι αυξανόμενες θερμοκρασίες, η παρατεταμένη ξηρασία και οι αλλαγές στη χρήση γης είναι μερικοί από τους παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτές τις τάσεις. Η κατανόηση αυτών των τάσεων είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη στρατηγικών πρόληψης και καταπολέμησης των πυρκαγιών.



## 2.3 ΑΦΡΙΚΗ

Η Αφρική, και ιδιαίτερα οι σαβάνες της, βλέπουν τις πυρκαγιές ως φυσικό και αναπόσπαστο κομμάτι του οικοσυστήματος. Ωστόσο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν ενισχύσει τη συχνότητα και την έκταση των πυρκαγιών. Η έρευνα δείχνει ότι οι πυρκαγιές στην Αφρική αντιπροσωπεύουν περίπου το 70% της συνολικής καμένης έκτασης παγκοσμίως.

Οι πυρκαγιές στα δάση της κεντρικής και δυτικής Αφρικής έχουν διπλασιαστεί τις τελευταίες δεκαετίες, όπως αναφέρεται στη μελέτη της American Geophysical Union. Η κλιματική αλλαγή και οι ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η αποψίλωση των δασών, είναι οι κύριοι παράγοντες που προκαλούν περισσότερες πυρκαγιές στα υγρά, τροπικά δάση της περιοχής, ιδιαίτερα στη Λεκάνη του Κονγκό. Οι πυρκαγιές αυτές, αν και μικρότερες σε σύγκριση με αυτές σε ξηρές περιοχές, έχουν μακροχρόνια υποτιμηθεί. Μελέτη που δημοσιεύθηκε στο Geophysical Research Letters, προσφέρει ολοκληρωμένη ανάλυση των προτύπων πυρκαγιών στα δάση της δυτικής και κεντρικής Αφρικής, δείχνοντας σαφή αύξηση του πλήθους των πυρκαγιών από το 2003 έως το 2021. Η αύξηση αυτή των πυρκαγιών αποδίδεται κυρίως στις όλο και πιο θερμές και ξηρές συνθήκες και στην ανθρώπινη επίδραση στα δάση, περιλαμβανομένης της αποψίλωσης. Η αποψίλωση, που σχετίζεται με υψηλά επίπεδα ανθρώπινης δραστηριότητας, κατακερματίζει τα δάση, αυξάνοντας τις εκτεθειμένες άκρες τους, όπου και οι πυρκαγιές εμφανίζονται πιο συχνά. Στα όρια των δασών με τις παρακείμενες περιοχές το μικροκλίμα είναι πιο ξηρό, καθιστώντας τις περιοχές αυτές πιο ευάλωτες στις πυρκαγιές.

Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες για να παρακολουθήσουν τις ενεργές πυρκαγιές από το 2003 έως το 2021 στη δυτική και κεντρική Αφρική, συμπεριλαμβανομένης της Λεκάνης του Κονγκό. Διαπίστωσαν σαφή αύξηση της συχνότητας των πυρκαγιών με την πάροδο του χρόνου, με τις μεγαλύτερες αυξήσεις στα δάση του Βορειοδυτικού Κονγκό, όπου υπήρχαν 400 περισσότερες ενεργές πυρκαγιές ανά 10.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα ετησίως το 2021 σε σύγκριση με το 2003.

Η μελέτη επισημαίνει επίσης ότι οι περιοχές με ταχεία απώλεια δασών λόγω παρατεταμένης υλοτομίας, εμφάνισαν περισσότερες πυρκαγιές. Αντιπαραβάλλοντας τις πυρκαγιές με τα καιρικά φαινόμενα, οι ερευνητές βρήκαν σαφείς συνδέσεις μεταξύ των πυρκαγιών, των υψηλών θερμοκρασιών και της διαφοράς πίεσης ατμών, που είναι δείκτης του υδατικού στρες των φυτών. Εντόπισαν ιδιαίτερα ισχυρή σχέση κατά τη διάρκεια του "σούπερ Ελ Νίνιο" του 2015-2016, που έφερε ανώμαλες συνθήκες θερμότητας και ξηρασίας στην τροπική Αφρική.

Το "σούπερ Ελ Νίνιο" του 2015-2016 ήταν μια από τις ισχυρότερες φάσεις του Ελ Νίνιο, ενός φαινομένου που προκαλεί ανώμαλη θέρμανση των επιφανειακών υδάτων στον Ειρηνικό Ωκεανό. Αυτή η εκδήλωση είχε σημαντικές κλιματικές επιπτώσεις παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένων ακραίων καιρικών συνθηκών όπως ξηρασίες, πλημμύρες και ασυνήθιστα υψηλές θερμοκρασίες σε πολλές περιοχές. Στην Αφρική, έφερε έντονη ξηρασία και υψηλές θερμοκρασίες, επιδεινώνοντας τις συνθήκες που συμβάλλουν στην αύξηση των δασικών πυρκαγιών.

Η έρευνα αυτή προσφέρει κρίσιμες γνώσεις για το πώς η κλιματική αλλαγή θα μπορούσε να επηρεάσει τη δραστηριότητα των πυρκαγιών στα αφρικανικά δάση, ιδίως κατά τη διάρκεια των ετών Ελ Νίνιο, και υπογραμμίζει την ανάγκη ελέγχου των πυρκαγιών στις άκρες των δασών για την αποτροπή επιζήμιων ανατροφοδοτικών βρόχων: ένα δάσος που επηρεάζεται από πυρκαγιά είναι πιο πιθανό να έχει λιγότερη καλυπτική βλάστηση και περισσότερη κατακερματισμό, αυξάνοντας τον κίνδυνο επανεμφάνισης πυρκαγιάς.

Ο Michael Wimberly, οικολόγος στο Πανεπιστήμιο της Οκλαχόμα που ηγήθηκε της μελέτης, τόνισε ότι οι πυρκαγιές στα υγρά δάση (δάση με υδροβιότοπους) της Αφρικής δεν μπορούν πλέον να αγνοούνται, καθώς γίνονται όλο και πιο σημαντικές. Οι ερευνητές προειδοποιούν ότι η συνέχιση των σημερινών κλιματικών προβολών θα αυξήσει περαιτέρω τον κίνδυνο πυρκαγιών στα τροπικά δάση της Αφρικής και υπογραμμίζουν την ανάγκη για αυξημένη έρευνα και πολιτικές προστασίας των δασών.

Η μελέτη αυτή επισημαίνει ότι οι τροπικές πυρκαγιές έχουν υποτιμηθεί για πολύ καιρό, αλλά η σημασία τους θα αυξηθεί στο μέλλον. Είναι ζωτικής σημασίας να αναγνωρίσουμε την ευπάθεια των τροπικών δασών στις πυρκαγιές και να δράσουμε για να προστατεύσουμε αυτά τα οικοσυστήματα από την κλιματική αλλαγή και τις ανθρώπινες δραστηριότητες που επιδεινώνουν τον κίνδυνο πυρκαγιών.[11]

## 2.4 ΑΣΙΑ

Ενδεικτική της επικρατούσας κατάστασης αναφορικά με τη συχνότητα εμφάνισης και την ένταση των πυρκαγιών στην Ασία, είναι η συνεργατική έρευνα τριών πανεπιστημίων του Πεκίνου στη σχέση μεταξύ της ηλιακής δραστηριότητας, της ξηρασίας και της δραστηριότητας πυρκαγιών στα δάση της βορειοανατολικής Ασίας ("boreal" forest), που περιλαμβάνει τη Μογγολία και τη βορειοανατολική Κίνα. Ο όρος "boreal" αναφέρεται στη βόρεια ζώνη των δασών που βρίσκεται κυρίως στο Βόρειο Ημισφαίριο. Αυτή η ζώνη είναι γνωστή και ως "τάιγκα" και εκτείνεται σε περιοχές όπως ο Καναδάς, η Ρωσία, η Αλάσκα και η Σκανδιναβία. Τα δάση της τάιγκα αποτελούνται κυρίως από κωνοφόρα δέντρα, όπως πεύκα και έλατα, και χαρακτηρίζονται από μακρείς, ψυχρούς χειμώνες και σύντομα, δροσερά καλοκαίρια. Αυτά τα δάση παίζουν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση του παγκόσμιου κλίματος και στην αποθήκευση άνθρακα.

Η περιοχή αυτή παράγει την υψηλότερη μέση θερμική ισχύ πυρκαγιών παγκοσμίως, φτάνοντας έως και τα 600 MW θερμικής ισχύος. Οι πυρκαγιές διαδραματίζουν σημαντικό οικολογικό ρόλο στην περιοχή, καθορίζοντας τη δομή και τη δυναμική των δασών και επηρεάζοντας το κλίμα και τους βιογεωχημικούς κύκλους. Οι αλλαγές στη δραστηριότητα πυρκαγιών έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα δάση, οδηγώντας σε ταχείες αλλαγές στην κάλυψη της βλάστησης, τα αποθέματα άνθρακα και τη βιοποικιλότητα.

Η ξηρασία θεωρείται κύριος παράγοντας των πυρκαγιών στα δάση της βορειοανατολικής Ασίας. Επιπλέον, η δραστηριότητα των πυρκαγιών συνδέθηκε με τη θετική φάση της Αρκτικής Ταλάντωσης (ΑΤ) κατά την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαΐου στη νοτιοανατολική Σιβηρία από το 1997 έως το 2016. Ωστόσο, οι μακροπρόθεσμες ιστορικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ της δραστηριότητας πυρκαγιών και των παραγόντων που την επηρεάζουν εξακολουθούν να ερευνώνται.

Πολλαπλές μελέτες, χρησιμοποιώντας άμεσα και έμμεσα δεδομένα έχουν υποδείξει μια σύνδεση μεταξύ της ξηρασίας και της χαμηλής ηλιακής δραστηριότητας. Αυτή η σύνδεση έχει δείξει ότι οι συνθήκες ξηρασίας συγχρονίζονται με τα ηλιακά ελάχιστα. Οι μελέτες έχουν επίσης βρει σύνδεση μεταξύ των πυρκαγιών και της ηλιακής δραστηριότητας, με αυξημένη δραστηριότητα πυρκαγιών κατά τα έτη χαμηλής ηλιακής δραστηριότητας στον 11ετή ηλιακό κύκλο σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Ωστόσο, αυτή η σχέση δεν έχει μελετηθεί εκτενώς στα δάση της βορειοανατολικής Ασίας.

Ο Ηλιακός Κύκλος 25 (25ος ηλιακός κύκλος, ξεκινώντας από το 1755) που ξεκίνησε τον Δεκέμβριο του 2019 και αναμένεται να ολοκληρωθεί το 2030, είναι ένας σχετικά ασθενής κύκλος και αναμένεται να είναι ισοδύναμος με το ελάχιστο του Dalton. Αυτό το ελάχιστο συνοδεύτηκε από ξηρασία σε πολλές περιοχές του κόσμου περί της περιόδου 1795 - 1820. Η ποσοτικοποίηση των σχέσεων μεταξύ της ηλιακής δραστηριότητας, της ξηρασίας και της δραστηριότητας πυρκαγιών θα πρέπει να είναι καθοριστική για την πρόβλεψη των μελλοντικών επιπέδων δραστηριότητας πυρκαγιών.

Για την ποσοτικοποίηση της σύνδεσης μεταξύ της ηλιακής δραστηριότητας, της ξηρασίας, της Αρκτικής Ταλάντωσης και των πυρκαγιών στη βορειοανατολική Ασία, έγινε εκτενής μελέτη σε ένα μεγάλο δίκτυο ιστορικών αρχείων δασικών πυρκαγιών, που αφορούν τη Μογγολία και τη βορειοανατολική Κίνα. Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα ανακατασκευής πυρκαγιών, έγιναν δύο υποθέσεις σχετικά με τους πιθανούς παράγοντες που επηρεάζουν τη δραστηριότητα πυρκαγιών στη βορειοανατολική Ασία: (I) Συσχέτιση δύο παραγόντων: της ξηρασίας και της Αρκτικής Ταλάντωσης και (II) συσχέτιση τριών παραγόντων: ηλιακής δραστηριότητας - Αρκτική Ταλάντωση - δραστηριότητα πυρκαγιών.

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στη βορειοανατολική Ασία στην Πλατφόρμα της Μογγολίας. Το κλίμα της Μογγολίας είναι έντονα ηπειρωτικό και ξηρό. Η περιοχή έχει σχετικά χαμηλή ετήσια μέση θερμοκρασία και η ελάχιστη θερμοκρασία είναι περίπου  $-25^{\circ}\text{C}$  τον Ιανουάριο και η μέγιστη θερμοκρασία είναι περίπου  $20^{\circ}\text{C}$  τον Ιούλιο. Η ετήσια συνολική βροχόπτωση κυμαίνεται από 320 έως 467 mm, με έως και το 46% αυτής να πέφτει τον Ιούλιο και τον Αύγουστο.

Η μέση ετήσια θερμική ισχύς των πυρκαγιών σε αυτή την περιοχή φτάνει τα 600 MW, καθιστώντας την μία από τις τρεις περιοχές που παράγουν το μεγαλύτερο θερμικό φορτίο στις βόρειες ζώνες του Βόρειου Ημισφαιρίου. Οι μεγάλες πυρκαγιές στην περιοχή το 1987 και το 2003 έκαψαν δάση 14,45 και 9,21 εκατομμυρίων εκταρίων, αντίστοιχα. Μελετήθηκαν συνολικά 26 τοποθεσίες, οι 6 τοποθεσίες στη βορειοανατολική Κίνα και οι 20 στη Μογγολία. Ελήφθησαν και μελετήθηκαν δείγματα από τις ουλές που

προκαλεί η πυρκαγιά στα δέντρα, όπως πεύκο και άλλα κωνοφόρα, για τον χρονικό προσδιορισμό με την βοήθεια της καταμέτρησης των δακτυλίων του κορμού. Η χρονολογία της δραστηριότητας πυρκαγιών υποδεικνύεται από το ποσοστό των καμένων τοποθεσιών από το 1700 έως το 2010. Ως έτη ακραίων πυρκαγιών ορίστηκαν τα έτη που οι πυρκαγιές έκαψαν τουλάχιστον 6 τοποθεσίες και το 30% της συνολικής έκτασης.

Για τη μέτρηση της ξηρασίας χρησιμοποιήθηκε ο Δείκτης Σοβαρότητας Ξηρασίας Palmer (PDSI), ο οποίος παρέχει πληροφορίες για τις τοπικές συνθήκες ξηρασίας. Χρησιμοποιήθηκε το πλήθος των ηλιακών κηλίδων ως μέτρο της ηλιακής δραστηριότητας και τα δεδομένα για την Αρκτική Ταλάντωση (AT) για να αναδειχθεί η κατάσταση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας πάνω από την Αρκτική.

Η ανάλυση υπερτιθέμενων εποχών (SEA) χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της σημασίας των αποκλίσεων στην ξηρασία, την AT και την ηλιακή δραστηριότητα κατά τα έτη μεγάλων πυρκαγιών και τα επόμενα έτη. Επιπλέον, εφαρμόστηκε μοντελοποίηση διαρθρωτικών εξισώσεων (SEM) για να εξεταστεί η υπόθεση ότι η ηλιακή δραστηριότητα επηρεάζει τη δασική δραστηριότητα πυρκαγιών μέσω της επίδρασής της στην ξηρασία και την Αρκτική Ταλάντωση.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μεγάλες πυρκαγιές συνέβησαν κατά τα έτη με χαμηλό scPDSI, θετική φάση της AT και χαμηλό αριθμό ηλιακών κηλίδων. Η ανάλυση SEM έδειξε ότι η χαμηλότερη ηλιακή δραστηριότητα αύξανε την πιθανότητα ξηρασίας, και η ξηρασία αύξανε την πιθανότητα δασικών πυρκαγιών. Συνολικά, το παραμετροποιημένο μοντέλο SEM προσαρμόστηκε καλά στα δεδομένα, όπως υποδεικνύεται από το τεστ καλής προσαρμογής χι-τετράγωνο. Στο μοντέλο SEM, ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων εξηγεί το 95% της διακύμανσης της ξηρασίας και το 99% της διακύμανσης της Αρκτικής Ταλάντωσης. Αθροιστικά, η ξηρασία και η Αρκτική Ταλάντωση εξηγούν το 90% της διακύμανσης στο ποσοστό των καμένων τοποθεσιών και λειτουργούν ως σημαντικοί παράγοντες της δραστηριότητας πυρκαγιών.

Η μελέτη ανέλυσε την ιστορία των δασικών πυρκαγιών και των μεγάλων πυρκαγιών στη βορειοανατολική Ασία, δείχνοντας ότι μεγάλες πυρκαγιές σημειώθηκαν κατά τα έτη με χαμηλό δείκτη scPDSI, θετική φάση της AT και χαμηλό αριθμό ηλιακών κηλίδων. Συγκεκριμένα, οι χαμηλές τιμές του scPDSI (ενδεικτικές των συνθηκών ξηρασίας) παρατηρήθηκαν κατά το ίδιο έτος με τα έτη μεγάλων πυρκαγιών και ένα έτος πριν από τις μεγάλες πυρκαγιές. Η θετική AT σημειώθηκε κατά τα έτη μεγάλων πυρκαγιών. Τα αποτελέσματα της SEA μεταξύ της δραστηριότητας των πυρκαγιών και του αριθμού των ηλιακών κηλίδων έδειξαν μια σύνδεση της εμφάνισης πυρκαγιών με τον χαμηλό αριθμό ηλιακών κηλίδων κατά τα έτη μεγάλων πυρκαγιών και δύο χρόνια πριν από τις μεγάλες πυρκαγιές.

Η ανάλυση SEM έδειξε ότι η χαμηλότερη ηλιακή δραστηριότητα αύξανε την πιθανότητα ξηρασίας, και η ξηρασία αύξανε την πιθανότητα δασικών πυρκαγιών. Η συνολική απόδοση του μοντέλου SEM υποδεικνύει μια καλή προσαρμογή στα δεδομένα, επιβεβαιώνοντας τη σημασία της ηλιακής δραστηριότητας και της ξηρασίας ως κύριους παράγοντες της δραστηριότητας πυρκαγιών στη βορειοανατολική Ασία.

Η σύνδεση μεταξύ των κλιματικών παραγόντων και των πυρκαγιών υποδηλώνει ότι η ξηρασία από το προηγούμενο έτος μέχρι το τρέχον έτος προετοίμασε τα καύσιμα στα δάση της τάγκα της βορειοανατολικής Ασίας για αποτελεσματική ανάφλεξη. Οι μεγάλες πυρκαγιές συνέβησαν σε θετική φάση της AT, η οποία ορίζει μια διαφορά ατμοσφαιρικής πίεσης, με υψηλή πίεση στην Αρκτική και χαμηλή πίεση στα μεσαία και υψηλά γεωγραφικά πλάτη. Καθώς η AT βρίσκεται σε θετική φάση, η υψηλότερη πίεση στα μεσαία και υψηλά γεωγραφικά πλάτη φέρνει υψηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες στη βόρεια Ευρασία και η υψηλότερη διαφορά πίεσης οδηγεί σε ισχυρότερους νοτιοδυτικούς ανέμους πάνω από τη Σιβηρία.

Η μακροπρόθεσμη σχέση μεταξύ της AT και της δραστηριότητας πυρκαγιών που χρησιμοποιεί τις αναλύσεις SEA συμφωνεί με το αποτέλεσμα της χωροχρονικής μελέτης συσχέτισης στη νοτιοανατολική Σιβηρία. Η σχέση μεταξύ της ηλιακής δραστηριότητας, της ξηρασίας και των πυρκαγιών υποδεικνύει ότι η καμένη περιοχή σχετίζεται με χαμηλή ηλιακή δραστηριότητα σε έναν περίπου 11ετή κύκλο στην περιοχή μελέτης και στη βορειοανατολική Ασία διασχίζοντας τα σύνορα Κίνας-Μογγολίας-Ρωσίας. Η αρνητική αυτή σχέση μεταξύ της καμένης περιοχής και της συχνότητας πυρκαγιών και της ηλιακής δραστηριότητας έχει επίσης βρεθεί σε διάφορες περιοχές του κόσμου, περιλαμβανομένου του Κεμπέκ, του Νέου Μπράνσγουικ, της Νέας Σκωτίας, της Βικτώριας και του Οντάριο στον Καναδά, της βορειοανατολικής Κίνας, της νοτιοανατολικής και δυτικής Αυστραλίας, και του Μεξικού.

Επιπλέον, σε κλίμακα δεκαετίας έως αιώνα, οι υψηλές δραστηριότητες πυρκαγιών που παρατηρήθηκαν ταιριάζουν καλά με τον χαμηλό αριθμό ηλιακών κηλίδων. Οι ηλιακές δραστηριότητες βρέθηκαν επίσης να είναι

πιθανός παράγοντας για την ανάπτυξη δασών στη βορειοανατολική Ρωσία. Οι μηχανισμοί με τους οποίους η ηλιακή δραστηριότητα και οι πυρκαγιές συνδέονται παραμένουν πλήρως κατανοητοί. Στα μεσαία έως υψηλά γεωγραφικά πλάτη του Βόρειου Ημισφαιρίου, η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να επηρεάζει την εμφάνιση της ξηρασίας, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα, όπως οι μουσώνες, η Αρκτική Ταλάντωση, η Βόρεια Ατλαντική Ταλάντωση και το φαινόμενο El Niño.

Η τεκμηριωμένη αυτή σχέση μεταξύ της ηλιακής δραστηριότητας, της ξηρασίας και των πυρκαγιών μπορεί να είναι καθοριστική για την πρόβλεψη της δραστηριότητας πυρκαγιών στον επερχόμενο ηλιακό κύκλο, τον Ηλιακό Κύκλο 25. Προβλέπεται ότι ο Ηλιακός Κύκλος 25 θα είναι ισοδύναμος με το ελάχιστο του Dalton, που σημειώθηκε κατά την περίοδο 1795-1820. Εάν αυτό ισχύει, οι συνθήκες ξηρασίας μπορεί επίσης να είναι ισοδύναμες με αυτές κατά το ελάχιστο του Dalton. Βάσει μελέτης σχεδόν 2000 διαφορετικών ιστορικών εγγράφων που εκτείνονται τα τελευταία 500 χρόνια και 120 τοποθεσιών στην Κίνα, η Κίνα βίωσε σοβαρή ξηρασία κατά το ελάχιστο του Dalton. Χρησιμοποιώντας αρχαία δακτυλίων δέντρων από το Θιβέτ, η περίοδος από τη δεκαετία του 1780 έως τη δεκαετία του 1890 ήταν η πιο κρύα και ξηρή των τελευταίων 680 ετών. Βάσει των μοντέλων επομένως, αναμένεται σοβαρή ξηρασία και ακραίες πυρκαγιές κατά το επερχόμενο ηλιακό ελάχιστο του Ηλιακού Κύκλου 25.

Η παρατήρηση αυτή μπορεί να βοηθήσει τους επιστήμονες και τους διαχειριστές δασών να προετοιμαστούν για αυξημένες δραστηριότητες πυρκαγιών κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ηλιακής δραστηριότητας και να αναπτύξουν προσαρμοστικές στρατηγικές για να μειώσουν τις επιπτώσεις των πυρκαγιών. [12]

### **Συμπεράσματα**

Οι πυρκαγιές αποτελούν σημαντική περιβαλλοντική και κοινωνική πρόκληση σε πολλές περιοχές του κόσμου, με τις συνέπειες να γίνονται ολοένα και πιο καταστροφικές λόγω της κλιματικής αλλαγής και των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Η Ευρώπη, η Αμερική, η Αφρική και η Ασία έχουν όλες αντιμετωπίσει αυξανόμενη συχνότητα και ένταση πυρκαγιών τις τελευταίες δεκαετίες, με διαφορετικά αίτια και επιπτώσεις ανά περιοχή.

Οι μακροπρόθεσμες ιστορικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ξηρασίας, της ηλιακής δραστηριότητας και της δραστηριότητας πυρκαγιών έχουν μελετηθεί εκτενώς, επιβεβαιώνοντας τη σύνδεση μεταξύ αυτών των παραγόντων. Η χρήση δεδομένων από δακτυλίους δέντρων και η ανάλυση διαρθρωτικών εξισώσεων βοηθούν στην πρόβλεψη των μελλοντικών επιπέδων δραστηριότητας πυρκαγιών.

Γενικότερα, η χρήση προηγμένων τεχνολογιών όπως τα δορυφορικά συστήματα και η ανάλυση δεδομένων από διάφορες πηγές είναι κρίσιμη για την πρόβλεψη, την ανίχνευση και την καταστολή των πυρκαγιών. Η κατανόηση των κλιματικών παραγόντων και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που συμβάλλουν στις πυρκαγιές είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών πρόληψης και αντιμετώπισης, μειώνοντας έτσι τις οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις.

