



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΩΝ:
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΈΚΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΥΠΑΘΕΙΑΣ
ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ
ΚΤΙΡΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Κουλουκάκη Μ. Παναγιώτη

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μαρινάκης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΩΝ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΈΚΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΥΠΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

Κουλουκάκη Μ. Παναγιώτη

Επιβλέπων: Ευάγγελος Μαρινάκης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 15/07/2024

.....

Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής ΕΜΠ

.....

Ευάγγελος Μαρινάκης

Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος, 2024

.....

Παναγιώτης Μ. Κουλουκάκης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Παναγιώτης Κουλουκάκης 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Είναι γεγονός ότι ζούμε στην εποχή της κλιματικής αλλαγής, η οποία επιδεινώνεται με την πάροδο του χρόνου και τα αποτελέσματά της είναι όλο και πιο έντονα και αισθητά στην κοινωνία. Τα κράτη σε συνεργασία με την επιστημονική κοινότητα μελετούν το φαινόμενο και προσπαθούν να προετοιμαστούν για τα επόμενα χρόνια ανοικοδομώντας μια κοινωνία ανθεκτική στην κλιματική αλλαγή. Για να επιτευχθεί η αναβάθμιση της κλιματικής ανθεκτικότητας είναι απαραίτητη η ενίσχυση της ανθεκτικότητας των κτιρίων. Στο πλαίσιο αυτό η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αναπτύξει ένα πρότυπο μεθοδολογίας εκτίμησης της κλιματικής τρωτότητας, στο οποίο αναλύονται η έκθεση και η ευαισθησία σε συγκεκριμένους κλιματικούς κινδύνους ώστε να εκτιμηθεί η τρωτότητα του κτιρίου και κατά επέκταση η ανθεκτικότητα στον κάθε κίνδυνο.

Η ανάλυση της ευπάθειας του κτιριακού τομέα αποτελεί αναγκαίο βήμα για την επόμενη μέρα, δηλαδή για την αναβάθμιση των κτιρίων ώστε να είναι ανθεκτικά στην κλιματική αλλαγή. Για αυτό, λοιπόν, η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί να αναπτύξει μία μεθοδολογία ανάλυσης της έκθεσης στην κλιματική αλλαγή, βασισμένη στα πρότυπα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Κύριος σκοπός κατά την υλοποίηση είναι ότι η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογία περιλαμβάνει την ανάλυση καιρικών δεδομένων και είναι για κάθε τοποθεσία του κτιρίου που μελετάται. Αρχικά, πραγματοποιείται αναζήτηση στη βιβλιογραφία υπαρχουσών ερευνών, μέσω της οποίας δημιουργήθηκαν κριτήρια αξιολόγησης της έκθεσης για καθέναν από τους κλιματικούς κινδύνους. Επιπλέον, το τελικό κομμάτι της μεθοδολογίας είναι η εξαγωγή βάρων ενδιαφέροντος για τον εκάστοτε κίνδυνο, που ουσιαστικά εκφράζουν αριθμητικά την έκθεση στις κλιματικές συνθήκες.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η πρακτική εφαρμογή της μεθοδολογίας σε δύο περιοχές μελέτης που επιλέχθηκαν, οι οποίες είναι η Αθήνα και το Ελσίνκι. Συνεπώς, παρουσιάζονται τα στάδια της ανάλυσης δεδομένων καιρού της κάθε περιοχής μαζί με κάποια γραφήματα που βοηθούν στην απεικόνιση και την κατανόηση της διαδικασίας ανάλυσης έκθεσης στον εκάστοτε κλιματικό κίνδυνο. Έπειτα, υπολογίζονται τα τελικά αποτελέσματα του παρόντος συγγράμματος, τα οποία είναι τα βάρη ενδιαφέροντος για την Αθήνα και το Ελσίνκι αντίστοιχα. Τέλος, αναλύονται τα συμπεράσματα που εξάγονται από την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της μεθοδολογίας, καθώς και οι προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης και χρήσης της παρούσας έρευνας.

Λέξεις κλειδιά: Κλιματική αλλαγή