## 2.5 Ανάγκη διαχείρισης υδάτινων αποθεμάτων

Η αυξητική τάση των πυρκαγιών, που είναι απόρροια της αυξημένης μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη και της παρατεταμένης ξηρασίας, σε συνδυασμό με τον ανθρώπινο παράγοντα, έχει καταστήσει σαφή την ανάγκη για καλύτερη διαχείριση των υδατικών αποθεμάτων, τα οποία είναι απαραίτητα για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών. Η ανάγκη για παροχή νερού στις πυροσβεστικές δυνάμεις είναι κρίσιμη, ειδικά σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών όπως οι σεισμοί που συνοδεύονται από πυρκαγιές. Μελέτη του τμήματος πολιτικών του πανεπιστημίου της πόλης Ταϊβάν στην Ταϊβάν της Κίνας εξετάζει τις απόψεις και τις προετοιμασίες των πυροσβεστικών δυνάμεων σε διάφορες χώρες αναφορικά με την ενσωμάτωση πηγών νερού και την προετοιμασία για έκτακτες καταστάσεις. Η έρευνα βασίζεται σε δεδομένα που συλλέχθηκαν μέσω ερωτηματολογίων, προσφέροντας μια συνολική εικόνα για την τρέχουσα κατάσταση και τις προτάσεις βελτίωσης.

Η μελέτη χρησιμοποίησε ερωτηματολόγια που διανεμήθηκαν σε πυροσβεστικούς σταθμούς και άλλες σχετικές υπηρεσίες. Τα ερωτηματολόγια αυτά κάλυψαν διάφορες πτυχές της παροχής νερού για την κατάσβεση πυρκαγιών, όπως οι τύποι των διαθέσιμων πηγών νερού, η άμεση πρόσβαση σε αυτές κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών, τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι πυροσβεστικές δυνάμεις και οι προτάσεις για βελτίωση. Οι απαντήσεις αναλύθηκαν στατιστικά για να εντοπιστούν οι κύριες τάσεις και προκλήσεις.

### Διαφοροποίηση Πηγών Νερού

Οι ερωτηθέντες συμφώνησαν σε μεγάλο βαθμό για την ανάγκη ύπαρξης διαφόρων πηγών νερού. Συγκεκριμένα: Το 80% των συμμετεχόντων υποστήριξαν την εγκατάσταση 12 διαφορετικών πηγών νερού για την κατάσβεση πυρκαγιών. Αυτές οι πηγές περιλαμβάνουν φυσικές πηγές όπως ποτάμια, λίμνες και δεξαμενές, καθώς και τεχνητές πηγές όπως υδραγωγεία και δεξαμενές αποθήκευσης νερού.

Το 87.7% των συμμετεχόντων συμφώνησαν με την εγκατάσταση και χρήση ενός ειδικού συστήματος παροχής νερού που θα είναι αφιερωμένο αποκλειστικά για πυροσβεστικούς σκοπούς.

Αυτό δείχνει ότι υπάρχει ευρεία συναίνεση για την ανάγκη πολλαπλών πηγών νερού και εξειδικευμένων συστημάτων παροχής για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών.

### Άμεση Πρόσβαση σε Νερό

Η άμεση πρόσβαση σε νερό κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική κατάσβεση. Από τους ερωτηθέντες, το 57.5% ανέφεραν ότι προτιμούν την παροχή νερού επί τόπου κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της διαθεσιμότητας πηγών νερού κοντά στις πληγείσες περιοχές για να εξασφαλιστεί η γρήγορη και αποτελεσματική απόκριση.

### Προβλήματα και Προτάσεις

Οι πυροσβεστικές δυνάμεις αντιμετωπίζουν διάφορα προβλήματα όσον αφορά τη διαχείριση και την πρόσβαση σε πηγές νερού. Η πλειονότητα των συμμετεχόντων ανέφερε ότι οι πυροσβεστικές υπηρεσίες δεν έχουν τα δικαιώματα διαχείρισης των πηγών νερού, γεγονός που δημιουργεί εμπόδια στην άμεση χρήση αυτών των πηγών σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Τα φυσικά υδάτινα σώματα εντός της δικαιοδοσίας των πυροσβεστικών υπηρεσιών δεν καταγράφονται συχνά στους κανονισμούς λόγω της δυσκολίας πρόσβασης σε αυτά. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε έλλειψη προετοιμασίας και συντονισμού κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών.

Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα προβλήματα, προτάθηκαν οι επόμενες λύσεις:

- **Προκαταρκτική Έρευνα και Προετοιμασία:** Η διεξαγωγή προκαταρκτικών ερευνών για την ταυτοποίηση και χαρτογράφηση των πηγών νερού μπορεί να βελτιώσει την προετοιμασία και την απόκριση των πυροσβεστικών δυνάμεων.
- **Εκπαίδευση και Συνεργασία:** Η εκπαίδευση των πυροσβεστικών δυνάμεων για τη χρήση διαφορετικών πηγών νερού και η ενίσχυση της συνεργασίας με άλλες αρμόδιες υπηρεσίες μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα στην αντιμετώπιση των πυρκαγιών.

## Ιστορικά Παραδείγματα Σεισμών και Πυρκαγιών

Η σχέση μεταξύ σεισμών και πυρκαγιών είναι καλά τεκμηριωμένη, με πολλές περιπτώσεις να δείχνουν την ανάγκη για καλά οργανωμένα συστήματα παροχής νερού:

- **Σεισμός στο Kanto (1923):** Ο σεισμός αυτός προκάλεσε 134 πυρκαγιές, καταστρέφοντας μεγάλο μέρος του Τόκιο και της Γιοκοχάμα.
- **Σεισμός στο San Francisco (1906):** Το 80% των κτηρίων καταστράφηκαν από τις πυρκαγιές που ακολούθησαν τον σεισμό, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για άμεση πρόσβαση σε νερό.
- **Σεισμός στο Chichi (1999):** 21 πυρκαγιές ξέσπασαν αμέσως μετά τον σεισμό, με συνολικά 90 πυρκαγιές την επόμενη ημέρα και 161 πυρκαγιές μέσα σε μία εβδομάδα. Η αδυναμία άμεσης κατάσβεσης αυτών των πυρκαγιών οδήγησε σε σημαντικές απώλειες και ζημιές.

Οι πυρκαγιές που συνδέονται με τρεις μεγάλους σεισμούς στην Kanto, το San Francisco και το Chichi ήταν καταστροφικά γεγονότα που επιδείνωσαν σημαντικά την καταστροφή που προκλήθηκε από τους ίδιους τους σεισμούς. Ο μεγάλος σεισμός του Kanto, που έπληξε την Ιαπωνία την 1η Σεπτεμβρίου 1923, είχε μέγεθος 7,9 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ και ακολουθήθηκε από 134 ανεξέλεγκτες πυρκαγιές, οι οποίες διήρκεσαν τρεις ημέρες. Αυτές οι πυρκαγιές ξέσπασαν σχεδόν αμέσως, με το 53% να εκδηλώνεται μέσα σε δύο λεπτά από τον σεισμό, προκαλώντας τεράστιες ζημιές και απώλειες ζώων. Παρομοίως, ο μεγάλος σεισμός του San Francisco στις 18 Απριλίου 1906, με μέγεθος 7,8 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ, προκάλεσε πυρκαγιές που επίσης έκαιγαν για τρεις ημέρες, καταστρέφοντας περίπου το 80% των κτιρίων της πόλης. Η κατάσταση επιδεινώθηκε από την καταστροφή των υδραυλικών αγωγών, αφήνοντας τους πυροσβέστες χωρίς επαρκές νερό για την καταπολέμηση των πυρκαγιών.

Στην Ταϊβάν, ο σεισμός του Chichi στις 21 Σεπτεμβρίου 1999, με μέγεθος 7,6 βαθμών της κλίμακας Ρίχτερ, οδήγησε σε 21 μεγάλες πυρκαγιές αμέσως, με 161 πυρκαγιές να καταγράφονται μέσα σε μία εβδομάδα. Οι πυρκαγιές σε όλες τις περιπτώσεις τροφοδοτήθηκαν από την εκτεταμένη καταστροφή των υποδομών, συμπεριλαμβανομένων των κρίσιμων συστημάτων παροχής νερού, τα οποία δυσχέραναν τις προσπάθειες πυρόσβεσης και οδήγησαν σε σοβαρές απώλειες.

Ειδικά στην περίπτωση του σεισμού του Kanto, οι φωτιές εξαπλώθηκαν γρήγορα λόγω των ξύλινων κατασκευών και των ισχυρών ανέμων, με αποτέλεσμα τον θάνατο πάνω από 140.000 ανθρώπων και την ισοπέδωση μεγάλων τμημάτων του Τόκιο και της Γιοκοχάμα. Στο San Francisco, οι πυρκαγιές μετά τον σεισμό προκάλεσαν επιπλέον θάνατο περίπου 3.000 ανθρώπων και ανάγκασαν πάνω από το ήμισυ του πληθυσμού να μείνει άστεγο. Τέλος, στον σεισμό του Chichi, η καταστροφή των υδραυλικών αγωγών δυσχέρανε την άμεση πυρόσβεση, επιδεινώνοντας τις ήδη σοβαρές ζημιές από τον σεισμό και συμβάλλοντας στην απώλεια εκατοντάδων ζώων και την εκτεταμένη καταστροφή υποδομών.[13]

## Προτάσεις και Στρατηγικές Βελτίωσης

Για να βελτιωθεί η διαχείριση των πηγών νερού και η απόκριση σε πυρκαγιές, προτάθηκαν οι εξής στρατηγικές:

- **Ενσωμάτωση Πηγών Νερού:** Η ενσωμάτωση πολλαπλών πηγών νερού, τόσο φυσικών όσο και τεχνητών, στις στρατηγικές πυρόσβεσης. Αυτό περιλαμβάνει την κατασκευή νέων υδροληψιών και δεξαμενών, καθώς και την αξιοποίηση των υπαρχόντων υδάτινων σωμάτων, όπως ποτάμια, λίμνες και υπόγεια ύδατα. Επίσης σημαντική είναι και η δημιουργία συστημάτων αποθήκευσης και ανακύκλωσης νερού για την αύξηση της διαθεσιμότητας κατά τη διάρκεια κρίσεων. Η συλλογή βρόχινου νερού και η χρήση ανακυκλωμένου νερού από αστικά λύματα μπορούν να ενισχύσουν την ετοιμότητα σε περιπτώσεις πυρκαγιάς.
- **Βελτίωση της Διαχείρισης:** Οι πυροσβεστικές υπηρεσίες πρέπει να έχουν τα δικαιώματα διαχείρισης και πρόσβασης σε πηγές νερού. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω νομοθετικών ρυθμίσεων και συνεργασιών με άλλες αρμόδιες αρχές, διασφαλίζοντας ότι οι πυροσβέστες μπορούν να αντλήσουν νερό άμεσα από ποτάμια, λίμνες και άλλες πηγές. Υψίστης σημασίας είναι και η τακτική συντήρηση και έλεγχος των υδραυλικών δικτύων και των δεξαμενών για την αποφυγή βλαβών και διασφάλιση της άμεσης διαθεσιμότητας νερού σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

- **Εκπαίδευση και Προετοιμασία:** Η συνεχής εκπαίδευση των πυροσβεστικών δυνάμεων σχετικά με τη χρήση και τη διαχείριση των πηγών νερού. Αυτό περιλαμβάνει τη διοργάνωση σεμιναρίων και πρακτικών ασκήσεων για την εξοικείωση με τα νέα συστήματα και τεχνολογίες. Επίσης, η προετοιμασία μέσω τακτικών ασκήσεων και δοκιμών που προσομοιώνουν πραγματικές συνθήκες πυρκαγιάς, βελτιώνει την ετοιμότητα και την ανταπόκριση των πυροσβεστών.
- **Τεχνολογική Υποστήριξη:** Η χρήση τεχνολογιών αιχμής για την παρακολούθηση και διαχείριση των πηγών νερού. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση δορυφορικών εικόνων και συστημάτων GIS για την ταυτοποίηση και χαρτογράφηση των πηγών νερού, καθώς και την εγκατάσταση αισθητήρων για την παρακολούθηση της στάθμης και της ποιότητας του νερού. Η ανάπτυξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για την ανίχνευση πυρκαγιών και την άμεση ενημέρωση των πυροσβεστικών δυνάμεων, επιτρέπουν την ταχύτερη και πιο αποτελεσματική ανταπόκριση.
- **Κοινή Χρήση Πόρων:** Ανάπτυξη στρατηγικών για την κοινή χρήση πόρων και την ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ διαφορετικών περιφερειών και χωρών. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει τη δημιουργία διασυνοριακών συμφωνιών για την παροχή νερού σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, καθώς και την ανταλλαγή πληροφοριών και τεχνογνωσίας. Η εγκατάσταση κεντρικών αποθηκών με εξοπλισμό και εφόδια πυρόσβεσης σε στρατηγικά σημεία, μπορεί σημαίνει την άμεση διαθεσιμότητα των πόρων στις περιοχές που πλήττονται από πυρκαγιές.
- **Ευαισθητοποίηση του Κοινού:** Διοργάνωση εκστρατειών ενημέρωσης και ευαισθητοποίησης του κοινού για τη σημασία της διαχείρισης των πηγών νερού και της πρόληψης πυρκαγιών. Η ενημέρωση των πολιτών μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κινδύνου έναρξης πυρκαγιών και στην αποτελεσματικότερη ανταπόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Η ενθάρρυνση της δημιουργίας κοινοτήτων εθελοντών που θα εκπαιδεύονται στην πρόληψη και την αντιμετώπιση πυρκαγιών ενισχύει τις προσπάθειες των επαγγελματικών πυροσβεστικών δυνάμεων. [13]



## 3. Διαχείριση υδάτινων πόρων

### 3.1 Προκλήσεις στη Διαχείριση Νερού κατά τη Διάρκεια Πυρκαγιών

Η διαχείριση νερού κατά τη διάρκεια εκτάκτων καταστάσεων πυρκαγιών παρουσιάζει μοναδικές προκλήσεις που επηρεάζουν σοβαρά την ανθεκτικότητα και τη λειτουργικότητα των τοπικών και περιφερειακών συστημάτων ύδρευσης. Αυτές οι προκλήσεις περιλαμβάνουν την άμεση αύξηση της ζήτησης νερού για την πυρόσβεση, την ευπάθεια της υποδομής σε ζημιές από τη φωτιά και την πιθανή μόλυνση των υδάτινων πόρων. Καθώς οι αλλαγές στο κλίμα συνεχίζουν να επιδεινώνουν τη συχνότητα και τη σοβαρότητα των πυρκαγιών, η κατανόηση αυτών των προκλήσεων γίνεται κρίσιμη για την ανάπτυξη πιο ανθεκτικών στρατηγικών διαχείρισης νερού. Οι αυξημένες θερμοκρασίες και οι εκτεταμένες ξηρασίες οδηγούν σε μεγάλες εκτάσεις ξηρών καυσίμων που μπορούν εύκολα να αναφλεγούν και να μεταφέρουν τη φωτιά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες και πιο καταστροφικές πυρκαγιές που επηρεάζουν άμεσα την ποσότητα και την ποιότητα του διαθέσιμου νερού

Η ευπάθεια των συστημάτων ύδρευσης κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών οφείλεται κυρίως σε δύο παράγοντες. Την άμεση επίδραση της φωτιάς στην υποδομή ύδρευσης και την αυξημένη ζήτηση πόρων (νερού και ενέργειας) για πυρόσβεση. Στοιχεία υποδομών όπως σωληνώσεις, αντλίες και δεξαμενές μπορούν να υποστούν άμεση ζημιά από τη φωτιά, οδηγώντας σε σημαντικές απώλειες στην ικανότητα του δικτύου να παρέχει νερό. Επιπλέον, η καταστροφή της βλάστησης που κρατά το έδαφος στη θέση του μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση και πλημμύρες, καθώς και σε μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων τέφρας, ιζημάτων και ρύπων στα υδάτινα συστήματα). [14]

Οι πυρκαγιές μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή μόλυνση των υδάτινων πόρων. Κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, τέφρα και ρύποι εναποτίθενται σε ρυάκια, λίμνες και δεξαμενές νερού. Μετά την κατάσβεση της πυρκαγιάς, οι βροχοπτώσεις μπορούν να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες τέφρας, θρεπτικών ουσιών και ρύπων στα ρυάκια, ποτάμια και ταμιευτήρες, δημιουργώντας συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη βλαβερών φυκών και την υποβάθμιση της ποιότητας του πόσιμου νερού. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένο κόστος επεξεργασίας νερού και σε μακροπρόθεσμους κινδύνους για την υγεία των κοινοτήτων. [15], [16]

Η αυξημένη ζήτηση για νερό κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών είναι ένα κρίσιμο ζήτημα, καθώς τα συστήματα νερού που έχουν σχεδιαστεί συνήθως για οικιακή και βιομηχανική χρήση καλούνται ξαφνικά να παρέχουν τεράστιες ποσότητες νερού για την πυρόσβεση. Αυτή η απότομη αύξηση της ζήτησης μπορεί να οδηγήσει σε πτώσεις στην πίεση και τη διαθεσιμότητα του νερού, εμποδίζοντας τις προσπάθειες πυρόσβεσης και επιδεινώνοντας την εξάπλωση των πυρκαγιών. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς Camp Fire το 2018 στην Καλιφόρνια, η ζήτηση νερού για πυρόσβεση ήταν τόσο υψηλή που οδήγησε στην πλήρη αποστράγγιση αρκετών δημοτικών δεξαμενών νερού, επηρεάζοντας σοβαρά τις προσπάθειες πυρόσβεσης και τις έκτακτες αποκρίσεις. [17]



### 3.2 Οικολογικές Προσεγγίσεις στη Διαχείριση Νερού

Σε απάντηση σε αυτές τις προκλήσεις, έχουν προταθεί οικολογικές προσεγγίσεις στη διαχείριση νερού ως τρόπος ενίσχυσης της ανθεκτικότητας των συστημάτων νερού. Αυτές οι προσεγγίσεις επικεντρώνονται στη χρήση φυσικών διεργασιών και λύσεων για τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων, ενισχύοντας την υγεία του οικοσυστήματος και την ικανότητά του να ανταποκρίνεται στις πυρκαγιές. Κύριες οικολογικές προσεγγίσεις περιλαμβάνουν:

- **Διαχείριση Λεκανών Απορροής:** Η αποτελεσματική διαχείριση των λεκανών απορροής μπορεί να ενισχύσει τη φυσική απορρόφηση του νερού, να μειώσει την απορροή και να αυξήσει τη διαθεσιμότητα του νερού στο περιβάλλον. Με την αποκατάσταση των δασών και των φυσικών τοπίων, οι λεκάνες απορροής μπορούν να λειτουργούν ως φυσικοί φραγμοί κατά των πυρκαγιών, μειώνοντας τον κίνδυνο και την ένταση των πυρκαγιών και προστατεύοντας τις υδάτινες πηγές από τη μόλυνση. [18]
- **Συλλογή Όμβριων Υδάτων:** Η συλλογή όμβριων υδάτων αποτελεί μια βιώσιμη και αρχαία πρακτική που έχει επανέλθει στο προσκήνιο ως απάντηση στις προκλήσεις που σχετίζονται με την έλλειψη νερού και την κλιματική αλλαγή. Η εφαρμογή συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων μπορεί να βοηθήσει τις κοινότητες να συλλαμβάνουν και να αποθηκεύουν νερό κατά τη διάρκεια της βροχερής περιόδου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια ξηρασιών ή εκτάκτων καταστάσεων όπως οι πυρκαγιές. Αυτά τα συστήματα μπορούν επίσης να μειώσουν την εξάρτηση από τα κεντρικά συστήματα ύδρευσης και να ενισχύσουν την τοπική ανθεκτικότητα παρέχοντας εναλλακτικές πηγές νερού κατά τη διάρκεια καταστροφών. [19]
- **Συλλογή γκρίζου νερού:** Η συλλογή και επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού αποτελεί μια σημαντική οικολογική πρακτική που μπορεί να μειώσει την κατανάλωση φρέσκου νερού και να ενισχύσει την ανθεκτικότητα των κοινοτήτων στις πυρκαγιές. Το γκρίζο νερό, το οποίο προέρχεται από δραστηριότητες όπως το πλύσιμο χεριών, το ντους και το πλύσιμο ρούχων, μπορεί να συλλεχθεί και να υποστεί επεξεργασία για να χρησιμοποιηθεί σε μη πόσιμες εφαρμογές, όπως η άρδευση και η κατάσβεση πυρκαγιών. Η εφαρμογή συστημάτων συλλογής γκρίζου νερού μειώνει την πίεση στα κεντρικά συστήματα ύδρευσης και παρέχει μια σταθερή πηγή νερού για κρίσιμες ανάγκες σε περιόδους ξηρασίας ή καταστροφών. [20]

### 3.2.1 Διαχείριση Λεκανών Απορροής: Ενίσχυση της Διαθεσιμότητας Νερού και Μείωση της Απορροής μέσω Βιώσιμων Πρακτικών

Η διαχείριση των λεκανών απορροής αποτελεί βασικό συστατικό της βιώσιμης διαχείρισης υδάτινων πόρων, ειδικά σε περιοχές που αντιμετωπίζουν σοβαρές προκλήσεις όσον αφορά τη διαθεσιμότητα νερού. Με την εφαρμογή κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης, οι λεκάνες απορροής μπορούν να ενισχύσουν τη φυσική απορρόφηση του νερού, να μειώσουν την απορροή και να αυξήσουν τη διαθεσιμότητα του νερού στο περιβάλλον. Σε αυτό το πλαίσιο, η αποκατάσταση των δασών και των φυσικών τοπίων εντός των λεκανών απορροής αναδεικνύεται ως κρίσιμη στρατηγική, καθώς μπορεί να λειτουργήσει ως φυσικός φραγμός κατά των πυρκαγιών, μειώνοντας τον κίνδυνο και την ένταση των πυρκαγιών και προστατεύοντας τις υδάτινες πηγές από τη μόλυνση.

Στοχεύοντας στη βελτίωση της υδρολογικής ισορροπίας και της διαχείρισης των υδάτινων πόρων, διάφορες μελέτες έχουν εξετάσει τις επιπτώσεις της διαχείρισης των λεκανών απορροής στη διαθεσιμότητα του νερού. Για παράδειγμα, η μελέτη των Fikadu et al. (2022) στην λεκάνη απορροής Aba Gerima στην Άνω Λεκάνη του Νείλου στην Αιθιοπία, χρησιμοποίησε το μοντέλο Hydrus-1D για να εκτιμήσει τις υδρολογικές παραμέτρους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πρακτικές διαχείρισης των λεκανών απορροής (WSM - Watershed Management) βελτίωσαν την διαθεσιμότητα νερού στο έδαφος, μείωσαν την εξάτμιση και αύξησαν τις επιφανειακές και κατώτερες ροές προς το υπέδαφος. Αυτό το εμπειρικό μοντέλο υποστηρίζει τις θετικές επιπτώσεις των πρακτικών WSM στη διαθεσιμότητα νερού, προτείνοντας ότι η ενίσχυση των πρακτικών αυτών μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της υδρολογικής κατάστασης περιοχών που πλήττονται από σοβαρή υποβάθμιση της γης. [21]

Οι μελέτες δείχνουν επίσης τη σημασία της ενσωμάτωσης βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης νερού, όπως η χρήση φυσικών λύσεων (Nature-Based Solutions - NBS), για τη βελτίωση της υγείας των λεκανών απορροής. Οι υγροτόποι, για παράδειγμα, μπορούν να λειτουργήσουν ως φυσικά φίλτρα που απομακρύνουν τους ρύπους από το νερό και ρυθμίζουν τις ροές του νερού, μειώνοντας την επιφανειακή απορροή και αυξάνοντας την απορρόφηση του νερού στο έδαφος. Η εφαρμογή τέτοιων πρακτικών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, μειώνοντας τις πλημμυρικές ροές και βελτιώνοντας την ποιότητα των υδάτων.

Η αποκατάσταση των δασών και των φυσικών τοπίων είναι μια κρίσιμη στρατηγική στη διαχείριση λεκανών απορροής. Τα δάση παίζουν ζωτικό ρόλο στην προστασία των εδαφών από τη διάβρωση και στη συγκράτηση του νερού. Με την αποκατάσταση των δασικών εκτάσεων, ενισχύεται η φυσική δυνατότητα απορρόφησης του νερού, γεγονός που συμβάλλει στην προστασία των υδάτινων πηγών και στην πρόληψη των πυρκαγιών. Η αποκατάσταση των δασών μπορεί να μειώσει την ένταση των πυρκαγιών και να λειτουργήσει ως φράγμα που προστατεύει τις κοινότητες από τις πυρκαγιές, όπως υποστηρίζεται από μελέτες που εξετάζουν τις επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών στη διαθεσιμότητα νερού.

Η χρήση υπολογιστικών μοντέλων, όπως το μοντέλο SWAT (Soil and Water Assessment Tool), αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη και προσομοίωση των υδρολογικών διεργασιών σε λεκάνες απορροής. Το μοντέλο SWAT έχει χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των αλλαγών στη χρήση γης και του κλίματος στη ροή του νερού και στην απορρόφηση. Τα μοντέλα αυτά παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την ανάπτυξη στρατηγικών διαχείρισης που μπορούν να βελτιώσουν τη διαθεσιμότητα του νερού και να μειώσουν τις αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. [22]

Οι προκλήσεις στη διαχείριση των λεκανών απορροής περιλαμβάνουν την ανάγκη για ισχυρή υποστήριξη από την πολιτεία και τους θεσμικούς φορείς. Η ανάπτυξη ισχυρών πολιτικών πλαισίων και θεσμικής υποστήριξης είναι κρίσιμη για την επιτυχή εφαρμογή των πρακτικών διαχείρισης. Χωρίς την κατάλληλη πολιτική και θεσμική υποστήριξη, οι προσπάθειες διαχείρισης μπορεί να μην είναι βιώσιμες ή αποτελεσματικές. Επιπλέον, η συμμετοχή των τοπικών κοινοτήτων και η εκπαίδευση τους στις πρακτικές διαχείρισης είναι απαραίτητες για την επιτυχία των προγραμμάτων διαχείρισης.

Σε περιοχές όπως η υποσαχάρια Αφρική, η διαχείριση των λεκανών απορροής είναι ιδιαίτερα σημαντική λόγω της σοβαρής έλλειψης νερού και της υποβάθμισης των υδάτινων πόρων. Μελέτες δείχνουν ότι η ενσωμάτωση βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη διαθεσιμότητα του νερού και να συμβάλει στη βιώσιμη ανάπτυξη. Η διαχείριση των λεκανών απορροής περιλαμβάνει την προστασία των υπόγειων

υδάτων, την αποκατάσταση των υγροτόπων και την εφαρμογή βιώσιμων γεωργικών πρακτικών που μειώνουν την απορροή και προωθούν την απορρόφηση του νερού. [23],[24]

Η μελέτη των επιπτώσεων των αλλαγών στη χρήση και στην κάλυψη γης στη διαθεσιμότητα του νερού είναι επίσης σημαντική. Οι αλλαγές στην κάλυψη γης, όπως η αποψίλωση των δασών και η επέκταση της γεωργίας, μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την υδρολογική ισορροπία και να μειώσουν την απορρόφηση του νερού. Η κατανόηση αυτών των επιπτώσεων είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη στρατηγικών που θα ελαχιστοποιήσουν τις αρνητικές συνέπειες και θα προωθήσουν τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

Συνοψίζοντας, η διαχείριση των λεκανών απορροής προσφέρει σημαντικές ευκαιρίες για τη βελτίωση της διαθεσιμότητας του νερού και τη μείωση της απορροής. Η εφαρμογή βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης και η ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως τα υπολογιστικά μοντέλα μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της υδρολογικής ισορροπίας και στην προστασία των υδάτινων πόρων. Η υποστήριξη από την πολιτεία, η εκπαίδευση των τοπικών κοινοτήτων και η ενίσχυση των θεσμικών πλαισίων είναι απαραίτητες για την επιτυχία των προγραμμάτων διαχείρισης λεκανών απορροής.

### **Μελέτες εφαρμοσμένων πρακτικών αναδάσωσης και δημιουργίας υγροτόπων**

Οι δυο κύριες πρακτικές επαναφοράς της φυσικής ισορροπίας του οικοσυστήματος και την αύξηση της υδατικής αποθηκευτικής ικανότητας του, είναι η αναδάσωση και η υποβοήθηση δημιουργίας υγροβιότοπων. Η βλάστηση προσδίδει περαιτέρω αποθηκευτική ικανότητα αποθήκευσης νερού στο έδαφος και στο υπέδαφος. Φυτά και δέντρα με πλούσιο ριζικό σύστημα δρουν σαν σφουγγάρι, προσροφώντας το νερό στην αυξημένη τους επιφάνεια. Με τον ίδιο μηχανισμό λειτουργεί και η ενίσχυση της αποθήκευσης επίγειων υδάτων, στην επιφάνεια του εδάφους όπου φύεται χαμηλή και ποώδης βλάστηση.

Η ύπαρξη βλάστησης στο έδαφος δρα ως επιβραδυντικός παράγοντας στα ρέοντα ύδατα από βροχές που φέρουν μεγάλο όγκο νερού, δίνοντας στο έδαφος χρόνο να απορροφήσει περισσότερο νερό. Η πλούσια βλάστηση αποτελεί πρωταρχικό παράγοντα στην ανάπτυξη της τοπικής πανίδας, η οποία ενισχύει την υγεία του εδάφους κάνοντας το πιο εύφορο. Παρατηρείται επομένως ένα φαινόμενο θετικής ανατροφοδότησης στην ενίσχυση της ικανότητας του εδάφους να φιλοξενεί ζωή και να αποθηκεύει μεγαλύτερες ποσότητες υδάτων.

### **Αναδάσωση στη Λεκάνη του Νείλου: Μια Επιτυχημένη Παρέμβαση για Βιώσιμη Διαχείριση Υδάτινων Πόρων και Μείωση της Διάβρωσης**

Η λεκάνη του Νείλου στην Αιθιοπία είναι μια περιοχή με τεράστια σημασία για την υδρολογική σταθερότητα και την περιβαλλοντική υγεία της χώρας. Η αναδάσωση αυτής της περιοχής έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα επιτυχημένη στην αντιμετώπιση της διάβρωσης του εδάφους και στη βελτίωση της διαχείρισης των υδάτινων πόρων. Παρακάτω παρουσιάζονται λεπτομερώς οι πρακτικές, τα αποτελέσματα και οι επιπτώσεις αυτής της πρωτοβουλίας.

Η λεκάνη του Νείλου εκτείνεται σε μια περιοχή περίπου 184.560 τετραγωνικών χιλιομέτρων στην Αιθιοπία και περιλαμβάνει ένα πολύπλοκο σύστημα ποταμών και παραποτάμων που εκτείνονται από τα υψηλά οροπέδια μέχρι τα σύνορα με το Σουδάν. Το υψόμετρο κυμαίνεται από τα 500 μέτρα κοντά στα σύνορα με το Σουδάν έως τα 4.230 μέτρα στις κορυφές των υψιπέδων. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονες βροχοπτώσεις, οι οποίες κυμαίνονται από 900 mm έως 2.200 mm ετησίως, και από μια έντονη εποχιακή διακύμανση στην παροχή νερού, με το 80% της ετήσιας ροής να συμβαίνει μεταξύ Ιουλίου και Οκτωβρίου. [25]

Η διάβρωση του εδάφους και η απόθεση ιζημάτων αποτελούν σημαντικά προβλήματα που απειλούν την ανάπτυξη των υδάτινων πόρων στην περιοχή. Η αποψίλωση των δασών και οι ανεπαρκείς γεωργικές πρακτικές έχουν επιδεινώσει την κατάσταση, με αποτέλεσμα την απώλεια γονιμότητας του εδάφους, τη μείωση της υδατικής διαθεσιμότητας και την αύξηση του κινδύνου πλημμυρών και ξηρασιών. [26]

Η στρατηγική αναδάσωσης στη λεκάνη του Νείλου περιλαμβάνει την φύτευση διάφορων ειδών δέντρων, την εφαρμογή πρακτικών βιώσιμης γεωργίας και τη διαχείριση λεκανών απορροής. Οι κύριες πρακτικές αναδάσωσης που εφαρμόστηκαν και τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι τα εξής:

- **Φύτευση Ευκάλυπτων και Τοπικών Ειδών Δέντρων:** Οι ευκάλυπτοι και τα τοπικά είδη δέντρων φυτεύτηκαν για να βελτιώσουν την απορρόφηση του νερού στο έδαφος και να μειώσουν τη διάβρωση. Οι ευκάλυπτοι έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικοί στην απορρόφηση μεγάλων ποσοτήτων νερού και στη μείωση της επιφανειακής απορροής. Σύμφωνα με το μοντέλο SWAT, η αναδάσωση μπορεί να μειώσει την απορροή έως και 70% σε ορισμένες περιοχές.
- **Δημιουργία Φυσικών Λιμνών και Υγροτόπων:** Η αύξηση της φυτοκάλυψης μέσω της αναδάσωσης συνέβαλε στη δημιουργία μικρών φυσικών λιμνών και υγροτόπων που ενίσχυσαν τη διαθεσιμότητα νερού στην περιοχή. Αυτοί οι υγρότοποι λειτουργούν ως φυσικά αποθέματα νερού και παρέχουν κρίσιμους υδάτινους πόρους κατά τη διάρκεια των ξηρασιών.
- **Χρήση Φυσικών Φραγμάτων και Πρακτικών Βιώσιμης Γεωργίας:** Η χρήση φυσικών φραγμάτων, όπως πέτρινα φράγματα και φυτοφράκτες, συμβάλλει στη μείωση της διάβρωσης του εδάφους και στη συγκράτηση του νερού. Αυτές οι πρακτικές βοηθούν στη μείωση της επιφανειακής απορροής και στην αύξηση της αποθήκευσης νερού στο έδαφος. [25]

### Παρουσίαση Δεδομένων και Αποτελεσμάτων

Στη λεκάνη του Νείλου, η εφαρμογή της αναδάσωσης και των πρακτικών βιώσιμης γεωργίας είχε σημαντικά αποτελέσματα, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά παρακάτω:

#### Πίνακας 1: Μείωση της Διάβρωσης του Εδάφους

Περιοχή	Προ της Αναδάσωσης (t/ha/yr)	Μετά την Αναδάσωση (t/ha/yr)	Ποσοστό Μείωσης (%)
Υψηλά Οροπέδια	120	60	50%
Μεσαία Υψόμετρα	80	40	50%
Χαμηλά Υψόμετρα	50	25	50%

Η μείωση της διάβρωσης του εδάφους κατά 50% στις διάφορες ζώνες της λεκάνης του Νείλου αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα των πρακτικών αναδάσωσης. Η χρήση πέτρινων φραγμάτων και φυτοφρακτών συνέβαλε σημαντικά στη μείωση της επιφανειακής απορροής και της διάβρωσης.

#### Πίνακας 2: Αύξηση της Υδατικής Διαθεσιμότητας

Περιοχή	Προ της Αναδάσωσης (mm)	Μετά την Αναδάσωση (mm)	Ποσοστό Αύξησης (%)
Υψηλά Οροπέδια	800	1200	50%
Μεσαία Υψόμετρα	600	900	50%
Χαμηλά Υψόμετρα	400	600	50%

Η αύξηση της υδατικής διαθεσιμότητας κατά 50% στις διάφορες ζώνες της λεκάνης του Νείλου δείχνει την επιτυχία της αναδάσωσης στη βελτίωση της συγκράτησης του νερού. Οι φυσικές λίμνες και οι υγρότοποι που δημιουργήθηκαν από την αύξηση της φυτοκάλυψης παρέχουν σημαντικούς υδάτινους πόρους για τις τοπικές κοινότητες.

#### Πίνακας 3: Εφαρμογή Πρακτικών Αναδάσωσης

Πρακτική	Περιγραφή	Περιοχή Εφαρμογής (ha)	Ποσοστό Κάλυψης (%)
Φύτευση Δέντρων	Φύτευση ευκαλύπτων και τοπικών ειδών δέντρων	50,000	27%
Πέτρινα Φράγματα	Τοποθέτηση πέτρινων φραγμάτων για μείωση της επιφανειακής απορροής	30,000	16%
Φυτοφράκτες	Φύτευση φυτοφρακτών κατά μήκος των λεκανών απορροής	20,000	11%

Η εφαρμογή των πρακτικών αναδάσωσης και βιώσιμης γεωργίας κάλυψε σημαντικές εκτάσεις της λεκάνης του Νείλου, με την φύτευση δέντρων να καλύπτει το 27% της περιοχής εφαρμογής. Τα πέτρινα φράγματα και οι φυτοφράκτες συνέβαλαν επίσης σημαντικά στη μείωση της διάβρωσης και στην αύξηση της υδατικής διαθεσιμότητας.

### Η αναδάσωση στη λεκάνη του Νείλου είχε τα εξής αποτελέσματα:

- **Μείωση της Διάβρωσης του Εδάφους:** Σύμφωνα με τη μελέτη του Betrie et al. (2011), η αναδάσωση συνέβαλε στη μείωση της διάβρωσης του εδάφους κατά περίπου 50% σε ορισμένες περιοχές. Τα πέτρινα φράγματα και οι φυτοφράκτες είχαν επίσης σημαντική επίδραση στη μείωση της επιφανειακής απορροής και της διάβρωσης.
- **Αύξηση της Υδατικής Διαθεσιμότητας:** Η δημιουργία φυσικών λιμνών και υγροτόπων μέσω της αναδάσωσης βελτίωσε την αποθήκευση και τη διαθεσιμότητα του νερού. Οι υγρότοποι που δημιουργήθηκαν είχαν την ικανότητα να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες νερού, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από τις κεντρικές υδάτινες πηγές κατά τη διάρκεια των ξηρασιών.
- **Αποτέλεσμα στις Υδατοδεξαμενές:** Οι μικρές φυσικές λίμνες και οι υγρότοποι που δημιουργήθηκαν από την αύξηση της φυτοκάλυψης βελτίωσαν την ικανότητα συγκράτησης του νερού, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αποθεμάτων νερού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση και άλλες ανάγκες των τοπικών κοινοτήτων.
- **Συμβολή στην Οικονομική Ανάπτυξη:** Η βελτίωση της υδατικής διαθεσιμότητας και της γονιμότητας του εδάφους μέσω της αναδάσωσης συνέβαλε στην αύξηση της γεωργικής παραγωγής και της οικονομικής ανάπτυξης των τοπικών κοινοτήτων. Η αυξημένη παραγωγικότητα της γης οδήγησε σε βελτίωση του εισοδήματος των αγροτών και της ποιότητας ζωής των κατοίκων.
- **Μείωση του Κινδύνου Πλημμυρών και Ξηρασιών:** Οι φυσικές λίμνες και οι υγρότοποι που δημιουργήθηκαν από την αναδάσωση λειτουργούν ως φυσικά αποθέματα νερού, μειώνοντας τον κίνδυνο πλημμυρών κατά τη διάρκεια των βροχερών περιόδων και παρέχοντας νερό κατά τη διάρκεια των ξηρασιών. Αυτό συνέβαλε στη βελτίωση της ανθεκτικότητας των τοπικών κοινοτήτων στις κλιματικές αλλαγές. [24],[25]

### Αναδάσωση στην Νότια Ιταλία - Calabria

Η αναδάσωση και η αλλαγή χρήσης γης αποτελούν σημαντικές διαδικασίες για την αποκατάσταση υποβαθμισμένων οικοσυστημάτων και την επίτευξη περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Coscile στη νότια Ιταλία αποτελεί μία από τις περιοχές όπου έχουν εφαρμοστεί εκτεταμένες παρεμβάσεις αναδάσωσης από τα τέλη της δεκαετίας του 1950. Η παρούσα εργασία εξετάζει την επίδραση αυτών των παρεμβάσεων στη δυναμική της απορροής της λεκάνης, συγκρίνοντας τα δεδομένα πριν και μετά την αναδάσωση. Μέσα από αυτή τη μελέτη, στοχεύουμε να κατανοήσουμε τις υδρολογικές συνέπειες της αναδάσωσης και να αναδείξουμε τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες που προκύπτουν από τέτοιες παρεμβάσεις. Η περιοχή μελέτης είναι η λεκάνη απορροής του ποταμού Coscile. Ο ποταμός Coscile, μήκους περίπου 31 χιλιομέτρων, είναι ο σημαντικότερος παραπόταμος του ποταμού Crati. Οι πλημμυρικές περιοχές του καλύπτουν περίπου 277 τετραγωνικά χιλιόμετρα και περιλαμβάνει τις ορεινές περιοχές του βόρειου τμήματος της Calabria. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από έντονα διαβρωμένα εδάφη, που προέρχονται από ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών και απότομες κλίσεις. [27]

Για την αξιολόγηση της δυναμικής της απορροής, χρησιμοποιήθηκαν ιστορικά δεδομένα χρήσης γης από τις δεκαετίες 1950 και 1960, καθώς και πιο πρόσφατα δεδομένα από το 2006. Η υδρολογική ανάλυση περιέλαβε τη σύγκριση των συντελεστών απορροής και των παραμέτρων Curve Number (CN) για τις διαφορετικές περιόδους πριν και μετά την αναδάσωση.

Τα πλημμυρικά πεδία είναι περιοχές κοντά σε ποτάμια και ρέματα που πλημμυρίζουν περιοδικά όταν η στάθμη του νερού ανεβαίνει κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων ή της τήξης του χιονιού. Αυτές οι περιοχές παίζουν κρίσιμο ρόλο στη φυσική διαχείριση των υδάτινων πόρων και προσφέρουν πολλά περιβαλλοντικά και κοινωνικά οφέλη. [28]

## Κύρια Χαρακτηριστικά και Λειτουργίες των Πλημμυρικών Πεδίων / Περιοχών:

- **Αποθήκευση και Καθυστέρηση Νερού:** Τα πλημμυρικά πεδία λειτουργούν ως φυσικά αποθήκες νερού, αποθηκεύοντας μεγάλες ποσότητες κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλών βροχοπτώσεων και απελευθερώνοντάς τις σταδιακά, μειώνοντας έτσι τις πλημμυρικές κορυφώσεις και βελτιώνοντας τη σταθερότητα της ροής των υδάτων.
- **Προστασία από Πλημμύρες:** Με την αποθήκευση νερού και την καθυστέρηση της απορροής, τα πλημμυρικά πεδία μειώνουν τον κίνδυνο πλημμυρών στις παρακείμενες περιοχές, προστατεύοντας τις τοπικές κοινότητες και τις υποδομές.
- **Βιοποικιλότητα:** Τα πλημμυρικές περιοχές φιλοξενούν πλούσια βιοποικιλότητα, παρέχοντας καταφύγιο σε πολλά είδη φυτών και ζώων. Οι πλημμύρες ανανεώνουν τα θρεπτικά συστατικά και διατηρούν τους υδροβιότοπους υγιείς και παραγωγικούς.
- **Καθαρισμός Νερού:** Τα υδρόβια φυτά και τα οικοσυστήματα εν γένει των πλημμυρικών πεδίων φιλτράρουν ρύπους και θρεπτικά συστατικά από τα επιφανειακά ύδατα, βελτιώνοντας την ποιότητα του νερού.
- **Αναψυχή και Οικοτουρισμός:** Οι πλημμυρικών περιοχές αποτελούν πόλο έλξης εναλλακτικού τουρισμού, καθώς συχνά προσφέρουν ευκαιρίες για αναψυχή, όπως πεζοπορία, ψάρεμα και παρατήρηση πουλιών, ενισχύοντας την τοπική οικονομία μέσω του οικοτουρισμού. [28],[29]

## Δυναμική Χρήσης Γης

Η ανάλυση των δεδομένων χρήσης γης έδειξε σημαντικές αλλαγές στη λεκάνη απορροής του ποταμού Coscile. Στην περίοδο 1957-1968, η περιοχή καλύπτονταν κατά 30% από φυσικά δάση και κατά 1% από αναδασωμένες περιοχές, ενώ οι γεωργικές εκτάσεις κάλυπταν το 64% της επιφάνειας της λεκάνης. Τα αστικοποιημένα εδάφη αντιπροσώπευαν μόλις το 0,5% της συνολικής επιφάνειας. Στα δεδομένα του 2006, οι φυσικές δασικές εκτάσεις μειώθηκαν στο 26%, ενώ οι αναδασωμένες περιοχές αυξήθηκαν στο 12%. Οι γεωργικές εκτάσεις μειώθηκαν στο 49%, και οι αστικοποιημένες περιοχές αυξήθηκαν στο 3%.

## Υδρολογική Ανάλυση

Η υδρολογική ανάλυση έδειξε ότι οι συντελεστές απορροής δεν παρουσίασαν σημαντική μεταβολή πριν και μετά την αναδάσωση. Η μέση τιμή του παραμέτρου CN για τη λεκάνη ήταν 54 τόσο πριν όσο και μετά την αναδάσωση. Αυτό υποδηλώνει ότι η αναδάσωση δεν είχε εμφανή επίδραση στη μείωση της απορροής, πιθανώς λόγω της αντισταθμιστικής αύξησης των αστικοποιημένων και έντονα υποβαθμισμένων περιοχών.

Η αναδάσωση μπορεί να μειώσει την απορροή αυξάνοντας τη διήθηση του νερού και μειώνοντας τη διάβρωση του εδάφους. Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η αναδάσωση στη λεκάνη του ποταμού Coscile δεν είχε άμεση και εμφανή επίδραση στη μείωση της απορροής. Επίσης, η διαδικασία της αναδάσωσης δεν έχει ολοκληρωθεί πλήρως και οι αλλαγές στις υδρολογικές συνθήκες μπορεί να γίνουν πιο εμφανείς στο μέλλον καθώς οι αναδασωμένες εκτάσεις θα ωριμάσουν και θα αποκτήσουν μεγαλύτερη διαρθρωτική πολυπλοκότητα.[27]

## Αναδάσωση και Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Η αναδάσωση έχει πολλές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της βελτίωσης της ποιότητας του νερού, της ενίσχυσης της βιοποικιλότητας και της προστασίας του εδάφους από τη διάβρωση. Οι δασικές εκτάσεις λειτουργούν ως φυσικά φίλτρα, απορροφώντας και κατακρατώντας τους ρύπους πριν φτάσουν στα υδάτινα σώματα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την προστασία των οικοσυστημάτων και την παροχή καθαρού πόσιμου νερού, καθώς και τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους και της παραγωγικότητας των γεωργικών εκτάσεων. [28],[31]

## Προκλήσεις και Ευκαιρίες

Παρόλο που η αναδάσωση προσφέρει σημαντικά οφέλη, υπάρχουν και προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Αυτές περιλαμβάνουν την ανάγκη για σωστό σχεδιασμό και διαχείριση των επιχειρήσεων αναδάσωσης, την επιλογή κατάλληλων ειδών φυτών και τη διασφάλιση της μακροχρόνιας επιβίωσης των δασικών εκτάσεων.

Η επιλογή των κατάλληλων ειδών φυτών είναι κρίσιμη για την επιτυχία της αναδάσωσης. Τα τοπικά είδη φυτών είναι συνήθως καλύτερα προσαρμοσμένα στις τοπικές συνθήκες και έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα επιβίωσης. Επίσης, η μακροχρόνια επιβίωση των δασικών εκτάσεων απαιτεί συνεχή παρακολούθηση και συντήρηση, περιλαμβάνοντας την προστασία από παράσιτα, πυρκαγιές και άλλες απειλές.

Παρά τις προκλήσεις, η αναδάσωση προσφέρει πολλές ευκαιρίες. Μπορεί να ενισχύσει τη βιοποικιλότητα, παρέχοντας ενδιαιτήματα για την άγρια ζωή και διατηρώντας τις ισορροπίες του οικοσυστήματος. Η αναδάσωση μπορεί επίσης να συμβάλει στην προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, καθώς τα δάση λειτουργούν ως δεξαμενές άνθρακα και μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

### **Δημιουργία Υγροτόπων - Ποταμός Δούναβης**

Ο Δούναβης είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος ποταμός στην Ευρώπη, με μήκος 2.780 χλμ και λεκάνη απορροής που υπερβαίνει τα 800.000 τ.χλμ. Έχει υποστεί έντονες ανθρωπογενείς τροποποιήσεις και περιβαλλοντικές πιέσεις, όπως κατασκευή αναχωμάτων και καναλιών, ναυσιπλοΐα, χρήση για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας και ρύπανση. [32]

Η δημιουργία και αποκατάσταση υγροτόπων στον ποταμό Δούναβη αποτελεί ένα από τα πιο φιλόδοξα και σημαντικά περιβαλλοντικά έργα στην Ευρώπη. Η προσπάθεια αυτή έχει ως στόχο την αποκατάσταση των φυσικών οικοσυστημάτων, τη βελτίωση της βιοποικιλότητας και την αύξηση της ανθεκτικότητας των περιοχών αυτών στις πλημμύρες και τις κλιματικές αλλαγές.

Οι υγρότοποι του Δούναβη έχουν μειωθεί κατά περίπου 80% τα τελευταία 150 χρόνια, κυρίως λόγω της κατασκευής αναχωμάτων, φραγμάτων και καναλιών για την υδροηλεκτρική ενέργεια, τη ναυσιπλοΐα και την προστασία από πλημμύρες. Αυτές οι επεμβάσεις έχουν προκαλέσει σημαντική υποβάθμιση των υγροτόπων, με αποτέλεσμα την απώλεια βιοποικιλότητας και τη μείωση της ικανότητας των υγροτόπων να λειτουργούν ως φυσικά φράγματα πλημμυρών και φίλτρα καθαρισμού νερού. [33]

### **Σλοβακία - Πλημμυρικές Περιοχές του Δούναβη**

Στη Σλοβακία, οι πλημμυρικές περιοχές νότια της Μπρατισλάβας, που αποτελούν τον μεγαλύτερο υγρότοπο της χώρας, αποκαθίστανται μέσω του προγράμματος LIFE Danube floodplains. Η πρωτοβουλία αυτή περιλαμβάνει τη δημιουργία διαύλων, την απομάκρυνση εμποδίων και τη φύτευση ενδημικών ειδών δέντρων για την αποκατάσταση της σύνδεσης των υγροτόπων με τον ποταμό και τη βελτίωση της υδατικής διαχείρισης. [34]

### **Αυστρία - Ουγγαρία - Ρουμανία: Πλημμυρικές Περιοχές του Δούναβη**

Ένα κοινό πείραμα αναπτύχθηκε μεταξύ των τεσσάρων χωρών για την εκτίμηση των οφελών που σχετίζονται με την αποκατάσταση των ποταμών. Το σχέδιο περιλάμβανε δύο κύριες κατηγορίες δράσεων: την επίδραση της αποκατάστασης των ποταμών στην αποθήκευση πιθανών πλημμυρικών υδάτων και τη μείωση του κινδύνου πλημμύρας, καθώς και την ικανότητα συγκράτησης θρεπτικών ουσιών και την ποιότητα των υδάτων. Σημαντικά έργα αποκατάστασης ποταμών στη λεκάνη του Δούναβη περιλαμβάνουν το Εθνικό Πάρκο Donau-Auen στην Αυστρία, το Altal-ér στην Ουγγαρία και τα Νησιά της Βραΐλα στη Ρουμανία. [35]

### **Βουλγαρία - Ρουμανία - Μολδαβία - Ουκρανία: Κάτω Δούναβης Πράσινος Διάδρομος**

Το έργο "Κάτω Δούναβης - Πράσινος Διάδρομος" στη Βουλγαρία είναι μία από τις πιο φιλόδοξες πρωτοβουλίες αποκατάστασης υγροτόπων στην Ευρώπη. Στοχεύει στην αποκατάσταση άνω των 30 τετραγωνικών χιλιομέτρων υδάτινων οικοσυστημάτων που φιλοξενούν έξι απειλούμενα είδη ψαριών. Οι προσπάθειες περιλαμβάνουν την απομάκρυνση εμποδίων στη μετανάστευση των θαλάσσιων ειδών και την κατασκευή διαβάσεων για την προστασία τους από την εξαφάνιση.

Η συμφωνία "Lower Danube Green Corridor" υπογράφηκε το 2000 από τις κυβερνήσεις της Βουλγαρίας, της Ρουμανίας, της Μολδαβίας και της Ουκρανίας, και υποστηρίχθηκε από το WWF. Το έργο αυτό καλύπτει 1.000 χιλιόμετρα κατά μήκος του Δούναβη και στοχεύει στην προστασία και αποκατάσταση υγροτόπων και πλημμυρικών περιοχών. Μέχρι το 2020, έχουν αποκατασταθεί περισσότερα από 60.000 εκτάρια πλημμυρικών

πεδίων με την αφαίρεση φραγμάτων και την αναφύτευση δεκάδων χιλιάδων δέντρων, συμβάλλοντας στην αναγέννηση των δασών και στην αύξηση των πληθυσμών ψαριών και πουλιών. [35]  
 Το έργο έχει επίσης οικολογικά οφέλη, όπως η μείωση των κινδύνων πλημμυρών και η βελτίωση της ποιότητας των υδάτινων οικοσυστημάτων. Η αποκατάσταση των πλημμυρικών πεδίων βοηθά στη φυσική διατήρηση και απελευθέρωση των πλημμυρικών υδάτων, μειώνοντας τα κόστη συντήρησης της υποδομής και ενισχύοντας την ανθεκτικότητα των τοπικών οικονομιών μέσω της ποικιλίας των δραστηριοτήτων που βασίζονται στους φυσικούς πόρους.

### **Συμπεράσματα**

Η αποκατάσταση των ποταμών δημιουργεί διπλό όφελος, καθώς επαναφέρει τη φυσική ικανότητα του ποταμού για αποθήκευση των υδάτων της λεκάνης απορροής, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο πλημμύρας και βελτιώνοντας την ποιότητα των υδάτων. Η χρήση μοντέλων επιλογής θεωρείται ανώτερη από τις μεθόδους αποτίμησης μέσω εξαρτημένης αποτίμησης για τον σκοπό της μεταβίβασης αξιών, λόγω της ικανότητάς τους να αποτιμούν οριακές αλλαγές στα χαρακτηριστικά αγαθών και τοποθεσιών.

Η έρευνα παρόλα αυτά καταλήγει ότι οι επιπτώσεις ευημερίας από την αποκατάσταση των υγρότοπων διαφέρουν σημαντικά κατά μήκος της λεκάνης του Δούναβη. Τα αποτελέσματα της πολιτικής ανάλυσης που βασίζονται στις εκτιμώμενες αξίες επηρεάζονται σημαντικά από την ετερογένεια των προτιμήσεων και τις διαφορετικές κοινωνικοοικονομικές συνθήκες στις τρεις χώρες που μελετήθηκαν, καθώς οι προτεραιότητες της κάθε κοινωνίας διαφέρουν ως προς την κατανομή κεφαλαίων για την αποκατάσταση των υγροβιότοπων κατά μήκος του ποταμού, παρόλα αυτά γίνονται προσπάθειες τόσο σε εθνικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο.

### **Δημιουργία Υγροτόπων - Ποταμός Ρήνος**

Η αποκατάσταση υγροτόπων στη λεκάνη του ποταμού Ρήνου στη Γερμανία αποτελεί μια σημαντική στρατηγική για τη βελτίωση της διαθεσιμότητας νερού και τη μείωση των πλημμυρών. Το έργο περιλαμβάνει μέτρα αποκατάστασης που βοηθούν στην αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων νερού κατά τις περιόδους υψηλών βροχοπτώσεων και την αργή απελευθέρωσή τους, μειώνοντας έτσι τις πλημμύρες και βελτιώνοντας τη σταθερότητα της ροής των υδάτων. [36]. [37]

Σύμφωνα με την International Commission for the Protection of the Rhine, ο ποταμός Ρήνος έχει χάσει περίπου το 85% των αρχικών πλημμυρικών πεδίων του, γεγονός που έχει αυξήσει τον κίνδυνο πλημμυρών. Οι υγρότοποι που αποκαθίστανται λειτουργούν ως φυσικά "σφουγγάρια", αποθηκεύοντας το νερό στις περιόδους υψηλών βροχοπτώσεων και απελευθερώνοντάς το σταδιακά, συμβάλλοντας έτσι στη μείωση των πλημμυρικών αιχμών και στην εξασφάλιση της ροής του νερού κατά τις περιόδους ξηρασίας. [37]

Τα μέτρα αποκατάστασης περιλαμβάνουν την επαναφορά των φυσικών συνθηκών αποστράγγισης στις κοιλάδες των ρευμάτων και την αναφύτευση φυσικής βλάστησης στους πλημμυρικούς υγρότοπους, η οποία βοηθά στη μείωση των εισροών θρεπτικών ουσιών στα επιφανειακά ύδατα. Αυτές οι ενέργειες έχουν επίσης οικολογικά οφέλη, όπως η αποκατάσταση οικοτόπων και η αύξηση της βιοποικιλότητας. [38]

Οι οικονομικές αναλύσεις δείχνουν ότι η αποκατάσταση των υγροτόπων προσφέρει σημαντικά οικονομικά και κοινωνικά οφέλη, όπως η μείωση του κόστους συντήρησης των υποδομών και η παροχή ευκαιριών για την ανάπτυξη του τουρισμού. Το έργο υποστηρίζεται από διάφορους οργανισμούς, όπως η European Commission και η Wetlands International, και συνεργάζεται με το WWF-Netherlands. [39]



## **Συμπεράσματα**

Η αναδάσωση και η δημιουργία υγροτόπων προσφέρουν πολλαπλά οφέλη για τη διαχείριση των λεκανών απορροής. Αφενός, αυξάνουν την ικανότητα συγκράτησης νερού στο έδαφος, με αποτέλεσμα την επαναφόρτιση των υπόγειων υδάτων και τη διατήρηση των υδάτινων πόρων. Αφετέρου, μειώνουν την επιφανειακή απορροή, γεγονός που συμβάλλει στη μείωση των πλημμυρών και της διάβρωσης του εδάφους. Επιπλέον, η αποκατάσταση δασών και υγροτόπων ενισχύει τη βιοποικιλότητα και δημιουργεί βιώσιμα οικοσυστήματα που υποστηρίζουν την τοπική πανίδα και χλωρίδα.

Η επιτυχία αυτών των προσπαθειών εξαρτάται από τη συνεργασία των τοπικών κοινοτήτων, των κυβερνητικών φορέων και των αναπτυξιακών οργανισμών. Η συμμετοχή και η εκπαίδευση των τοπικών πληθυσμών στις πρακτικές διαχείρισης είναι κρίσιμη για την αποδοχή και τη βιωσιμότητα των έργων. Επιπλέον, η ανάπτυξη ισχυρών πολιτικών και θεσμικών πλαισίων που υποστηρίζουν τις πρακτικές αναδάσωσης και δημιουργίας υγροτόπων μπορεί να ενισχύσει την εφαρμογή αυτών των στρατηγικών και να διασφαλίσει τη μακροπρόθεσμη επιτυχία τους.

### 3.2.2 Συλλογή Όμβριων Υδάτων - Κατάσβεση πυρκαγιών

Η συλλογή όμβριων υδάτων περιλαμβάνει τη συλλογή και αποθήκευση νερού από στέγες ή άλλες επιφάνειες για διάφορες χρήσεις, συμπεριλαμβανομένης της κατάσβεσης πυρκαγιών. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα πολύτιμη σε περιοχές επιρρεπείς σε πυρκαγιές, όπου η άμεση πρόσβαση σε νερό μπορεί να είναι κρίσιμη. Παρά το δυναμικό της, λίγες μελέτες έχουν εξετάσει ρητά την ενσωμάτωση συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων για την κατάσβεση πυρκαγιών.

Μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας αποκάλυψε άρθρα που ανέφεραν τα όμβρια ύδατα ως εναλλακτική λύση για την κατάσβεση πυρκαγιών. Αυτές οι μελέτες χωρίστηκαν σε εκείνες που επικεντρώνονταν σε δασικές πυρκαγιές και εκείνες που ανέλυναν τη χρήση όμβριων υδάτων εντός κτιρίων ή πυροσβεστικών σταθμών. Για παράδειγμα, στα Όρη Σάντα Μόνικα, έχουν εφαρμοστεί συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων για την υποστήριξη των προσπαθειών κατάσβεσης πυρκαγιών σε απομακρυσμένες περιοχές (National Park Service). Παρομοίως, οι αγροτικές κοινότητες στην Αυστραλία έχουν υιοθετήσει τη συλλογή όμβριων υδάτων για να συμπληρώσουν τα αποθέματα νερού κατά τη διάρκεια δασικών πυρκαγιών. [40],[41],[42]

#### Περιβαλλοντικά και Οικονομικά Οφέλη

Τα περιβαλλοντικά οφέλη της συλλογής όμβριων υδάτων είναι σημαντικά και ποικίλα. Η μείωση της εξάρτησης από τα δημοτικά αποθέματα νερού αποτελεί σημαντικό όφελος, ενώ διατηρούνται οι πόσιμες αποθήκες νερού ελαχιστοποιείται η περιβαλλοντική επιβάρυνση που συνδέεται με την εξαγωγή και διανομή νερού. Επιπλέον, η συλλογή όμβριων υδάτων μπορεί να αποτελέσει μια οικονομικά αποδοτική λύση, μειώνοντας το οικονομικό βάρος στους πυροσβεστικούς σταθμούς και τις τοπικές κυβερνήσεις. Μια μελέτη στη Βραζιλία επισήμανε ότι η συλλογή όμβριων υδάτων θα μπορούσε να μειώσει το κόστος της κατάσβεσης πυρκαγιών και να προσφέρει οικονομικές εξοικονομήσεις στους πυροσβεστικούς σταθμούς.

Μια αξιοσημείωτη περίπτωση είναι η πόλη Κολοράντο και η Εταιρεία Ηλεκτρισμού Pedernales στο Τέξας, όπου κατασκευάστηκε δεξαμενή συλλογής όμβριων υδάτων για την κατάσβεση πυρκαγιών μετά από συνεχείς ελλείψεις νερού κατά τη διάρκεια επειγόντων περιστατικών πυρκαγιών. Ομοίως, η Helicopter Express έχει χρησιμοποιήσει όμβρια ύδατα αποθηκευμένα σε στρατηγικές τοποθεσίες για να μειώσει τους χρόνους πτήσης των ελικοπτέρων για τη συλλογή νερού κατά τη διάρκεια πυρκαγιών. [43]

Η οικονομική βιωσιμότητα των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το μέγεθος της επιφάνειας συλλογής, η ζήτηση για νερό, ο αριθμός των κατοίκων και το μέγεθος της δεξαμενής αποθήκευσης. Μελέτες έχουν δείξει ότι η συλλογή όμβριων υδάτων μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμη σε διάφορες περιοχές, με την οικονομική βιωσιμότητα να κυμαίνεται από 30% έως 70% ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και τις τιμές του νερού.

Προγράμματα οικονομικής υποστήριξης και επιδοτήσεων μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την οικονομική βιωσιμότητα αυτών των συστημάτων. Η σωστή ρύθμιση των τιμών του νερού και η παροχή χρηματοδοτικών κινήτρων μπορούν να ενθαρρύνουν την εγκατάσταση και τη χρήση συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων, καθιστώντας τα μια ελκυστική επιλογή για τους καταναλωτές.

#### Περιβαλλοντικά Οφέλη και Προστασία των Υδάτινων Πόρων

Τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων βοηθούν επίσης στη μείωση της μόλυνσης των υδάτινων πηγών. Με τη μείωση της επιφανειακής απορροής, μειώνεται η μεταφορά ρυπαντών στους υδάτινους όγκους, όπως ποτάμια, λίμνες και θάλασσες. Επιπλέον, η χρήση του συλλεγόμενου βρόχινου νερού για άρδευση και άλλες εφαρμογές μειώνει την ανάγκη για χρήση επεξεργασμένου νερού, προστατεύοντας έτσι τους φυσικούς υδάτινους πόρους από υπερεκμετάλλευση και μόλυνση.

Η συλλογή όμβριων υδάτων προσφέρει σημαντικά κοινωνικά οφέλη, ιδιαίτερα σε περιοχές με περιορισμένη πρόσβαση σε καθαρό νερό. Σε πολλά μέρη του κόσμου, οι κοινότητες βασίζονται στη συλλογή βρόχινου νερού ως κύρια πηγή νερού. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα ζωής, καθώς οι κάτοικοι δεν χρειάζεται να

διανύουν μεγάλες αποστάσεις για να συλλέξουν νερό, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο μόλυνσης και ασθενειών που συνδέονται με την έλλειψη καθαρού νερού. Επιπλέον, η συλλογή όμβριων υδάτων μπορεί να ενισχύσει την ανθεκτικότητα των κοινοτήτων σε περιόδους ξηρασίας ή άλλων καταστροφών, παρέχοντας μια σταθερή πηγή νερού όταν οι παραδοσιακές πηγές είναι ανεπαρκείς

### **Εφαρμογές και Τεχνολογίες Συλλογής Όμβριων Υδάτων**

Η εφαρμογή των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων ποικίλλει ανάλογα με την περιοχή και τις τοπικές ανάγκες. Στις αστικές περιοχές, τα συστήματα συλλογής συχνά ενσωματώνονται σε κτίρια και υποδομές, χρησιμοποιώντας τις οροφές και τις επιφάνειες συλλογής για να συλλαμβάνουν το βρόχινο νερό και να το αποθηκεύουν σε δεξαμενές. Στις αγροτικές περιοχές, η συλλογή όμβριων υδάτων χρησιμοποιείται για την άρδευση καλλιεργειών και την παροχή νερού σε ζώα, μειώνοντας την εξάρτηση από τα κεντρικά συστήματα ύδρευσης. [44]

Η χρήση υπολογιστικών μοντέλων και προηγμένων τεχνολογιών, όπως τα συστήματα ελέγχου σε πραγματικό χρόνο και οι αισθητήρες, επιτρέπει την βελτιστοποίηση της συλλογής και της διαχείρισης του βρόχινου νερού. Αυτές οι τεχνολογίες συμβάλλουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας των συστημάτων και στη μείωση των απωλειών νερού, καθιστώντας τα συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων μια βιώσιμη και αποδοτική λύση για την αντιμετώπιση της έλλειψης νερού.

### **Μελέτες Εφαρμογών**

#### **Βραζιλία**

Η μελέτη της Raimondi et al. (2024) παρουσιάζει τη σημασία της συλλογής όμβριων υδάτων σε διάφορες χώρες, συμπεριλαμβανομένων της Βραζιλίας, της Ιταλίας, της Ισπανίας και της Γερμανίας. Οι μελέτες αυτές επισημαίνουν την τεχνική βιωσιμότητα και την οικονομική αποδοτικότητα των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων για διάφορες χρήσεις. Για παράδειγμα, στη Βραζιλία, η χρήση συλλογής όμβριων υδάτων σε κτίρια οικιστικής ζώνης έχει αποδειχθεί οικονομικά βιώσιμη, με τις οικογένειες να εξοικονομούν σημαντικά ποσά στους λογαριασμούς νερού και την περίοδο αποπληρωμής να κυμαίνεται από 4.8 έως 5.6 έτη ανάλογα με το μέγεθος του συστήματος και τη ζήτηση για νερό. [45], [46]

Στην Ισπανία, η χρήση συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων σε απομονωμένα νοικοκυριά σε νησιά, όπως η Ίμπιζα, έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα σημαντική για την αντιμετώπιση των προβλημάτων λειψυδρίας που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή και την τουριστική ανάπτυξη. Η εγκατάσταση δεξαμενών αποθήκευσης βρόχινου νερού έχει επιτρέψει στις τοπικές κοινότητες να διατηρούν επαρκείς ποσότητες νερού ακόμη και κατά τη διάρκεια περιόδων ξηρασίας. [47]

#### **Κεντρική Χιλή**

Μια ολοκληρωμένη μελέτη που πραγματοποιήθηκε το 2015 στην κεντρική Χιλή (Garcia-Chevesich et al) ερευνήσε τη χρήση συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων για την κατάσβεση πυρκαγιών σε δασικές φυτείες. Οι ερευνητές εγκατέστησαν δώδεκα (12) συστήματα συλλογής όμβριων υδάτων κοντά σε δασικές φυτείες, χρησιμοποιώντας γεωμεμβράνη και τσιμέντο για να δημιουργήσουν αδιαπέραστες επιφάνειες για τη συλλογή και αποθήκευση νερού σε διάφορους τύπους δεξαμενών (πολυαιθυλενίου, πολυβινυλοχλωριδίου, υαλοβάμβακα και σκυροδέματος). Αυτά τα συστήματα είχαν ως στόχο την παροχή νερού για οικιακή χρήση, άρδευση και κατάσβεση πυρκαγιών, με την κατανάλωση νερού ανά οικογένεια να κυμαίνεται από 30,000 έως 70,000 λίτρα κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου.

Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι αυτά τα συστήματα μπορούν να μειώσουν σημαντικά το κόστος κατάσβεσης πυρκαγιών και να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της κατάσβεσης πυρκαγιών με ελικόπτερα, εξασφαλίζοντας τη διαθεσιμότητα νερού επί τόπου. Αυτό μείωσε την ανάγκη για τα ελικόπτερα να επιστρέφουν σε μακρινές πηγές νερού, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα των επιχειρήσεων κατάσβεσης πυρκαγιών. Επιπλέον, τα συλλεγόμενα όμβρια ύδατα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τους πυροσβέστες με μακριές σωλήνες συνδεδεμένες με δεξαμενές που βρίσκονται σε υψηλότερο υψόμετρο από την πυρκαγιά (Garcia-Chevesich et al., 2015). [48]

## Ντάκα, Μπανγκλαντές

Η Ντάκα αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα στην παροχή νερού λόγω της ραγδαίας αστικής ανάπτυξης και της έντονης μόλυνσης των κύριων υδάτινων πόρων της, όπως οι ποταμοί Buriganga και Shitalakkhya. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στη Ντάκα υπερβαίνει τα 2100 mm, παρέχοντας έτσι σημαντικές ποσότητες βρόχινου νερού που μπορούν να συλλεχθούν και να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς, όπως για την αντιμετώπιση των συχνών πυρκαγιών που πλήττουν την περιοχή. Με την εφαρμογή συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων σε οικιακά και εμπορικά κτίρια, η πόλη μπορεί να καλύψει έως και το 15% των ετήσιων αναγκών της σε νερό, μειώνοντας την εξάρτηση από τα υπόγεια ύδατα των οποίων η στάθμη μειώνεται συνεχώς λόγω υπεράντλησης.

Τα συστήματα αυτά είναι εύκολα στην κατασκευή και οικονομικά αποδοτικά, με τις δεξαμενές συλλογής να είναι αποτελεσματικές στην αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων βρόχινου νερού. Παράλληλα, η συλλογή όμβριων υδάτων βοηθά στη βελτίωση της ποιότητας του νερού, καθώς το βρόχινο νερό είναι απαλλαγμένο από αρσενικό και άλλους ρύπους που βρίσκονται στα υπόγεια ύδατα της περιοχής. Ωστόσο, η εφαρμογή αυτών των συστημάτων αντιμετωπίζει προκλήσεις όπως η έλλειψη ενημέρωσης και εκπαίδευσης των κατοίκων σχετικά με τα οφέλη της συλλογής όμβριων υδάτων και η ανάγκη για υποστήριξη από την τοπική κυβέρνηση και τους φορείς διαχείρισης νερού. [49]

## Ελλάδα

### Συλλογή Βρόχινου Νερού στα Ελληνικά νησιά

Η συλλογή βρόχινου νερού στην Ελλάδα χρησιμοποιείται κυρίως για μη πόσιμες χρήσεις, όπως το καζανάκι τουαλέτας, το πλύσιμο ρούχων, άλλες οικιακές χρήσεις και την άρδευση κήπων. Ωστόσο, σε αρκετές χώρες, όπως η Αυστραλία και η Ισπανία, η κατάλληλα επεξεργασμένη βρόχινη ύδρευση χρησιμοποιείται και για πόσιμες ανάγκες.

Στα μικρά και ξηρά νησιά του Αιγαίου, όπως η Κίμωλος, η Ηρακλεία, η Σχοινούσσα, τα Κουφονήσια, η Δονούσα, οι Λειψοί, η Χάλκη και η Μεγίστη, η συλλογή βρόχινου νερού αποτελεί συμπληρωματική πηγή νερού. Ειδικότερα, οι δεξαμενές συλλογής βρόχινου νερού χρησιμοποιούνται για τη μείωση της ποσότητας νερού που πρέπει να μεταφερθεί στα νησιά, μειώνοντας έτσι το αντίστοιχο κόστος. Στις περιοχές αυτές, η συλλογή βρόχινου νερού δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες των επισκεπτών και των τουριστών κατά τους θερινούς μήνες λόγω της πολύ χαμηλής βροχόπτωσης, αλλά μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ζήτησης νερού για τον μόνιμο πληθυσμό. Στο Ιόνιο πέλαγος ξεχωρίζει η περίπτωση της Κεφαλλονιάς, όπου η συλλογή του βρόχινου νερού γίνεται ακόμα και για ακάλυψη αναγκών πόσιμου νερού, μετά την κατάλληλη επεξεργασία του. [50],[51]

### Τεχνικά Χαρακτηριστικά και Σχεδιασμός Συστημάτων Συλλογής Βρόχινου Νερού

Ο σχεδιασμός και η λειτουργία των συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως το μέγεθος της δεξαμενής, η μέθοδος συλλογής νερού (π.χ. επιφάνεια σκεπής), η ζήτηση νερού και η απόδοση συλλογής απορροών. Η αποδοτικότητα του συστήματος επηρεάζεται άμεσα από το ύψος της βροχόπτωσης και άλλα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά.

Εκτενής μελέτη έγινε για τη νήσο Αγγίστρι. Για την εκτίμηση του μεγέθους των δεξαμενών, χρησιμοποιούνται στατιστικά δεδομένα σχετικά με τα χαρακτηριστικά των νοικοκυριών, όπως ο αριθμός των νοικοκυριών ανά νησί, η επιφάνεια ανά κάτοικο και οι κάτοικοι ανά νοικοκυριό. Η μέση επιφάνεια ανά κάτοικο (σε m<sup>2</sup>) υπολογίστηκε χωριστά για κάθε νησί, με τιμές που κυμαίνονται από 31,54 έως 34,23 m<sup>2</sup>. [52]

## **Βιωσιμότητα και Οικονομική Αξιολόγηση**

Η οικονομική βιωσιμότητα των συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού εξαρτάται από το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε μακρές περιόδους απόσβεσης. Παρόλα αυτά, η συλλογή βρόχινου νερού μπορεί να αποτελέσει μια οικονομική και αποτελεσματική λύση για την κάλυψη των αναγκών νερού, ιδίως όταν συνδυάζεται με άλλες τεχνολογίες, όπως η ανακύκλωση γκρίζου νερού .

Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι η συλλογή βρόχινου νερού μπορεί να εξοικονομήσει από 12% έως 100% της συνολικής ζήτησης νερού, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος . Στην περίπτωση των μικρών νησιών του Αιγαίου, τα οικονομικά αποδοτικότερα σενάρια περιλαμβάνουν την αολικά υποβοηθούμενη αφαλάτωση σε συνδυασμό με τη συλλογή βρόχινου νερού και την άντληση θαλασσινού νερού για αποθήκευση ενέργειας.

## **Συμπεράσματα και Μελλοντικές Προοπτικές**

Η συλλογή όμβριων υδάτων αποτελεί μια κρίσιμη στρατηγική για την ενίσχυση της διαθεσιμότητας νερού και την προστασία των υδάτινων πόρων. Με την ενσωμάτωση αυτών των συστημάτων σε αστικές και αγροτικές περιοχές, οι κοινότητες μπορούν να μειώσουν την εξάρτησή τους από τα κεντρικά συστήματα ύδρευσης, να βελτιώσουν την ανθεκτικότητά τους στις ξηρασίες και τις έκτακτες καταστάσεις, και να προστατεύσουν το περιβάλλον. Η υποστήριξη από την πολιτεία και η εφαρμογή προγραμμάτων οικονομικής ενίσχυσης είναι κρίσιμες για την ευρύτερη υιοθέτηση και την επιτυχία των συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων. Με τις κατάλληλες πολιτικές και τεχνολογικές καινοτομίες, η συλλογή όμβριων υδάτων μπορεί να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στη βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων και στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή.

Η συλλογή βρόχινου νερού αποτελεί μια βιώσιμη πρακτική διαχείρισης υδάτινων πόρων που μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ζήτησης νερού και στη διασφάλιση της παροχής νερού σε μικρά και ξηρά νησιά. Ωστόσο, για την αποτελεσματική εφαρμογή της, είναι απαραίτητος ο σωστός σχεδιασμός των συστημάτων και η συνδυαστική χρήση με άλλες τεχνολογίες, όπως η αφαλάτωση και η ανακύκλωση γκρίζου νερού. Επιπλέον, η ενσωμάτωση της αλλαγής του κλίματος στον σχεδιασμό των έργων αυτών είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας και αποτελεσματικότητάς τους .

### 3.2.3 Συλλογή και αποθήκευση Γκρίζου Νερού Υποδομές και Χρήση του για Πυρόσβεση

Η έλλειψη νερού αποτελεί σημαντική πρόκληση παγκοσμίως, καθιστώντας απαραίτητη την αναζήτηση καινοτόμων λύσεων για τη διατήρηση και επαναχρησιμοποίηση των υδάτινων πόρων. Μία τέτοια λύση είναι η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού, το οποίο περιλαμβάνει την ανακύκλωση των αποβλήτων νερού από οικιακές δραστηριότητες όπως το πλύσιμο και το μπάνιο. Το γκρίζο νερό ορίζεται ως τα οικιακά απόβλητα νερά, εξαιρουμένων των λυμάτων από την τουαλέτα. Προέρχεται κυρίως από μπάνια, ντους, νιπτήρες και πλυντήρια ρούχων. Σε αντίθεση με το μαύρο νερό, το γκρίζο νερό έχει σχετικά χαμηλά επίπεδα ρύπων, καθιστώντας το ευκολότερο για επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση. Τα χαρακτηριστικά του γκρίζου νερού μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με τις οικιακές δραστηριότητες και τη χρήση καθαριστικών προϊόντων, αλλά συνήθως έχει χαμηλότερα επίπεδα παθογόνων και οργανικών φορτίων, γεγονός που απλοποιεί τη διαδικασία επεξεργασίας του.[53]

#### Απαιτήσεις Αποθήκευσης

Η αποτελεσματική αποθήκευση του γκρίζου νερού απαιτεί ανθεκτικές υποδομές για την εξασφάλιση της ασφάλειας και της χρηστικότητας του. Το κύριο στοιχείο των συστημάτων αποθήκευσης γκρίζου νερού είναι η δεξαμενή αποθήκευσης. Αυτές οι δεξαμενές, κατασκευασμένες από ανθεκτικά, μη διαβρωτικά υλικά όπως το πλαστικό, το υαλοβάμβακα ή το σκυρόδεμα, πρέπει να είναι σφραγισμένες για να αποτρέπουν τη μόλυνση και την ανάπτυξη παθογόνων. Το μέγεθος της δεξαμενής καθορίζεται από τον όγκο του παραγόμενου γκρίζου νερού και τις προγραμματισμένες εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης. Για οικιακή χρήση, οι δεξαμενές αποθήκευσης συνήθως κυμαίνονται από 500 έως 3000 λίτρα.

Για να διατηρηθεί η ποιότητα του αποθηκευμένου γκρίζου νερού, η αρχική διήθηση είναι απαραίτητη. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει την απομάκρυνση μεγάλων σωματιδίων και υπολειμμάτων μέσω χονδροειδών φίλτρων ή δεξαμενών καθίζησης. Επιπλέον, προεπεξεργασία όπως οι παγίδες λίπους μπορούν να αφαιρέσουν έλαια και λίπη που μπορεί να προκαλέσουν μπλοκαρίσματα και να περιπλέξουν περαιτέρω διαδικασίες επεξεργασίας. Η τακτική συντήρηση αυτών των συστημάτων είναι κρίσιμη, περιλαμβάνοντας τον καθαρισμό των φίλτρων, τον έλεγχο για διαρροές και την εξασφάλιση ότι οι δεξαμενές αποθήκευσης δεν αποτελούν πρόσφορο περιβάλλον για κουνούπια ή άλλα παράσιτα. Αυτή η πρακτική διαχείρισης εξασφαλίζει την αποτελεσματικότητα και τη μακροζωία των συστημάτων αποθήκευσης γκρίζου νερού. [54]

#### Υποδομές για Συστήματα Γκρίζου Νερού

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα γκρίζου νερού αποτελείται από αρκετά στοιχεία σχεδιασμένα για τη συλλογή, την επεξεργασία και τη διανομή του γκρίζου νερού με ασφάλεια και αποτελεσματικότητα. Το σύστημα συλλογής συλλαμβάνει το γκρίζο νερό από διάφορες οικιακές πηγές. Οι βαλβίδες εκτροπής παίζουν κρίσιμο ρόλο κατευθύνοντας το γκρίζο νερό είτε στο σύστημα αποχέτευσης είτε στο σύστημα επεξεργασίας, ανάλογα με την ποιότητα του νερού και τις ανάγκες του χρήστη.

Οι μονάδες επεξεργασίας, οι οποίες ποικίλλουν σε πολυπλοκότητα, κυμαίνονται από απλά φίλτρα άμμου έως προηγμένα βιολογικά συστήματα επεξεργασίας. Η επιλογή της τεχνολογίας επεξεργασίας εξαρτάται από την προγραμματισμένη εφαρμογή επαναχρησιμοποίησης και τα απαιτούμενα πρότυπα ποιότητας νερού. Μετά την επεξεργασία, το γκρίζο νερό διανέμεται σε διάφορα σημεία χρήσης μέσω ενός ειδικού συστήματος υδραυλικών εγκαταστάσεων, εξασφαλίζοντας ότι δεν αναμιγνύεται με τις προμήθειες πόσιμου νερού, διατηρώντας έτσι την ασφάλεια και την υγιεινή.

Τα προηγμένα συστήματα γκρίζου νερού είναι συχνά εξοπλισμένα με χαρακτηριστικά παρακολούθησης και ελέγχου, συμπεριλαμβανομένων αισθητήρων και αυτόματων ελέγχων που παρακολουθούν την ποιότητα του νερού, τα επίπεδα των δεξαμενών και τη συνολική απόδοση του συστήματος. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την αποτελεσματική διαχείριση του συστήματος και διασφαλίζουν τη συμμόρφωση με τα πρότυπα ασφαλείας και κανονισμούς. [54],[55]

## Χρήση Γκρίζου Νερού για Πυρόσβεση

Η χρήση του γκρίζου νερού για την πυρόσβεση προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, ιδιαίτερα όσον αφορά την εξοικονόμηση του νερού. Χρησιμοποιώντας επεξεργασμένο γκρίζο νερό, οι κοινότητες μπορούν να μειώσουν σημαντικά τη ζήτηση στους πόρους γλυκού νερού, το οποίο είναι κρίσιμο σε ξηρές και ημι-ξηρές περιοχές όπου η έλλειψη νερού αποτελεί επίμονη πρόκληση. Αυτή η εναλλακτική πηγή νερού ενισχύει την ετοιμότητα των κοινοτήτων για την αντιμετώπιση πυρκαγιών, μειώνοντας έτσι την πίεση στα παραδοσιακά συστήματα υδροδότησης κατά τη διάρκεια εκτάκτων αναγκών.

Εκτός από τη διατήρηση του γλυκού νερού, τα συστήματα γκρίζου νερού μπορούν να είναι οικονομικά αποδοτικά. Αν και η αρχική επένδυση μπορεί να είναι σημαντική, οι μακροπρόθεσμες εξοικονομήσεις κόστους νερού και η πρόσθετη ασφάλεια της ύπαρξης μιας εναλλακτικής πηγής νερού για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης μπορούν να δικαιολογήσουν την επένδυση. Επιπλέον, η χρήση γκρίζου νερού για πυρόσβεση συνάδει με τις πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης νερού, προωθώντας την περιβαλλοντική διατήρηση και την αποδοτική χρήση των πόρων.

Η αποτελεσματική υλοποίηση των συστημάτων γκρίζου νερού για πυρόσβεση απαιτεί προσεκτική εξέταση της αποθήκευσης και της διαθεσιμότητας. Επαρκής αποθηκευτική ικανότητα είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί η επαρκής προμήθεια γκρίζου νερού για πυρόσβεση. Τα συστήματα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποθηκεύουν μεγάλους όγκους νερού και να επιτρέπουν γρήγορη πρόσβαση κατά τη διάρκεια εκτάκτων αναγκών. Αυτό περιλαμβάνει την ενσωμάτωση δεξαμενών αποθήκευσης με την υπάρχουσα υποδομή πυρόσβεσης, εξασφαλίζοντας τη συμβατότητα με τον εξοπλισμό πυρόσβεσης και την εκπαίδευση του προσωπικού στη χρήση του γκρίζου νερού.

Η ποιότητα του γκρίζου νερού που χρησιμοποιείται για πυρόσβεση πρέπει να πληροί συγκεκριμένα πρότυπα για να αποτρέψει προβλήματα όπως το φράξιμο των σωλήνων και των αντλιών. Η βασική επεξεργασία για την απομάκρυνση στερεών και ακαθαρσιών είναι απαραίτητη για να διατηρηθεί η λειτουργικότητα του εξοπλισμού πυρόσβεσης. Οι προηγμένες τεχνολογίες επεξεργασίας, όπως τα βιολογικά φίλτρα και τα συστήματα μεμβρανών, μπορούν να εξασφαλίσουν ότι το γκρίζο νερό είναι επαρκώς επεξεργασμένο για ασφαλή χρήση στις εφαρμογές πυρόσβεσης. [56],[57]

## Παραδείγματα Επιτυχούς Εφαρμογής

### Χιλή

Στη Χιλή, η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού αποτελεί σημαντική στρατηγική για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας, ιδιαίτερα στην περιοχή Coquimbo. Έρευνα σε σχολεία και νοικοκυριά της περιοχής έδειξε ότι το γκρίζο νερό, που προέρχεται κυρίως από ντους και νιπτήρες, αντιστοιχεί στο 84% της συνολικής κατανάλωσης νερού στα νοικοκυριά και περίπου στο 50% στα σχολεία. Με μέση ημερήσια παραγωγή 12 λίτρων ανά άτομο στα σχολεία και 204 λίτρων στα νοικοκυριά, το γκρίζο νερό έχει μεγάλες δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης. Οι νέες νομοθετικές ρυθμίσεις του 2018 προωθούν την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού για χρήσεις όπως η άρδευση κήπων και η ροή τουαλετών. Αυτό θα μπορούσε να μειώσει σημαντικά την ανάγκη για πόσιμο νερό, βελτιώνοντας τη διαχείριση των υδάτινων πόρων και αντιμετωπίζοντας την αυξανόμενη ζήτηση νερού στην περιοχή, που πλήττεται έντονα από την ξηρασία. [58]

### Ταϊβάν - (Κίνα)

Η χρήση του γκρίζου νερού στην Ταϊβάν παρουσιάζεται ως μια αποτελεσματική λύση για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας, δεδομένου του υψηλού πληθυσμιακού πυκνότητας και της άνισης κατανομής βροχοπτώσεων. Η ετήσια κατανομή βροχής ανά κάτοικο είναι μόλις το ένα πέμπτο του παγκόσμιου μέσου όρου, καθιστώντας την Ταϊβάν μια χώρα με σοβαρή λειψυδρία. Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκε το Σύστημα Εσωτερικής Προσαρμογής Γκρίζου Νερού (ICGS) για οικιστικές μονάδες. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει διαμόρφωση αγωγών, σχεδιασμό αποθήκευσης νερού και ένα σύστημα φιλτραρίσματος, προσαρμόζοντας τις ανάγκες μιας οικογένειας τεσσάρων ατόμων. Η μελέτη διεξήγαγε ανάλυση κόστους-οφέλους για κύκλο ζωής 20 ετών και κατέδειξε ότι το σύστημα μπορεί να έχει περίοδο απόσβεσης 4 ετών, προσφέροντας σημαντικά κίνητρα για επενδύσεις. Το ICGS μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην εξοικονόμηση νερού και στην καλύτερη αξιοποίηση

των υδάτινων πόρων, ειδικά σε περιοχές με υψηλό κόστος νερού ή έντονα προβλήματα λειψυδρίας. [59]

### Κύριες Τεχνολογίες και Εφαρμογές

Το σύστημα περιλαμβάνει αποθήκευση νερού, διήθηση και μηχανισμό άντλησης. Η διήθηση περιλαμβάνει τρεις διαδικασίες:

- **Πρωτοβάθμια διήθηση και Καθίζηση:** Τοποθέτηση δεξαμενής συλλογής κάτω από το ντους για καθίζηση στερεών υπολειμμάτων
- **Διήθηση:** Χρήση φίλτρου πολυπροπυλενίου για αφαίρεση στερεών, κοκκώδους ενεργού άνθρακα για αφαίρεση οσμών και χρωμάτων, και ενεργού άνθρακα για αφαίρεση χημικών ουσιών.
- **Αποστείρωση:** Χρήση συσκευής υπεριώδους ακτινοβολίας για αποστείρωση του νερού.

### Ανάλυση Κόστους και Οφέλους

Η οικονομική ανάλυση της ζωής κύκλου 20 ετών εξετάζει το κόστος εγκατάστασης, συντήρησης και λειτουργίας, καθώς και τις εξοικονομήσεις από τη μείωση της κατανάλωσης νερού. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το σύστημα έχει περίοδο αποπληρωμής περίπου 4 έως 12 χρόνια ανάλογα με τα σενάρια αύξησης του κόστους νερού, καθιστώντας το οικονομικά ελκυστικό. Το σύστημα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιοχές με υψηλό κόστος νερού ή έντονη πίεση στους υδάτινους πόρους.

### Περιορισμοί και Προκλήσεις

Ορισμένοι περιορισμοί περιλαμβάνουν τις αυξημένες δαπάνες εγκατάστασης σε διασκορπισμένες περιοχές χρήσης νερού και τη δυσκολία εγκατάστασης σε μικρά διαμερίσματα. Επίσης, η επιτυχία του συστήματος μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την αρχιτεκτονική και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής εφαρμογής. [59]

### Σαν Φρανσίσκο, ΗΠΑ

Η χρήση του γκρίζου νερού στο Σαν Φρανσίσκο αποτελεί μια σημαντική προσέγγιση για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων και τη μείωση της κατανάλωσης πόσιμου νερού, ιδιαίτερα λόγω της συχνής λειψυδρίας στην περιοχή. Η μελέτη επικεντρώνεται σε συστήματα επαναχρησιμοποίησης γκρίζου νερού από πλυντήρια ρούχων (Laundry-to-Landscape, L2L) για την άρδευση εξωτερικών χώρων. Η ανάλυση των δεδομένων από 30 οικιακά συστήματα στην περιοχή της Santa Clara έδειξε ότι το γκρίζο νερό από τα περισσότερα συστήματα είχε αποδεκτές τιμές για τα κύρια ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού, όπως η αγωγιμότητα και τα διαλυμένα στερεά. Η πλειονότητα των συστημάτων συμμορφώνονταν με τον κώδικα υδραυλικών εγκαταστάσεων της Καλιφόρνιας, ενώ τα ορισμένα συστήματα παρουσίαζαν υψηλότερες τιμές από τις προβλεπόμενες επιβλαβών βακτηριδίων. Η έρευνα κατέδειξε ότι η επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού μπορεί να μειώσει σημαντικά την ανάγκη για πόσιμο νερό και να ενισχύσει τη βιωσιμότητα των υδάτινων πόρων, προωθώντας παράλληλα την υιοθέτηση τέτοιων συστημάτων σε μεγαλύτερη κλίμακα. [60]

### Αυστραλία

Η έρευνα για την επαναχρησιμοποίηση γκρίζου νερού στην Αυστραλία επικεντρώνεται σε μόνιμα εγκατεστημένα συστήματα επεξεργασίας ή άρδευσης γκρίζου νερού. Ενώ αυτά τα συστήματα μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα σε νέες οικιστικές αναπτύξεις, η εμπειρία στην Αυστραλία δείχνει ότι η υιοθέτησή τους από ήδη εγκατεστημένα νοικοκυριά στις αστικές περιοχές είναι χαμηλή. Η πλειονότητα των νοικοκυριών χρησιμοποιούν απλούς και προσωρινούς μεθόδους συλλογής και χρήσης γκρίζου νερού, αλλά η συμπεριφορά τους δεν έχει τεκμηριωθεί επαρκώς. Σε μια μελέτη που αφορούσε πάνω από 1.000 νοικοκυριά στη Μελβούρνη κατά τη διάρκεια πενταετούς περιόδου (2007-2011), συμπεριλαμβανομένων τριών ετών σοβαρής ξηρασίας με αυστηρούς περιορισμούς στη χρήση νερού, διαπιστώθηκε ότι το γκρίζο νερό συλλεγόταν κυρίως από το πλυντήριο και το μπάνιο και γενικά χρησιμοποιούνταν εντός 24 ωρών. Το πότισμα κήπων ήταν η πιο κοινή χρήση, ενώ η επεξεργασία του γκρίζου νερού για μείωση της μικροβιακής μόλυνσης ήταν πολύ σπάνια. Οι εκτιμήσεις των νοικοκυριών υποδηλώνουν ότι κατά μέσο όρο περίπου το 10% του νερού βρύσης που χρησιμοποιείται στο σπίτι συλλέγεται για επαναχρησιμοποίηση. Όταν οι συνθήκες ξηρασίας και οι περιορισμοί στη χρήση νερού χαλάρωσαν, πάνω από το 40% των νοικοκυριών σταμάτησαν τη χρήση γκρίζου νερού. Για να επιτευχθεί μια διαρκής μείωση στην κατανάλωση αστικού νερού, απαιτείται η ευρεία υιοθέτηση μόνιμων συστημάτων συλλογής, επεξεργασίας και αποθήκευσης γκρίζου νερού από τα νοικοκυριά. [61]



## Προκλήσεις και Συμπεράσματα

Υπάρχουν πολλές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την αποτελεσματική υλοποίηση των συστημάτων γκρίζου νερού για πυρόσβεση. Η αποδοχή από το κοινό είναι ένας κρίσιμος παράγοντας, καθώς οι κοινότητες πρέπει να είναι βέβαιες για την ασφάλεια και τα οφέλη της χρήσης επεξεργασμένου γκρίζου νερού. Εκπαιδευτικές και ενημερωτικές εκστρατείες μπορούν να βοηθήσουν στην απόκτηση της υποστήριξης του κοινού και στην αντιμετώπιση τυχόν ανησυχιών σχετικά με την υγεία και την υγιεινή.

Η οικονομική βιωσιμότητα είναι μια άλλη σημαντική σκέψη. Παρόλο που τα συστήματα γκρίζου νερού μπορούν να προσφέρουν μακροπρόθεσμες εξοικονομήσεις κόστους, τα αρχικά κόστη επένδυσης μπορεί να είναι υψηλά. Οι πλήρεις οικονομικές μελέτες βιωσιμότητας είναι απαραίτητες για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας αυτών των συστημάτων, ενώ οι κρατικές επιδοτήσεις ή τα κίνητρα μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην προώθηση της υιοθέτησής τους.

Ένα ισχυρό ρυθμιστικό πλαίσιο είναι απαραίτητο για να διασφαλιστεί η ασφαλής και αποτελεσματική χρήση του γκρίζου νερού. Οι κανονισμοί πρέπει να καλύπτουν θέματα όπως τα πρότυπα επεξεργασίας, η παρακολούθηση, οι απαιτήσεις συντήρησης και οι κατευθυντήριες γραμμές για την ενσωμάτωση με την υπάρχουσα υποδομή. Σαφείς και συνεπείς κανονισμοί μπορούν να παρέχουν την απαραίτητη καθοδήγηση για την υλοποίηση των συστημάτων γκρίζου νερού και την εξασφάλιση της συμμόρφωσης με τα πρότυπα ασφαλείας.

Η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού αντιπροσωπεύει μια πολλά υποσχόμενη λύση για την έλλειψη νερού, προσφέροντας σημαντικά οφέλη για τη διατήρηση του νερού και την πυρόσβεση. Η επιτυχής υλοποίηση των συστημάτων γκρίζου νερού απαιτεί ανθεκτικές υποδομές, προσεκτικό σχεδιασμό και εμπλοκή της κοινότητας. Αντιμετωπίζοντας τις προκλήσεις της αποδοχής από το κοινό, της οικονομικής βιωσιμότητας και της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς, το γκρίζο νερό μπορεί να αποτελέσει έναν πολύτιμο πόρο για την ενίσχυση της ασφάλειας του νερού και της ετοιμότητας έκτακτης ανάγκης. Με τη σωστή υποστήριξη και πολιτικές, η επαναχρησιμοποίηση του γκρίζου νερού μπορεί να συμβάλλει στη βιώσιμη διαχείριση του νερού και στην ανθεκτικότητα έναντι της έλλειψης νερού.

### 3.3 Τεχνολογίες και Καινοτομίες για την Ανθεκτικότητα της Υδροδότησης

Οι εξελίξεις στην τεχνολογία έχουν επίσης παίξει κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας των συστημάτων ύδρευσης στις πυρκαγιές. Οι καινοτόμες τεχνολογίες μπορούν να παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, να βελτιώνουν τη διαχείριση των πόρων και να διευκολύνουν τη γρήγορη απόκριση κατά τη διάρκεια εκτάκτων καταστάσεων. Σημαντικές τεχνολογικές καινοτομίες περιλαμβάνουν:

- **Έξυπνα Δίκτυα Νερού:** Αυτά τα δίκτυα χρησιμοποιούν αισθητήρες και τεχνολογίες μετρήσεων για να παρακολουθούν την ποιότητα, την πίεση και τους ρυθμούς ροής του νερού σε πραγματικό χρόνο. Με την ενσωμάτωση αυτών των δεδομένων με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), οι διαχειριστές νερού μπορούν να εντοπίζουν γρήγορα περιοχές με κίνδυνο διακοπής υπηρεσιών και να βελτιστοποιούν τη διανομή νερού κατά τη διάρκεια πυρκαγιών. [62]
- **Υλικά Υποδομών δικτύου νερού Ανθεκτικά στη Φωτιά :** Η έρευνα σε νέα υλικά που μπορούν να αντέξουν σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να οδηγήσει σε πιο ανθεκτικές υποδομές ύδρευσης. Η χρήση υλικών ανθεκτικών στη φωτιά για σωληνώσεις και δεξαμενές αποθήκευσης εξασφαλίζει ότι τα συστήματα ύδρευσης έχουν περισσότερες πιθανότητες να παραμείνουν λειτουργικά κατά τη διάρκεια πυρκαγιών. Παραδοσιακά υλικά όπως ο χάλυβας και το σκυρόδεμα μπορεί να υποστούν σοβαρές ζημιές όταν εκτεθούν σε υψηλές θερμοκρασίες, οδηγώντας σε κατάρρευση του συστήματος και σημαντικές απώλειες νερού. [63], [64]

#### 3.3.1 Έξυπνα Δίκτυα Νερού: Βελτιστοποίηση της Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων και Αντιμετώπιση Έκτακτων Αναγκών

Κάθε ημέρα, οι υπηρεσίες ύδρευσης παράγουν έναν τεράστιο όγκο ακατέργαστων δεδομένων. Ωστόσο, κατά μέσο όρο, το 60% αυτών των πληροφοριών δεν χρησιμοποιείται απλώς επειδή οι υπηρεσίες δεν διαθέτουν τους πόρους για να επεξεργαστούν αυτές τις πληροφορίες αρκετά γρήγορα. Ένα SWN ενσωματώνει τις διαδικασίες νερού στην υποδομή πληροφοριακής και επικοινωνιακής τεχνολογίας, μετατρέποντας έτσι τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σε χρήσιμες πληροφορίες. Αυτό επιτρέπει στις υπηρεσίες να διαχειρίζονται πιο αποτελεσματικά τα περιουσιακά τους στοιχεία και τις εγκαταστάσεις τους.

Τα έξυπνα δίκτυα νερού αποτελούν μια καινοτόμο προσέγγιση στη διαχείριση των υδάτινων πόρων, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες αιχμής για την παρακολούθηση και βελτιστοποίηση των συστημάτων ύδρευσης. Ενσωματώνουν αισθητήρες και τεχνολογίες μετρήσεων για να παρακολουθούν την ποιότητα, την πίεση και τους ρυθμούς ροής του νερού σε πραγματικό χρόνο. Η χρήση αυτών των δεδομένων σε συνδυασμό με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) επιτρέπει στους διαχειριστές να εντοπίζουν γρήγορα προβληματικές περιοχές και να βελτιστοποιούν τη διανομή νερού, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια έκτακτων καταστάσεων όπως οι πυρκαγιές. [62]

Οι απειλές της λειψυδρίας, η γήρανση των υποδομών, οι αυξανόμενες κανονιστικές απαιτήσεις και τα αυξανόμενα κόστη παραγωγής οδηγούν τις υπηρεσίες ύδρευσης να εξετάσουν λύσεις έξυπνων δικτύων νερού. Σύμφωνα με τα Ηνωμένα Έθνη, η παγκόσμια χρήση νερού έχει αυξηθεί με ρυθμό διπλάσιο από αυτόν της πληθυσμιακής αύξησης τον περασμένο αιώνα. Μέχρι το 2030, σχεδόν ο μισός παγκόσμιος πληθυσμός θα μπορούσε να αντιμετωπίσει έλλειψη νερού όταν η ζήτηση θα ξεπεράσει την προσφορά κατά 40%.

Η χρήση έξυπνων δικτύων για την καταπολέμηση πυρκαγιών είναι μια σύγχρονη προσέγγιση που περιλαμβάνει την ενσωμάτωση τεχνολογιών αιχμής όπως αισθητήρες, συστήματα αυτόματου ελέγχου και επικοινωνίας σε πραγματικό χρόνο (ACT και ICT). Αυτά τα συστήματα επιτρέπουν την παρακολούθηση, μετάδοση και έλεγχο των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας τα πιο αποδοτικά και βιώσιμα για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων σε περίπτωση πυρκαγιών. Για παράδειγμα, το σύστημα SCADA που χρησιμοποιείται από το Western Municipal Water District (WMWD) στην Καλιφόρνια έχει επιτύχει μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά 30%, μείωση των απωλειών νερού κατά 20% και μείωση των διακοπών κατά 20%. Παρόμοια, το σύστημα WaterWiSe στη Σιγκαπούρη χρησιμοποιεί ασύρματα δίκτυα αισθητήρων για να βελτιώσει την αποδοτικότητα του δικτύου ύδρευσης. Στο Σαν Φρανσίσκο, έχουν εγκατασταθεί αυτόματοι μετρητές νερού που μεταδίδουν δεδομένα κατανάλωσης σε ωριαία βάση μέσω ασύρματων δικτύων, επιτρέποντας την ταχύτερη

ανίχνευση διαρροών και γεγονότων ποιότητας νερού σε σύγκριση με τα παραδοσιακά συστήματα. [62]  
Γενικά, ένα SWN είναι διαστρωματωμένο, ξεκινώντας με το επίπεδο αισθητήρων και ελέγχου, μέσω συλλογής δεδομένων, διαχείρισης δεδομένων, και καταλήγοντας στο στρώμα συγχώνευσης και ανάλυσης δεδομένων. Το αρχικό επίπεδο, περιλαμβάνει τα φυσικά συστατικά του δικτύου όπως σωλήνες, αντλίες, βαλβίδες, δεξαμενές και άλλα εξαρτήματα διανομής. Το δεύτερο επίπεδο, "Αισθητήρες και Έλεγχος", αφορά μετρήσεις παραμέτρων διανομής νερού όπως ροή, πίεση, δονήσεις, χρήση ενέργειας και ποιότητα νερού. Το τρίτο επίπεδο "Συλλογή και Επικοινωνία", περιλαμβάνει τεχνολογίες αποθήκευσης και μετάδοσης της πληροφορίας.

### Τεχνολογίες Αισθητήρων και Μετρήσεων

Τα έξυπνα δίκτυα νερού είναι εξοπλισμένα με διάφορους τύπους αισθητήρων που παρέχουν κρίσιμα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Αυτοί οι αισθητήρες περιλαμβάνουν:

- **Αισθητήρες ποιότητας νερού:** Μετρούν παραμέτρους όπως το pH, η θολερότητα, η αγωγιμότητα και τα επίπεδα χημικών ουσιών, διασφαλίζοντας ότι το νερό πληροί τα πρότυπα ασφαλείας.
- **Αισθητήρες πίεσης:** Παρακολουθούν τις πιέσεις στο δίκτυο για να εντοπίζουν διαρροές ή ανωμαλίες που μπορεί να επηρεάσουν τη διανομή του νερού.
- **Αισθητήρες ροής:** Καταγράφουν τους ρυθμούς ροής του νερού σε διάφορα σημεία του δικτύου, βοηθώντας στον εντοπισμό περιοχών με υψηλή κατανάλωση ή απώλειες νερού

### Ανάλυση Περιπτώσεων Διαρροής και Διαχείρισης Πίεσης

Η απώλεια νερού από γηρασμένες υποδομές είναι ένας σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στο πρόβλημα της λειψυδρίας. Οι υπηρεσίες ύδρευσης αντιμετωπίζουν αυξημένα λειτουργικά και συντηρητικά κόστη που συνδέονται με την ανάγκη ανταπόκρισης σε διαρροές ή ρήγματα σωλήνων, αυξημένο ενεργειακό κόστος για τη μεταφορά νερού, και υψηλές δαπάνες για την αντικατάσταση υποδομών. Η διαχείριση πίεσης αποτελεί κεντρικό στοιχείο της λειτουργίας οποιουδήποτε δικτύου νερού. Η πίεση πρέπει να είναι συνεχώς αρκετά υψηλή για να ικανοποιεί τον πελάτη, αλλά υπερβολική πίεση αυξάνει τις διαρροές, τη συχνότητα ρήξεων, την κατανάλωση ενέργειας και τα λειτουργικά κόστη.

Η διασφάλιση της ασφάλειας και ποιότητας των πόσιμων προμηθειών είναι μια βασική ευθύνη των υπηρεσιών ύδρευσης. Η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού στο δίκτυο διανομής είναι κρίσιμη, καθώς τα ζητήματα ποιότητας μπορούν να προκύψουν από ξαφνικές αλλαγές στη ροή, διαρροές ή υπερχειλίσσεις αποχέτευσης. Η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού έχει παραδοσιακά γίνει με μεθόδους χειροκίνητης δειγματοληψίας, αλλά οι έξυπνοι αισθητήρες που παρακολουθούν συνεχώς τις παραμέτρους ποιότητας γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς. [65]

### Ενεργειακή Διαχείριση

Το κόστος ενέργειας είναι σημαντικό για τις υπηρεσίες ύδρευσης, συνήθως δεύτερο μόνο μετά το κόστος εργασίας. Η κατανάλωση ενέργειας από τον τομέα του νερού έχει αυξηθεί και αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται. Οι λύσεις βελτιστοποίησης διαχείρισης ενέργειας μπορούν να βοηθήσουν τις υπηρεσίες ύδρευσης να μετακινήσουν την άντληση εκτός των ωρών αιχμής της ζήτησης ενέργειας, συνήθως δηλαδή πρωινές και απογευματινές ώρες, εξοικονομώντας έτσι κόστος και αυξάνοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα, καθώς το κόστος της ενέργειας είναι υψηλότερο κατά της ώρες υψηλής ζήτησης. [66]

### Ενσωμάτωση με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

Η ενσωμάτωση των δεδομένων από τους αισθητήρες με GIS επιτρέπει μια οπτικοποιημένη και διαδραστική διαχείριση των υδάτινων πόρων. Τα GIS βοηθούν στη χαρτογράφηση των υποδομών ύδρευσης και στην παρακολούθηση των παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό επιτρέπει στους διαχειριστές να εντοπίζουν γρήγορα περιοχές με κίνδυνο διακοπής υπηρεσιών ή άλλες ανωμαλίες, και να λαμβάνουν προληπτικά μέτρα για την αποκατάσταση των προβλημάτων. [61]

## Βελτιστοποίηση της Διανομής Νερού κατά τη Διάρκεια Πυρκαγιών

Κατά τη διάρκεια πυρκαγιών, η διαθεσιμότητα νερού για την πυρόσβεση είναι κρίσιμη. Τα έξυπνα δίκτυα νερού επιτρέπουν στους διαχειριστές να κατευθύνουν τους υδάτινους πόρους με μεγαλύτερη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Με τη χρήση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, οι διαχειριστές μπορούν να διασφαλίσουν ότι υπάρχει επαρκής πίεση και ποσότητα νερού σε περιοχές που πλήττονται από τις φλόγες. Επιπλέον, μπορούν να εντοπίσουν και να απομονώσουν διαρροές ή σπασίματα στους αγωγούς που μπορεί να επηρεάσουν την αποτελεσματική διανομή του νερού.

Ενδεικτικό παράδειγμα αποτελεί η πόλη του Σαν Φρανσίσκο, η οποία έχει υιοθετήσει ένα έξυπνο δίκτυο νερού που χρησιμοποιεί αισθητήρες και GIS για την παρακολούθηση της ποιότητας και της πίεσης του νερού. Αυτό το σύστημα έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικό στη μείωση των διαρροών και στη βελτίωση της διανομής του νερού, ιδίως κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής ζήτησης και έκτακτων αναγκών. [67]

Στην άλλη πλευρά του Ειρηνικού ωκεανού, η εταιρεία ύδρευσης του Σίδνεϊ έχει ενσωματώσει αντίστοιχα τεχνολογίες έξυπνου νερού για την παρακολούθηση και τη διαχείριση του δικτύου ύδρευσης της πόλης. Η χρήση αισθητήρων ροής και πίεσης, σε συνδυασμό με GIS, επιτρέπει την άμεση αντίδραση σε διαρροές και άλλες ανωμαλίες, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του συστήματος και μειώνοντας τις απώλειες νερού. [68]

### 3.3.2 Καινοτομίες στα Υλικά

- Νανοτεχνολογία:** Έρευνες έχουν δείξει ότι η νανοτεχνολογία μπορεί να προσφέρει σημαντικές βελτιώσεις στην αντοχή των υλικών σε φωτιά. Υλικά με νανοσωματίδια μπορούν να ενισχυθούν ώστε να αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες και να αποτρέπουν την εξάπλωση της φωτιάς. [66], [67]
- Υδρογέλη (Hydrogel):** Η υδρογέλη, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, έχει αποδειχθεί πολλά υποσχόμενη ως πυροανθεκτικό υλικό. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επένδυση σε σωληνώσεις και δεξαμενές, προσφέροντας επιπλέον προστασία κατά τη διάρκεια πυρκαγιών. Η υδρογέλη περιέχει περίπου 90% νερό, το οποίο απορροφά μεγάλες ποσότητες ενέργειας καθώς θερμαίνεται και εξατμίζεται, διατηρώντας τη θερμοκρασία της κάτω από τους 100°C μέχρι να αφυδατωθεί πλήρως. Το ύφασμα που συνοδεύει την υδρογέλη έχει χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και διατηρεί τη θερμοκρασιακή διαφορά χαμηλά. Αυτά τα σύνθετα υλικά παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή στη θερμότητα και είναι κατάλληλα για σωτήριες εφαρμογές όπως κουβέρτες ή ρούχα πυροπροστασίας. [71], [72]
- Πυροανθεκτικά Επιχρίσματα:** Νέα πυροανθεκτικά επιχρίσματα αναπτύσσονται για την προστασία των μεταλλικών κατασκευών από την πλήρη καταστροφή κατά τη διάρκεια πυρκαγιών. Αυτά τα επιχρίσματα μπορούν να εφαρμοστούν σε σωληνώσεις, δεξαμενές, ηλεκτρικά καλώδια και πάσης φύσεως εξοπλισμό καίριας σημασίας, προσφέροντας ένα επιπλέον στρώμα προστασίας. [73],[74],[75]

Η εφαρμογή νέων υλικών στις υποδομές ύδρευσης για την αντιμετώπιση πυρκαγιών είναι ένα σημαντικό βήμα για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των δικτύων ύδρευσης. Η ενίσχυση της πυρασφάλειας στις υποδομές ύδρευσης αποτελεί κρίσιμο ζήτημα για πολλές πόλεις, όπως το Σαν Φρανσίσκο στις ΗΠΑ και το Σίδνεϊ στην Αυστραλία, όπου έχουν εφαρμοστεί πυροανθεκτικά υλικά για την αναβάθμιση των υποδομών τους.

Στο Σαν Φρανσίσκο, η Επιτροπή Δημόσιων Υπηρεσιών του Σαν Φρανσίσκο (SFPUC) έχει λάβει σημαντικά μέτρα για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των υποδομών της πόλης έναντι των πυρκαγιών. Ένα σημαντικό μέρος αυτών των προσπαθειών είναι η χρήση πυροανθεκτικών υλικών στις σωληνώσεις και τις δεξαμενές νερού. Αυτές οι εγκαταστάσεις είναι κρίσιμες για την προστασία της παροχής νερού κατά τη διάρκεια πυρκαγιών και άλλων φυσικών καταστροφών.

Το SFPUC έχει λάβει χρηματοδότηση μέσω του Water Infrastructure Finance and Innovation Act (WIFIA) για την αναβάθμιση των υποδομών ύδρευσης, συμπεριλαμβανομένων των έργων βελτίωσης των αντλιοστασίων και της κατασκευής νέων εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων. Τα έργα αυτά στοχεύουν στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας της πόλης έναντι της κλιματικής αλλαγής και στη βελτίωση της διαχείρισης των καταιγίδων και των υπερχειλίσεων λυμάτων. [76]

### **Συμπεράσματα και Συστάσεις**

Τα έξυπνα δίκτυα νερού αντιπροσωπεύουν το μέλλον της διαχείρισης υδάτινων πόρων, προσφέροντας βελτιστοποιημένες λύσεις για τη διανομή και την παρακολούθηση του νερού. Η χρήση αισθητήρων και GIS επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνοντας την άμεση αντίδραση σε προβλήματα και τη βελτίωση της αποδοτικότητας των συστημάτων ύδρευσης. Με την ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών, οι κοινότητες μπορούν να ενισχύσουν την ανθεκτικότητά τους σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και να διασφαλίσουν την αειφόρο διαχείριση των υδάτινων πόρων τους. Η υιοθέτηση έξυπνων δικτύων νερού μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα, την ποιότητα των υπηρεσιών και τη διαχείριση των πόρων. Οι υπηρεσίες ύδρευσης θα πρέπει να εξετάσουν την ενσωμάτωση αυτών των τεχνολογιών για να ανταποκριθούν στις προκλήσεις της λειψυδρίας, της γήρανσης των υποδομών και των αυξανόμενων κανονιστικών απαιτήσεων.

## 4. Ενσωμάτωση Οικολογικών και Τεχνολογικών Λύσεων - Μελέτη Εφαρμογής

Η ενσωμάτωση οικολογικών προσεγγίσεων και τεχνολογικών καινοτομιών παρουσιάζει μια ολοκληρωμένη στρατηγική για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας της ύδρευσης σε περιοχές επιρρεπείς σε πυρκαγιές. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση δεν βελτιώνει μόνο τη φυσική υποδομή αλλά διασφαλίζει επίσης ότι οι πρακτικές διαχείρισης συμβάλλουν στη βιωσιμότητα και την ανάκαμψη του οικοσυστήματος μετά τις πυρκαγιές.

Για παράδειγμα, ο συνδυασμός της διαχείρισης λεκανών απορροής και των έξυπνων δικτύων νερού μπορεί να επιτρέψει στις κοινότητες να παρακολουθούν την υγεία των φυσικών υδάτινων πόρων τους και να αντιδρούν γρήγορα σε αλλαγές στην ποιότητα ή τη διαθεσιμότητα του νερού. Ομοίως, η ενσωμάτωση της συλλογής όμβριων υδάτων με αυτοματοποιημένα συστήματα ελέγχου μπορεί να επιτρέψει τη βελτιστοποίηση της χρήσης αποθηκευμένου νερού κατά τη διάρκεια της πυρόσβεσης χωρίς να διακυβεύεται η ύδρευση για άλλες ανάγκες της κοινότητας.

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει ενδελεχής μελέτη στην εφαρμογή συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού και εφαρμογής πρακτικών ορθής διαχείρισης των υπαρχόντων φυσικών πόρων καθώς και ατομικές πρακτικές εξοικονόμησης νερού για το σύνολο των υποδομών της νήσου Barbados. [77]

### Κεφάλαιο 1

Η συλλογή βρόχινου νερού (Rainwater Harvesting - RWH) είναι μια παλιά πρακτική που έχει αναγνωριστεί για τα πολλαπλά της οφέλη, ιδιαίτερα σε περιοχές με περιορισμένους υδάτινους πόρους, όπως η Barbados. Η νήσος Barbados χαρακτηρίστηκε ως χώρα με "υδάτινη έλλειψη" από την Επιτροπή Υδάτων του ΟΗΕ το 1990, διαθέτοντας ανανεώσιμους υδάτινους πόρους μόλις 210 m<sup>3</sup> ανά άτομο ετησίως, σε σύγκριση με το πρότυπο του ΟΗΕ των 1.000 m<sup>3</sup> ανά άτομο ετησίως. Παρά τη μέση ετήσια βροχόπτωση που κυμαίνεται από 1.016 mm έως 1.524 mm, η Barbados αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις στη διαχείριση των υδάτινων πόρων της.

Η Barbados εξαρτάται κυρίως από υπόγειους υδάτινους πόρους για την κάλυψη των αναγκών της. Η Αρχή Υδάτων της Barbados (BWA) παρέχει περίπου 159.000 m<sup>3</sup>/ημέρα από υπόγειους υδάτινους πόρους σε περίπου το 98% του πληθυσμού. Ωστόσο, περίπου το 98% των γνωστών υπόγειων υδάτινων πόρων του νησιού χρησιμοποιούνται αυτή τη στιγμή. Επίσης, η BWA διαθέτει μονάδα αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού με παραγωγική ικανότητα 30.000 m<sup>3</sup>/ημέρα. Παρόλα αυτά, η παροχή πόσιμου νερού ανέρχεται σε 57,9 εκατομμύρια m<sup>3</sup> ετησίως, που αντιπροσωπεύουν μόλις το 13% της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης σε ένα έτος με 1.016 mm βροχόπτωσης.

Είναι προφανές ότι οι υπάρχουσες πρακτικές διαχείρισης υδάτινων πόρων δεν επαρκούν για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης. Η συλλογή βρόχινου νερού μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη μείωση της ζήτησης για πόσιμο νερό και στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας των κοινοτήτων. Μέσω της εφαρμογής τεχνολογιών συλλογής και αποθήκευσης βρόχινου νερού, η Barbados μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα της χρήσης των υδάτινων πόρων, μειώνοντας την εξάρτηση από τις δημόσιες πηγές και εξασφαλίζοντας επάρκεια νερού κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων.

Για την επιτυχία της συλλογής βρόχινου νερού, απαιτείται η εφαρμογή πολιτικών που ενθαρρύνουν τη συλλογή και χρήση του βρόχινου νερού για μη πόσιμες χρήσεις, όπως η άρδευση, το καζανάκι της τουαλέτας, οι πισίνες και το πλύσιμο ρούχων. Επιπλέον, η εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση των κατοίκων, καθώς και η ανάπτυξη οικονομικών κινήτρων, μπορούν να συμβάλουν στην ευρεία υιοθέτηση αυτής της πρακτικής. Η εμπειρία της Barbados δείχνει ότι με σωστή καταγραφή, παρακολούθηση και διαχείριση της κατανάλωσης νερού, καθώς και με την εφαρμογή κατάλληλων τεχνολογιών, μπορούν να επιτευχθούν σημαντικά οφέλη για τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων του νησιού.

## Κεφάλαιο 2

Ο υπολογισμός και η παρακολούθηση της κατανάλωσης νερού αποτελούν βασικά στοιχεία για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων στην Barbados, ιδιαίτερα λόγω των περιορισμένων διαθέσιμων υδάτινων πόρων και των αυξανόμενων αναγκών του πληθυσμού. Η καταγραφή και ανάλυση της κατανάλωσης νερού βοηθά στην κατανόηση των μοτίβων χρήσης και στην ανάπτυξη στρατηγικών για την εξοικονόμηση νερού και τη βελτίωση της αποδοτικότητας.

### 2.1 Υπολογισμός Κατανάλωσης Νερού

Ο υπολογισμός της κατανάλωσης νερού απαιτεί λεπτομερή καταγραφή των αναγκών σε καθημερινή βάση. Στην περίπτωση της Barbados, η συλλογή δεδομένων κατανάλωσης νερού είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ποσότητας αποθήκευσης και για την ανάπτυξη στρατηγικών εξοικονόμησης νερού. Για παράδειγμα, οι καθημερινές ανάγκες για άρδευση μπορούν να ανέρχονται σε 500 λίτρα ανά ημέρα, ενώ η κατανάλωση νερού για το πλύσιμο ενός αυτοκινήτου μπορεί να φτάσει τα 200 λίτρα ανά ημέρα. Επίσης, η κατανάλωση νερού για την καθαριότητα των αυλών μπορεί να φτάσει τα 300 λίτρα ανά ημέρα, και για την κατάσβεση πυρκαγιών μπορεί να απαιτούνται έως και 5.000 λίτρα ανά ημέρα. Η συνολική ετήσια κατανάλωση νερού για αυτές τις χρήσεις μπορεί να φτάσει τα 138.000 λίτρα ( $138 \text{ m}^3$ ) για άρδευση, πλύσιμο αυτοκινήτων και καθαριότητα αυλών.

### 2.2 Τεχνολογίες Παρακολούθησης

Η παρακολούθηση της κατανάλωσης νερού μπορεί να επιτευχθεί με την εγκατάσταση έξυπνων μετρητών νερού και συστημάτων παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο. Οι έξυπνοι μετρητές νερού μπορούν να καταγράψουν τη συνολική κατανάλωση νερού σε πραγματικό χρόνο και να αποστείλουν δεδομένα σε ένα κεντρικό σύστημα παρακολούθησης. Αυτά τα δεδομένα μπορούν να αναλυθούν για να προσδιοριστούν τα μοτίβα κατανάλωσης και να εντοπιστούν πιθανές ανωμαλίες ή διαρροές. Για παράδειγμα, αν μια διαρροή ανιχνευθεί σε ένα σύστημα άρδευσης, το σύστημα παρακολούθησης μπορεί να ειδοποιήσει άμεσα τους υπεύθυνους για να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα διόρθωσης.

### 2.3 Μέτρα Διατήρησης

Απαιτούνται διάφορες πρωτοβουλίες διατήρησης για να μεγιστοποιηθεί η χρήση του διαθέσιμου νερού τα επόμενα χρόνια. Ένα από τα βασικά μέτρα είναι η μείωση του νερού για το οποίο δεν υπάρχει γνώση χρήσης (Unaccounted for Water - UFW) από το τρέχον επίπεδο του 55% στο 35%. Αυτό θα επιφέρει εξοικονόμηση  $30.300 \text{ m}^3$ /ημέρα (8,0 εκατομμύρια γαλόνια ΗΠΑ ανά ημέρα). Επίσης, η ενημέρωση των λειτουργιών μέσω συστημάτων ελέγχου ροής στους σταθμούς αντλήσεως και η δημιουργία εθνικών ζωνών πίεσης με τη χρήση ενός υδραυλικού μοντέλου σε όλο το νησί θα συμβάλλουν στη βελτίωση της αποδοτικότητας.

Επιπλέον, η μείωση των διαρροών στις δεξαμενές τουαλέτας λόγω ελαττωματικών βαλβίδων μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση  $18.900 \text{ m}^3$ /ημέρα (5,0 εκατομμύρια γαλόνια ΗΠΑ ανά ημέρα). Αυτό απαιτεί ένα κανονιστικό πλαίσιο που θα περιορίζει τη χρήση μη εξουσιοδοτημένων δεξαμενών τουαλέτας και θα προωθεί την αντικατάσταση των παλιών συστημάτων με νέα, πιο αποδοτικά. Η εφαρμογή μιας δομής τιμολόγησης νερού που επιβραβεύει τη διατήρηση μπορεί να ενθαρρύνει τους καταναλωτές να μειώσουν την κατανάλωση νερού. Για παράδειγμα, η χρήση οικονομικών κινήτρων, όπως μειωμένα τέλη για εκείνους που καταναλώνουν λιγότερο νερό, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της συνολικής κατανάλωσης νερού. Η προώθηση και επιβράβευση της συλλογής βρόχινου νερού για δευτερεύουσες χρήσεις, όπως η άρδευση τοπίων, οι πισίνες και το πλύσιμο ρούχων, μπορούν επίσης να συμβάλουν σημαντικά στη βελτίωση της διαχείρισης των υδάτινων πόρων στην Barbados.

Συνολικά, η Barbados πρέπει να υιοθετήσει μια επιθετική προσέγγιση στη συλλογή βρόχινου νερού για να αυξηθεί η αποτελεσματική αξιοποίηση του συνολικού όγκου βροχόπτωσης που κατατίθεται στο νησί. Με την εφαρμογή πολιτικών που ενθαρρύνουν τη συλλογή βρόχινου νερού και την ευαισθητοποίηση των κατοίκων, μπορεί να βελτιωθεί η αποδοτικότητα της χρήσης των υδάτινων πόρων και να μειωθεί η πίεση στο δημόσιο σύστημα παροχής νερού. Η εμπειρία της Barbados δείχνει ότι η σωστή καταγραφή, παρακολούθηση και διαχείριση της κατανάλωσης νερού, σε συνδυασμό με μέτρα διατήρησης και τεχνολογίες παρακολούθησης, μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

### Κεφάλαιο 3

Η εφαρμογή της συλλογής βρόχινου νερού στην Barbados δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αποτελεσματικά χωρίς την ύπαρξη κατάλληλων ρυθμιστικών πρωτοβουλιών. Οι ρυθμιστικές πρωτοβουλίες διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην προώθηση και υποστήριξη της συλλογής βρόχινου νερού, δημιουργώντας ένα ευνοϊκό περιβάλλον για την εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας.

**Ρυθμιστικά Μέτρα και Κανονισμοί**

Το Γραφείο Πολεοδομικού Σχεδιασμού και Ανάπτυξης (TCDPO) της Barbados ελέγχει όλη τη φυσική ανάπτυξη στο νησί μέσω της έκδοσης αδειών για όλες τις αναπτύξεις, συμπεριλαμβανομένης της κατασκευής οποιουδήποτε κτιρίου. Το 1996, το TCDPO εισήγαγε έναν κανονισμό που υποχρέωνε όλα τα κτίρια που ανεγέρθηκαν μετά από αυτή την ημερομηνία να διαθέτουν δεξαμενή αποθήκευσης βρόχινου νερού για τη συλλογή νερού για δευτερεύουσες ή μη πόσιμες χρήσεις. Ο κανονισμός καθόριζε τις απαιτήσεις αποθήκευσης για κάθε τύπο κατασκευής: οι κατοικίες με εμβαδόν στέγης από 139 έως 279 m<sup>2</sup> (1.500 έως 3.000 ft<sup>2</sup>) απαιτούσαν δεξαμενή 13.600 L, ενώ μια κατοικία με εμβαδόν στέγης μεγαλύτερο από 279 m<sup>2</sup> (3.000 ft<sup>2</sup>) απαιτούσε δεξαμενή 27.300 L. Όλα τα εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια απαιτούσαν δεξαμενή με όγκο που υπολογίζεται με βάση 193 L/m<sup>2</sup> (εμβαδόν στέγης).

#### Εφαρμογή Κανονισμών

Αυτός ο κανονισμός εφαρμόστηκε αποτελεσματικά από το TCDPO καθώς οι αιτήσεις για άδεια κατασκευής δεν γίνονταν δεκτές ή επεξεργάζονταν εάν η δεξαμενή βρόχινου νερού δεν περιλαμβανόταν στα υποβαλλόμενα σχέδια. Αυτός ο κανονισμός εφαρμόστηκε επίσης με την επιθεώρηση όλων των δεξαμενών νερού πριν την έκδοση πιστοποιητικού συμμόρφωσης από το TCDPO, μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής. Αυτό το ρυθμιστικό μέτρο είχε δυναμική επίδραση στους οικιστικούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς κατασκευαστές ακινήτων. Οι κατασκευαστές αναγκάστηκαν να κατασκευάσουν δεξαμενές βρόχινου νερού και να ασχοληθούν με την πρακτική της συλλογής βρόχινου νερού. Παρόλο που αυτός ο κανονισμός αρχικά αντιμετωπίστηκε με κάποια αντίσταση, προκάλεσε τους κατασκευαστές και τους ιδιοκτήτες κατοικιών να βρουν δημιουργικούς τρόπους να αξιοποιήσουν και να μεγιστοποιήσουν τη χρήση του αποθηκευμένου βρόχινου νερού.

#### Θετική Επίδραση και Ανάγκη για Επιπλέον Ρυθμιστικές Πρωτοβουλίες

Γενικά, αυτός ο κανονισμός είχε θετική επίδραση στην αποθήκευση και χρήση του βρόχινου νερού για δευτερεύουσες χρήσεις, μειώνοντας έτσι τη ζήτηση στο σύστημα πόσιμου νερού. Για παράδειγμα, με βάση τον κανονισμό, μια κατοικία με στέγη 150 m<sup>2</sup> μπορεί να αποθηκεύει περίπου 163.200 λίτρα (43.200 γαλόνια ΗΠΑ) νερού ετησίως, αν υποθέσουμε ετήσια βροχόπτωση 1.200 mm. Ωστόσο, υπάρχει ανάγκη για υποστηρικτικές περιβαλλοντικές κατευθυντήριες γραμμές και κανονισμούς που θα ενθαρρύνουν ενεργά την κατασκευή και λειτουργία δεξαμενών αποθήκευσης βρόχινου νερού σε ευρύτερη κλίμακα σε όλη την κοινότητα. Ελλείψει αυτών των κανονισμών, έχουν αναπτυχθεί κάποιες ανεπιθύμητες πρακτικές και ορισμένοι έχουν αναπτύξει αρνητικές απόψεις για τη χρήση βρόχινου νερού για μη πόσιμες χρήσεις όπως άρδευση, το καζανάκι της τουαλέτας, πλύσιμο ρούχων και γενικό καθαρισμό εξωτερικών χώρων.

#### Υποστηρικτικές Πρωτοβουλίες

Επιπλέον, η υιοθέτηση μιας δομής τιμολόγησης νερού που επιβραβεύει τη διατήρηση μπορεί να ενθαρρύνει τους καταναλωτές να μειώσουν την κατανάλωση νερού. Η εφαρμογή οικονομικών κινήτρων, όπως μειωμένα τέλη για εκείνους που καταναλώνουν λιγότερο νερό, μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της συνολικής κατανάλωσης νερού. Για παράδειγμα, η προώθηση και επιβράβευση της συλλογής βρόχινου νερού για δευτερεύουσες χρήσεις, όπως η άρδευση τοπίων, οι πισίνες και το πλύσιμο ρούχων, μπορούν επίσης να συμβάλουν σημαντικά στη βελτίωση της διαχείρισης των υδάτινων πόρων στην Barbados.

Συνολικά, οι ρυθμιστικές πρωτοβουλίες που έχουν ληφθεί στην Barbados δείχνουν ότι η σωστή καταγραφή, παρακολούθηση και διαχείριση της κατανάλωσης νερού, σε συνδυασμό με κατάλληλες υποστηρικτικές πολιτικές και οικονομικά κίνητρα, μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Η εμπειρία της Barbados αποτελεί ένα παράδειγμα για το πώς οι ρυθμιστικές πρωτοβουλίες μπορούν να υποστηρίξουν την ευρεία εφαρμογή της συλλογής βρόχινου νερού και να βελτιώσουν τη βιωσιμότητα της διαχείρισης υδάτινων πόρων στο νησί.



## Κεφαλαίο 4

Η συλλογή βρόχινου νερού (RWH) είναι μια αρχαία πρακτική που συνεχίζει να προσφέρει πολύτιμες λύσεις για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, ιδιαίτερα σε περιοχές με περιορισμένους υδάτινους πόρους όπως η Barbados. Παρά τις αξιόπιστες υπόγειες υδάτινες πηγές, η Barbados αντιμετωπίζει υδρολογική έλλειψη, καθιστώντας αναγκαία την αναθεώρηση και εφαρμογή της συλλογής βρόχινου νερού για την κάλυψη των μη πόσιμων αναγκών και τη μείωση της πίεσης στο δημόσιο σύστημα παροχής νερού.

### 4.1 Ανάγκη για Συλλογή Βρόχινου Νερού

Η συλλογή και αποθήκευση βρόχινου νερού για χρήση, με ή χωρίς επεξεργασία, έχει εφαρμοστεί εδώ και αιώνες. Ωστόσο, ορισμένες χώρες όπως η Barbados, που ήταν τυχερές να έχουν αξιόπιστες υπόγειες υδάτινες πηγές, δεν εφάρμοσαν εκτενώς την πρακτική αυτή. Σε άλλες κοινότητες της Καραϊβικής, όπως τα νησιά Grenadines, η συλλογή βρόχινου νερού είναι η κύρια πηγή νερού για ατομικές ιδιοκτησίες, δημόσια γραφεία και ιδρύματα. Η Barbados, ως χώρα με υδάτινη έλλειψη, πρέπει να επανεξετάσει τη χρήση της συλλογής βρόχινου νερού για την παραγωγή νερού για μη πόσιμες χρήσεις, μειώνοντας έτσι την πίεση στο δημόσιο σύστημα παροχής νερού. Η μέση ετήσια βροχόπτωση κυμαίνεται από 1.016 mm (40") έως 1.524 mm (60"), με το νησί να εξαρτάται κυρίως από υπόγειους υδάτινους πόρους για την κάλυψη των αναγκών του. Η τρέχουσα παροχή πόσιμου νερού ανέρχεται σε 57,9 εκατομμύρια m<sup>3</sup> ετησίως, που αντιπροσωπεύουν μόλις το 13% της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης.

### 4.2 Δεδομένα Βροχόπτωσης

Η πραγματική πρόκληση για την εφαρμογή μιας βιώσιμης λύσης συλλογής βρόχινου νερού είναι ο καθορισμός της ποσότητας αποθήκευσης που απαιτείται κατά την υγρή περίοδο για να καλυφθεί η ζήτηση για νερό κατά την ετήσια περίοδο χαμηλής βροχόπτωσης (ξηρή περίοδος) των περίπου πέντε μηνών. Είναι απαραίτητο να υπάρχουν αξιόπιστα δεδομένα βροχόπτωσης για μια περίοδο τουλάχιστον 25 έως 30 ετών για να υποστηριχθεί ένα μοντέλο πρόβλεψης. Χάρη σε ένα δίκτυο περίπου 50 μετρητών βροχής που βρίσκονται σε καλλιέργειες ζαχαροκάλαμου, η Barbados διαθέτει περίπου 150 χρόνια δεδομένων βροχόπτωσης βασισμένα σε δύο ημερήσιες αναγνώσεις από αφοσιωμένους αγρότες στις 6:00 π.μ. και 6:00 μ.μ. Αυτά τα δεδομένα αναλύθηκαν για να παράσχουν μέση μηνιαία ποσότητα κατακρυσμισμού, που χρησιμοποιούνται σε μοντέλα πρόβλεψης τα οποία εκτελούν μηνιαίο υδρολογικό ισοζύγιο για διάφορα σενάρια βροχοπτώσεων.

### 4.3 Υδρολογικό Μοντέλο Ισοζυγίου Νερού

Το υπολογιστικό μοντέλο για την διεξαγωγή μηνιαίου υδρολογικού ισοζυγίου σε οποιοδήποτε έργο, χρησιμοποιεί μηνιαία σενάρια βροχοπτώσεων για έτος με 1.143 mm (45") βροχόπτωσης, έτος με 1.270 mm (50") βροχόπτωσης και έτος με 1.524 mm (60") βροχόπτωσης για να μετρήσει την ευαισθησία της αποθήκευσης στο επιλεγμένο καθεστώς βροχοπτώσεων. Αφού ρυθμιστεί το μοντέλο με τις διάφορες ειδικές παραμέτρους, ο όγκος αποθήκευσης μπορεί να επιλεγεί και να προσομοιωθεί χρησιμοποιώντας κάθε σενάριο βροχοπτώσεων για να προσδιοριστεί η βιωσιμότητά του καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αν δηλαδή η αποθήκευση είναι βιώσιμη κατά τη διάρκεια της χαμηλής βροχόπτωσης. Για παράδειγμα, για μια περιοχή με ετήσια βροχόπτωση 1.143 mm, το μοντέλο μπορεί να καθορίσει την απαιτούμενη χωρητικότητα αποθήκευσης ώστε να καλύψει τις ανάγκες νερού κατά τη διάρκεια των πέντε μηνών ξηρασίας.

Αυτό το μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στις πέντε μελέτες περίπτωσης που παρουσιάζονται σε αυτήν την εργασία και εφαρμόστηκαν μεταξύ 2000 και 2007. Οι μελέτες αυτές δείχνουν την ποικιλία των εφαρμογών της συλλογής βρόχινου νερού και τα οφέλη της για την τοπική κοινότητα, υποστηρίζοντας τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων στην Barbados. Για παράδειγμα, η εφαρμογή του μοντέλου σε μια περιοχή με μέση βροχόπτωση 1.270 mm ετησίως μπορεί να καθορίσει την ανάγκη για δεξαμενές αποθήκευσης νερού χωρητικότητας 20.000 m<sup>3</sup> για να καλύψει τις ανάγκες κατά τη διάρκεια των ξηρών μηνών. Η επιτυχής εφαρμογή αυτών των συστημάτων αποδεικνύει τη δυναμική της συλλογής βρόχινου νερού ως βασικό στοιχείο της ολοκληρωμένης στρατηγικής διαχείρισης υδάτινων πόρων της Barbados.

## Κεφάλαιο 5

Η εφαρμογή της συλλογής βρόχινου νερού στην Barbados παρουσιάζει μια σειρά από παραδείγματα επιτυχημένων έργων που αποδεικνύουν την πρακτικότητα και την αποτελεσματικότητα αυτής της τεχνολογίας στη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Οι παρακάτω μελέτες περίπτωσης αναδεικνύουν πώς η συλλογή βρόχινου νερού μπορεί να υποστηρίξει τις ανάγκες άρδευσης, πυρόσβεσης και άλλες μη πόσιμες χρήσεις, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα των κοινοτήτων και των βιομηχανικών εγκαταστάσεων.

### 5.1 Συγκρότημα Millennium Heights, Welches, St. Thomas (ολοκληρώθηκε το 2000)

Αυτό το κλειστό συγκρότημα κατοικιών 16,2 acres (40 στρέμματα) ολοκληρώθηκε το 2000 και αποτελούνταν από δύο φάσεις. Η άδεια ανάπτυξης του TCDPO απαιτούσε την παροχή αποθήκευσης βρόχινου νερού. Ο σχεδιασμός αναπτύχθηκε γύρω από ένα υπάρχον σκάμα στο ακίνητο για να αξιοποιηθεί για την αποθήκευση του βρόχινου νερού από τους χώρους στάθμευσης, τις περιοχές πρασίνου και μερικές στέγες. Το σκάμα αναβαθμίστηκε και επενδύθηκε με γεωμεμβράνη HDPE, δημιουργώντας μια λίμνη 1,5 στρέμματος με χωρητικότητα περίπου 18.939 m<sup>3</sup> (5,0 εκατομμύρια γαλόνια ΗΠΑ). Η λίμνη αυτή όχι μόνο κάλυψε τις ανάγκες αποθήκευσης νερού αλλά επίσης δημιούργησε ένα όμορφο οικοσύστημα με ψάρια και νούφαρα, προσθέτοντας αξία στην περιοχή.

### 5.2 Lion Castle Polo Estate, St. Thomas (ολοκληρώθηκε το 2003)

Αυτό το συγκρότημα κατοικιών 26 acres (64 στρέμματα) κατασκευάστηκε γύρω από ένα γήπεδο golf 4,8 acres (12 στρέμματα) διεθνούς κλάσης. Η άδεια ανάπτυξης του TCDPO απαγόρευε τη χρήση του δημόσιου πόσιμου νερού για την άρδευση του γηπέδου, γεγονός που παρουσίαζε μια πραγματική πρόκληση. Η συλλογή βρόχινου νερού προσέφερε τη μόνη λύση. Η υδρολογική ανάλυση επιβεβαίωσε ότι η διαθέσιμη λεκάνη απορροής των 40 στρεμμάτων μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες άρδευσης του γηπέδου, αλλά απαιτούνταν 22.727 m<sup>3</sup> (6,0 εκατομμύρια γαλόνια ΗΠΑ) αποθήκευσης. Ένα υπάρχον σκάμα αναβαθμίστηκε και επενδύθηκε για να παρέχει την απαραίτητη αποθήκευση. Η επιτυχία αυτού του έργου όχι μόνο εξασφάλισε την απαιτούμενη παροχή νερού για την άρδευση, αλλά επίσης πρόσθεσε αξία στην περιοχή, δημιουργώντας ένα όμορφο και λειτουργικό τοπίο.

### 5.3 Mount Gay Rum Ageing & Blending Facility, St. Lucy (ολοκληρώθηκε το 2005)

Αυτή η εγκατάσταση παλαίωσης και ανάμειξης ρούμι κατασκευάστηκε το 2005 και περιλάμβανε μια δεξαμενή συλλογής βρόχινου νερού χωρητικότητας 11.363 m<sup>3</sup> (3 εκατομμύρια γαλόνια ΗΠΑ). Η δεξαμενή συλλογής βρόχινου νερού συλλέγει νερό από τις στέγες της εγκατάστασης και τις γειτονικές περιοχές. Το συλλεγόμενο νερό χρησιμοποιείται για την άρδευση των φυτειών και ως εφεδρική πηγή νερού για το σύστημα πυρόσβεσης της εγκατάστασης. Η επένδυση σε μια μεγάλη δεξαμενή συλλογής βρόχινου νερού εξασφαλίζει την αειφορία της εγκατάστασης και μειώνει την πίεση στους δημόσιους υδάτινους πόρους.

### 5.4 Farmers Dam & Water Impoundment, St. Andrew (ολοκληρώθηκε το 2006)

Το έργο Farmers Dam & Water Impoundment ολοκληρώθηκε το 2006 και περιλάμβανε την κατασκευή ενός φράγματος για τη συλλογή και αποθήκευση 223.484 m<sup>3</sup> (59 εκατομμύρια γαλόνια ΗΠΑ) νερού. Το νερό αυτό χρησιμοποιείται για την άρδευση του γηπέδου γκολφ Apes Hill. Η λεκάνη απορροής που τροφοδοτεί το φράγμα περιλαμβάνει τόσο φυσικές όσο και αναβαθμισμένες περιοχές, εξασφαλίζοντας επαρκή απορροή για την πλήρωση της δεξαμενής κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου. Η εφαρμογή αυτής της λύσης όχι μόνο εξασφαλίζει την απαραίτητη παροχή νερού για την άρδευση του γηπέδου γκολφ, αλλά επίσης συμβάλλει στη διατήρηση του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής.

### 5.5 Kensington Oval Redevelopment (ολοκληρώθηκε το 2007)

Το έργο ανακατασκευής του Kensington Oval περιλάμβανε τη δημιουργία ενός συστήματος συλλογής βρόχινου νερού για τη διαχείριση των απορροών και την άρδευση του γηπέδου. Η εγκατάσταση μιας δεξαμενής συλλογής βρόχινου νερού χωρητικότητας 13.636 m<sup>3</sup> (3,6 εκατομμύρια γαλόνια ΗΠΑ) εξασφαλίζει την επάρκεια νερού για την άρδευση και άλλες μη πόσιμες χρήσεις. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας όχι μόνο εξασφαλίζει την επάρκεια νερού για τις ανάγκες του γηπέδου αλλά επίσης μειώνει την πίεση στους δημόσιους υδάτινους πόρους, συμβάλλοντας στην αειφορία της περιοχής.

## Τεχνικά Δεδομένα και Πίνακες

### Υπολογισμός Κατανάλωσης Νερού για Άρδευση και Πυρόσβεση

Εφαρμογή	Κατανάλωση (L/ημέρα)	Νερού Συχνότητα (ημέρες/έτος)	Συνολική Κατανάλωση (L/έτος)
Άρδευση Κήπων	500	150	75,000
Πλύσιμο Αυτοκινήτου	200	20	4,000
Καθαρισμός Αυλών	300	30	9,000
Κατάσβεση Πυρκαγιών	5,000	10	50,000

### Υπολογισμός Αποθήκευσης Νερού σε Δεξαμενές

Μήνας	Μέση (mm)	Βροχόπτωση Συλλεγόμενη (L)	Βροχόπτωση Κατανάλωση (L)	Νερού Αποθήκευση (L)
Ιανουάριος	75	20,000	10,000	10,000
Φεβρουάριος	50	15,000	9,000	6,000
Μάρτιος	60	18,000	11,000	7,000
Απρίλιος	45	12,000	8,000	4,000
Μάιος	55	17,000	10,000	7,000

## Περιγραφή Τεχνολογιών και Εξοπλισμού

### Δεξαμενές Συλλογής Βρόχινου Νερού

- **Υλικό Κατασκευής:** Πολυαιθυλένιο, πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), ίνες γυαλιού, σκυρόδεμα.
- **Χωρητικότητα:** Από 1,000 έως 50,000 λίτρα, ανάλογα με τις ανάγκες της εγκατάστασης.
- **Σύστημα Απολύμανσης:** Χρήση φίλτρων άνθρακα και UV απολυμαντήρων για την εξασφάλιση της ποιότητας του νερού.

### Συστήματα Επεξεργασίας Γκρίζου Νερού

- **Μηχανικά Φίλτρα:** Απομάκρυνση στερεών ρύπων και σωματιδίων.
- **Βιολογικοί Καθαριστές:** Χρήση μικροοργανισμών για την αποδόμηση οργανικών ρύπων.
- **UV Απολύμανση:** Χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας για την εξόντωση παθογόνων μικροοργανισμών.

•

### Συστήματα Παρακολούθησης Κατανάλωσης Νερού

- **Έξυπνοι Μετρητές Νερού:** Καταγραφή της κατανάλωσης νερού σε πραγματικό χρόνο και αποστολή δεδομένων σε κεντρικό σύστημα παρακολούθησης.
- **Συστήματα Ανίχνευσης Διαρροών:** Εντοπισμός διαρροών και ενημέρωση του χρήστη για άμεση επέμβαση.

## **Συμπεράσματα και Προτάσεις**

Η εφαρμογή τεχνικών συλλογής βρόχινου και γκρίζου νερού, όπως περιγράφεται στην εργασία του Andrew Hutchinson για τη νήσο Barbados, αποτελεί μια βιώσιμη λύση για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των απομακρυσμένων οικισμών στην έλλειψη επαρκών ποσοτήτων νερού για χρήση σε έκτακτες ανάγκες, όπως πυρκαγιές, αλλά και την εξασφάλιση νερού για οποιαδήποτε άλλη χρήση. Μέσω της ανάπτυξης ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης νερού, της χρήσης προηγμένων τεχνολογιών και της ενίσχυσης της συνεργασίας μεταξύ των τοπικών αρχών και των κατοίκων, είναι δυνατή η βελτίωση της διαθεσιμότητας και της αποδοτικότητας της χρήσης των υδάτινων πόρων.

Η μελλοντική έρευνα πρέπει να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών και πρακτικών για τη συλλογή και επαναχρησιμοποίηση νερού, καθώς και στην αξιολόγηση των οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συστημάτων αυτών. Η διεθνής συνεργασία και η ανταλλαγή γνώσεων μπορούν να συμβάλουν στην προώθηση της ευρείας υιοθέτησης αυτών των τεχνολογιών και στην ανάπτυξη κοινών κανονισμών και προτύπων για την υδάτινη διαχείριση.

Η υιοθέτηση και εφαρμογή αυτών των πρακτικών μπορεί να συμβάλει στη δημιουργία πιο ανθεκτικών και βιώσιμων κοινοτήτων, μειώνοντας την εξάρτηση από τους πόσιμους υδάτινους πόρους και βελτιώνοντας την ικανότητα αντιμετώπισης των πυρκαγιών και άλλων κρίσεων νερού.

## 5. Σύνοψη

Τα τελευταία χρόνια, η αυξανόμενη συχνότητα και ένταση των πυρκαγιών στις σε δασικές περιοχές πλησίον κατοικημένων περιοχών και απομακρυσμένων οικισμών, έχουν καταδείξει την ανάγκη για καλύτερη διαχείριση των υδατικών πόρων και πιο ανθεκτικές υποδομές ύδρευσης. Οι πυρκαγιές όχι μόνο απειλούν τη φυσική διαθεσιμότητα του νερού, αλλά και την ποιότητά του, καθώς οι ζημιές στις υποδομές μπορούν να οδηγήσουν σε μόλυνση και μακροχρόνια έλλειψη νερού. Η ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση νερού κατά τη διάρκεια εκτάκτων περιστάσεων απαιτεί καινοτόμες προσεγγίσεις που ενσωματώνουν οικολογικές αρχές και τεχνολογικές λύσεις για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας και βιωσιμότητας των συστημάτων.

Η μελέτη και αποκατάσταση των πλημμυρικών πεδίων μπορεί να συμβάλει στη φυσική διατήρηση και απελευθέρωση των υδάτων της λεκάνης απορροής, μειώνοντας τον κίνδυνο πλημμύρας και βελτιώνοντας την ποιότητα των υδάτων. Η αποκατάσταση των ποταμών και η δημιουργία υγροτόπων προσφέρουν πολλαπλά οφέλη για τη διαχείριση των λεκανών απορροής, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα των δασών, εμπλουτίζοντας τον υδροφόρο ορίζοντα, υπέργειο και υπόγειο με μμεγαλύτερες ποσότητες νερού οι οποίες ενισχύουν την πρόσβαση σε υδάτινα αποθέματα σε ώρα ανάγκης και θωρακίζοντας τα δάση και τους παρακείμενους οικισμούς.

Σημαντική είναι η έμφαση στην ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών και πρακτικών για τη συλλογή και επαναχρησιμοποίηση νερού, καθώς και στην αξιολόγηση των οικονομικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συστημάτων αυτών. Η συλλογή και επαναχρησιμοποίηση βρόχινου και γκριζου νερού αποτελεί μια βιώσιμη λύση για την ενίσχυση της διαθεσιμότητας νερού και τη μείωση της εξάρτησης από τους πόσιμους υδάτινους πόρους. Η εφαρμογή μόνιμων συστημάτων συλλογής, επεξεργασίας και αποθήκευσης νερού από τα νοικοκυριά μπορεί να συμβάλει σημαντικά στη διαχείριση των υδατικών πόρων, ιδιαίτερα σε περιοχές επιρρεπείς σε ξηρασίες και σε πυρκαγιές.

Η ενσωμάτωση έξυπνων δικτύων νερού προσφέρει βελτιστοποιημένες λύσεις για τη διανομή και την παρακολούθηση του νερού, διευκολύνοντας την άμεση αντίδραση σε προβλήματα και τη βελτίωση της αποδοτικότητας των συστημάτων ύδρευσης. Η χρήση αισθητήρων και συστημάτων GIS επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα των κοινοτήτων σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και διασφαλίζοντας την αειφόρο διαχείριση των υδατικών πόρων. Καινοτόμα υλικά μπορούν να προσδώσουν ανθεκτικότητα σε εξοπλισμό και δίκτυα νερού, αλλά και να θωρακίσουν ευάλωτες εγκαταστάσεις και υποδομές, στις οποίες μια πιθανή ζημιά λόγω πυρκαγιάς θα δυσχαίρενε το έργο της πυρόσβεσης, όπως αντλιοστάσια και εκτεθειμένες σωληνώσεις.

Συνολικά, η υιοθέτηση οικολογικών και τεχνολογικών λύσεων για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας και βιωσιμότητας των συστημάτων ύδρευσης μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία πιο ασφαλών και βιώσιμων κοινοτήτων, μειώνοντας τις επιπτώσεις των πυρκαγιών και άλλων κρίσεων νερού. Με την ενσωμάτωση αυτών των πρακτικών, οι κοινότητες μπορούν να προστατεύσουν καλύτερα τους υδάτινους πόρους τους, να βελτιώσουν την αποδοτικότητα και την ανθεκτικότητα των συστημάτων ύδρευσης και να διασφαλίσουν τη βιώσιμη διαχείριση των υδατικών πόρων τους για το μέλλον.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Aksoy, E.; Kocer, A.; Yilmaz, İ.; Akçal, A.N.; Akpinar, K. Assessing Fire Risk in Wildland–Urban Interface Regions Using a Machine Learning Method and GIS data: The Example of Istanbul’s European Side. *Fire* 2023, 6, 408. <https://doi.org/10.3390/fire6100408>
- [2] Ganatsas, P.; Oikonomakis, N.; Tsakalidimi, M. Small-Scale Analysis of Characteristics of the Wildland–Urban Interface Area of Thessaloniki, Northern Greece. *Fire* 2022, 5, 159. <https://doi.org/10.3390/fire5050159>
- [3] Sowby, R.B.; Porter, B.W. Water Supply and Firefighting: Early Lessons from the 2023 Maui Fires. *Water* 2024, 16, 600. <https://doi.org/10.3390/w16040600>
- [4] San-Miguel-Ayanz, J. & Schulte, Ernst & Schmuck, Guido & Camia, Andrea & Strobl, Peter & Libertà, Giorgio & Giovando, Cristiano & Boca, Roberto & Sedano, Fernando & Kempeneers, Pieter & McInerney, Daniel & Withmore, Ceri & Oliveira, Sandra & Rodrigues, Marcos & Durrant, Tracy & Corti, Paolo & Oehler, Friderike & Vilar, Lara & Amatulli, Giuseppe. (2012). Comprehensive Monitoring of Wildfires in Europe: The European Forest Fire Information System (EFFIS). 10.5772/28441.
- [5] Rossi, Jean-Louis & Komac, Blaž. (2020). Evolving Risk of Wildfires in Europe.
- [6] Meier, Sarah & Strobl, Eric & Elliott, Robert & Kettridge, Nicholas. (2022). Cross-country risk quantification of extreme wildfires in Mediterranean Europe. *Risk Analysis*. 43. 1745-1762. 10.1111/risa.14075.
- [7] Parente, Joana & Tonini, Marj & Stamou, Zoi & Koutsias, Nikos & Pereira, Mário. (2023). Quantitative Assessment of the Relationship between Land Use/Land Cover Changes and Wildfires in Southern Europe. *Fire*. 6. 10.3390/fire6050198.
- [8] Amraoui, Malik & Pereira, Mário & Dacamara, Carlos. (2013). Comparison between satellite wildfire databases in Europe.
- [9] Ανδριανός Γκουρμπάτσος, Αντιστράτηγος – Υπαρχηγός ΠΣ, ε.α, Νομικός, Ειδικός Ερευνητής - Δικαστικός Πραγματογνώμονας, Διερεύνηση Εγκλημάτων Εμπρησμού, Αθήνα Ιούλιος 2021
- [10] National Interagency Fire Center - <https://www.nifc.gov/fire-information/statistics/wildfires>
- [11] Wimberly, Michael & Wanyama, Dan & Doughty, R. & Peiro, Helene & Crowell, Sean. (2024). Increasing Fire Activity in African Tropical Forests Is Associated With Deforestation and Climate Change. *Geophysical Research Letters*. 51. 10.1029/2023GL106240.
- [12] Zhou Wang, Keyan Fang, Qichao Yao, Fire history and its forcing in Northeastern Asia boreal forests, *Natural Hazards Research*, Volume 2, Issue 3, 2022, Pages 166-171, ISSN 2666-5921, <https://doi.org/10.1016/j.nhres.2022.07.001>.
- [13] Wang, Chih-peng & Shih, Ban-jwu. (2018). Research on the Integration of Fire Water Supply. *Procedia Engineering*. 211. 778-787. 10.1016/j.proeng.2017.12.075.
- [14] Moritz, Max & Batllori, Enric & Bradstock, Ross & Gill, Malcolm & Handmer, John & Hessburg, Paul & Leonard, Justin & Mccaffrey, Sarah & Odion, Dennis & Schoennagel, Tania & Syphard, Alexandra. (2014). Learning to coexist with wildfire. *Nature*. 515. 58-66. 10.1038/nature13946.
- [15] Bessa Santos, Regina & Fernandes, Luís & Pereira, Mário & Cortes, Rui & Pacheco, Fernando. (2015). Water resources planning for a river basin with recurrent wildfires. *Science of The Total Environment*. 10.1016/j.scitotenv.2015.04.058.
- [16] Smith, Hugh & Sheridan, Gary & Nyman, Petter & Haydon, Shane. (2011). Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply. *Journal of Hydrology - J HYDROL*. 396. 170-192. 10.1016/j.jhydrol.2010.10.043.
- [17] Odimayomi, Tolulope & Proctor, Caitlin & Wang, Erica & Sabbaghi, Arman & Peterson, Kimberly & Yu, David & Lee, Juneseok & Shah, Amisha & Ley, Christian & Noh, Yoorae & Smith, Charlotte & Webster, Jackson & Milinkevich, Kristin & Lodewyk, Michael & Jenks, Julie & Smith, James & Whelton, Andrew. (2021). Water safety attitudes, risk perception, experiences, and education for households impacted by the 2018 Camp Fire, California. *Natural Hazards*. 108. 1-29. 10.1007/s11069-021-04714-9.
- [18] Wolsink, Maarten. (2006). River basin approach and integrated water management: Governance pitfalls for the Dutch Space-Water-Adjustment Management Principle. *Geoforum*. 37. 473-487. 10.1016/j.geoforum.2005.07.001.

- [19] Ezenwaji E. E., Uwadiogwu B. O., Anyaeze E. U.. Sustaining Rainwater Harvesting for Household Water Supply in Awka Urban Area, Nigeria. *American Journal of Water Resources*. 2017; 5(3):85-91. doi: 10.12691/ajwr-5-3-4.
- [20] Ahmadpari, Hedieh & Sedigh, Mortaza & Hassanpour, Farzad. (2022). Investigating the use of gray water to achieve sustainable water management and optimizing water consumption.
- [21] Fikadu, Tekuamework & Teferi, ERMIA S & Dubale, Berihun & Gusha, Bukho & Mantel, Sukhmani & Tanner, Jane & Palmer, Carolyn & Woldu, Zerihun & Alamirew, Tena & Zeleke, Gete. (2022). Implications of Watershed Management Practices on Water Availability Using Hydrus-1D Model in the Aba Gerima Watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Water*. 14. 10.3390/w14193095.
- [22] Mankin, Kyle & Srinivasan, R. & Arnold, Jeff. (2010). Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model: Current Developments and Applications. 53. 10.13031/2013.34915.
- [23] bellwood-howard, imogen & Taylor, Richard & Thompson, John & Shamsudduha, Mohammad & Mosha, Devotha & Gebrezgi, Gebrehaweria & Tarimo, Andrew & Kashaigili, Japhet & Nazoumou, Yahaya & Tiékoura, Ouassa. (2022). A Multicriteria Analysis of Groundwater Development Pathways in Three River Basins in Sub-Saharan Africa. *SSRN Electronic Journal*. 138. 10.2139/ssrn.4141944.
- [24] Zakari, Mahamadou & Gao, Cheng & Moustapha, Adamou & Ma, Chuan. (2014). Water resources management in Sub-Saharan Africa: A status review of Niger Republic. *International Journal of Water*. 8. 275- 298. 10.1504/IJW.2014.064221.
- [25] Betrie, Getnet & Mohamed, Yasir & van Griensven, Ann & Srinivasan, R. (2011). Sediment Management Modelling in the Blue Nile Basin Using SWAT Model. *Hydrology and Earth System Sciences*. 15. 807-818. 10.5194/hess-15-807-2011.
- [26] Dibaba, Wakjira Takala & Geleta, Dessalegn. (2021). The status of soil erosion in the Upper Blue Nile Basin: Identification of hot spot Areas and Evaluation of Best Management Practices in the Toba Watershed. 10.21203/rs.3.rs-868407/v1.
- [27] D'Ippolito, Antonino & Ferrari, Ennio & Iovino, Francesco & Nicolaci, Antonino & Veltri, Antonella. (2013). Reforestation and land use change in a drainage basin of southern Italy. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. <http://www.sisef.it/forest/contents/?id=ifor0741-006>. e1-e6. 10.3832/ifor0741-006.
- [28] Carling, Paul & Hargitai, Henrik. (2014). Floodplain. 10.1007/978-1-4614-9213-9\_152-1.
- [29] Uliganets, Sergey & Shynkarenko, Ulyana & Melnyk, Liudmyla & Molochko, Mykola & Syrovets, Sergii. (2024). Analysis of natural prerequisites for the development of ecotourism in nature conservation areas (on the example of the Pyryatynskyy National Nature Park). *Journal of Geology, Geography and Geocology*. 32. 859-870. 10.15421/112376.
- [30] S., BEZUGLOVA & V., KRYZHANOVSKAYA & S., SHAROVA & V., BUZYAKOVA. (2021). SOCIO-ECONOMIC AND NATURAL FACTORS OF ECOTOURISM DEVELOPMENT ON HYDROLOGICAL OBJECTS OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL TERRITORIES OF THE VOLGA BASIN. *Geology, Geography and Global Energy*. 81. 101-113. 10.21672/2077-6322-2021-81-2-101-113.
- [31] Cantasano, Nicola & Pellicone, Gaetano & Ietto, Fabio. (2022). The Coastal Sustainability Standard method: A case study in Calabria (Southern Italy).
- [32] Gasparotti, Carmen. (2014). The main factors of water pollution in Danube River basin. *EuroEconomica*. vol. 33, No. 1/2014, ISSN 1582-8859. 75-88.
- [33] Jakovljević, Dejana & Milanović Pešić, Ana & Miljanovic, Dragana. (2022). Human Impacts on Water Resources in the Lower Danube River Basin in Serbia. 10.1007/978-3-031-03865-5\_7.
- [34] Sporka, Ferdinand. (1998). The typology of floodplain water bodies of the Middle Danube (Slovakia) on the basis of the superficial polychaete and oligochaete fauna. *Hydrobiologia*. 386. 55-62. 10.1023/A:1003587930283.
- [35] Csagoly, Paul & Magnin, Gernant & Hulea, Orieta. (2016). Lower Danube Green Corridor. 10.1007/978- 94-007-6173-5\_251-1.
- [36] Uehlinger, Urs & Wantzen, Karl & Leuven, Rob S.E.W. & Arndt, Hartmut. (2009). The Rhine River Basin. First publ. in: *Rivers of Europe / Klement Tockner u.a. - London: Acad. Pr., 2009, pp. 199-245 - ISBN 978-0-12-369449-2*. 10.1016/B978-0-12-369449-2.00006-0.
- [37] Schmitt, Laurent & Morris, Dale & Kondolf, george 'mathias. (2018). Managing Floods in Large River Basins in Europe: The Rhine River. 10.1007/978-3-319-71673-2\_4.
- [38] Verweij, Marco. (2017). The remarkable restoration of the Rhine: plural rationalities in regional water politics. *Water International*. 42. 1-15. 10.1080/02508060.2017.1278576.

- [39] Wagenaar-Hart, A.. (1994). International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin (CHR). *Water Science and Technology*. 29. 375-378. 10.2166/wst.1994.0138.
- [40] Harrison, Lee & Keller, Edward & Sallee, Matt. Santa Monica Mountains Steelhead Habitat Assessment: Watershed Hydrologic Analysis.
- [41] Prinz, Dieter & Oweis, Theib & Oberle, Annette. (1998). Rainwater harvesting for dry land agriculture - developing a methodology based on remote sensing and GIS.
- [42] Chubaka, Emmanuel & Whiley, Harriet & Edwards, John & Ross, Kirstin. (2018). A Review of Roof Harvested Rainwater in Australia. *Journal of Environmental and Public Health*. 2018. 1-14. 10.1155/2018/6471324.
- [43] Vaz, Igor & Ghisi, Eneidir & Souza, João. (2023). Potential use of rainwater as a tool for fire stations and firefighting: Literature review, environmental and cost assessments. *Science of The Total Environment*. 898. 165510. 10.1016/j.scitotenv.2023.165510.
- [44] Londra, Paraskevi & Theocharis, A. & Baltas, Evangelos & Tsihrintzis, Vassilios. (2017). Assessment of rainwater harvesting tank size for livestock use. *Water Science and Technology: Water Supply*. 18. ws2017136. 10.2166/ws.2017.136.
- [45] Raimondi, Anita & Quinn, Ruth & G R, Abhijith & Becciu, Gianfranco & Ostfeld, Avi. (2023). Rainwater Harvesting and Treatment: State of the Art and Perspectives. *Water*. 15. 1518. 10.3390/w15081518.
- [46] Teston, Andréa & Soares Geraldi, Matheus & Colasio, Barbara & Ghisi, Eneidir. (2018). Rainwater Harvesting in Buildings in Brazil: A Literature Review. *Water*. 10. 10.3390/w10040471.
- [47] Pedretti, Daniele & Palomeque, Inés & Meier, Stefan. (2023). Ground-Runoff Harvesting to Increase Water Availability in Isolated Households on Hilly Mediterranean Islands: A Case Study in a Micro-Catchment of Ibiza (Spain). *Water*. 15. 4317. 10.3390/w15244317.
- [48] Garcia-Chevesich, Pablo & Valdés-Pineda, Rodrigo & Neary, Dan & Pizarro, Roberto. (2015). Using Rainwater Harvesting Techniques for Firefighting in Forest Plantations. *Journal of Tropical Forest Science*. 27. 1-2.
- [49] Rahman, Khan. (2013). Potential of Rainwater Harvesting in Dhaka City: An Empirical Study. 7. 143-150.
- [50] Sazakli, Eleni & Sazaklie, E. & Leotsinidis, Michalis. (2015). Rainwater harvesting: From ancient Greeks to modern times. The case of Kefalonia Island. *International Journal of Global Environmental Issues*. 14. 286-295. 10.1504/IJGENVI.2015.071867.
- [51] Kourtis, Ioannis & Kotsifakis, Konstantinos & Feloni, Elissavet & Baltas, Evangelos. (2019). Sustainable Water Resources Management in Small Greek Islands under Changing Climate. *Water*. 11. 1694. 10.3390/w11081694.
- [52] Baki, Sandra & Makropoulos, Christos. (2011). Whole cycle urban water management in small sustainable communities: the case of the “green” island of Agistri, Greece. B-87.
- [53] Awasthi, Anuradha & Gandhi, Kavita & Rayalu, S.. (2023). Greywater treatment technologies: a comprehensive review. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 21. 10.1007/s13762-023-04940-7.
- [54] Shakes, Edward. (2019). Greywater Reuse System Design. 10.13140/RG.2.2.10312.34561.
- [55] Stephenson, Tom & Pidou, M. & Jefferson, Bruce & Jeffrey, Paul & Memon, Fayyaz. (2007). Greywater recycling: Treatment options and applications. *Proceedings of The Institution of Civil Engineers-engineering Sustainability - PROC INST CIV ENG-ENG SUSTAIN*. 160. 119-131. 10.1680/ensu.2007.160.3.119.
- [56] Neto, S.J. & Mainier, Fernando & Cruz Moreira, Marcos. (2014). Water reuse and its importance for firefighting training of offshore workers. *Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego*. 8. 47- 56. 10.19180/2177-4560.v8n214-04.
- [57] Kotouc, D & Krocova, S. (2020). Utilisation of recycled wastewater as an alternative source of water used for fire-fighting purposes by fire brigades in the Czech Republic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 444. 012029. 10.1088/1755-1315/444/1/012029.
- [58] Rodríguez, Carolina & Sánchez, Rafael & Lozano-Parra, Javier & Rebolledo, Natalia & Schneider, Nicolás & Serrano Acevedo, Jennyfer & Leiva, Eduardo. (2020). Water Balance Assessment in Schools and Households of Rural Areas of Coquimbo Region, North-Central Chile: Potential for Greywater Reuse. *Water*. 12. 2915. 10.3390/w12102915.
- [59] Juan, Yi-Kai & Chen, Yi & Lin, Jing-Ming. (2016). Greywater Reuse System Design and Economic Analysis for Residential Buildings in Taiwan. *Water*. 8. 546. 10.3390/w8110546.
- [60] Khosrowshahi Asl, Sara & Cushing, Katherine & O'Malley, Rachel & Dahl, Alexandra & Rouhani,



- Afshin & Bryan, Sherry & Burks, Justin. (2023). A field assessment of residential laundry to landscape greywater quality in the San Francisco Bay area. *Water Policy*. 25. 10.2166/wp.2023.101.
- [61] Sinclair, M. & Otoole, Joanne & Malawaraarachchi, M. & Leder, K.. (2013). Household greywater use practices in Melbourne, Australia. *Water Science & Technology: Water Supply*. 13. 294. 10.2166/ws.2013.022.
- [62] Walsby, Colin. (2013). The power of smart water networks. *Journal - American Water Works Association*. 105. 72-77. 10.5942/jawwa.2013.105.0038.
- [63] Kulhavy, Petr & Martinec, Tomas & Novak, Ondrej & Petru, Michal & Srb, Pavel. (2017). Testing fireproof materials in a combustion chamber. *EPJ Web of Conferences*. 143. 02058. 10.1051/epjconf/201714302058.
- [64] Hýsek, Štěpán & Frydrych, Miroslav & Herclík, Miroslav & Louda, Petr & Fridrichová, Ludmila & Su, Le & Le, Hiep. (2019). Fire-Resistant Sandwich-Structured Composite Material Based on Alternative Materials and Its Physical and Mechanical Properties. *Materials*. 12. 1432. 10.3390/ma12091432.
- [65] Li, Jiada & Yang, Xiafei & Sitzenfrei, Robert. (2020). Rethinking the Framework of Smart Water System: A Review.
- [66] Philip, Merin & Singh, P.. (2022). An energy efficient algorithm for sustainable monitoring of water quality in smart cities. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*. 35. 100768. 10.1016/j.suscom.2022.100768.
- [67] Sánchez, A.s & Oliveira-Esquerre, Karla & Nogueira, Idelfonso & de Jong, Pieter & Filho, Adelmo. (2020). Water Loss Management Through Smart Water Systems. 10.1007/978-3-030-37794-6\_12.
- [68] Davies, Kirsten & Doolan, Corinna & Honert, Robin & Shi, Rose. (2014). Water-saving impacts of Smart Meter technology: An empirical 5 year, whole-of-community study in Sydney, Australia. *Water Resources Research*. 50. 10.1002/2014WR015812.
- [69] Rabajczyk A, Zielecka M, Popielarczyk T, Sowa T. Nanotechnology in Fire Protection-Application and Requirements. *Materials (Basel)*. 2021 Dec 18;14(24):7849. doi: 10.3390/ma14247849. PMID: 34947443; PMCID: PMC8707653.
- [70] Richard Olawoyin, Nanotechnology: The future of fire safety, *Safety Science*, Volume 110, Part A, 2018, Pages 214-221, ISSN 0925-7535, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.08.016>.
- [71] Illeperuma, Widusha & Rothemund, Philipp & Suo, Zhigang & Vlassak, Joost. (2015). Fire-Resistant Hydrogel-Fabric Laminates: A Simple Concept That May Save Lives. *ACS applied materials & interfaces*. 8. 10.1021/acsami.5b10538.
- [72] Zhibin Zhang, Hiroshi Fu, Zheng Li, Jianying Huang, Zhiwei Xu, Yuekun Lai, Xiaoming Qian, Songnan Zhang, Hydrogel materials for sustainable water resources harvesting & treatment: Synthesis, mechanism and applications, *Chemical Engineering Journal*, Volume 439, 2022, 135756, ISSN 1385-8947, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135756>.
- [73] Jangid, Jitendra. (2021). Design and Development of Corrosion Resistance Coating for Pipes in Fire Protection Sprinkler Systems : A Review. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*. 87-104. 10.32628/IJSRSET218116.
- [74] Mac van, Phuc & Do, Minh & Nguyen, Anh & Phi Hung, Dao & Nguyen, Thien & Pham, Cong & Nguyen, Tuan Anh. (2024). A water-based flame-retardant coating with cenospheres. *Journal of Coatings Technology and Research*. 10.1007/s11998-024-00947-y.
- [75] Korostylov, Leontiy & Kochanov, Vladimir & Geyko, Sergey & Yuresko, Tetiana. (2017). Development of fire resistant coating for the protection of electrical cables of fire in a closed space. *Technology audit and production reserves*. 6. 22-28. 10.15587/2312-8372.2017.118225.
- [76] Money, Alex. (2019). Financing Water Infrastructure. 10.1002/9781119520627.ch15.
- [77] Andrew P. Hutchinson, Stantec Consulting Caribbean Ltd, CWWA Conference, October 2010 – Grenada, WI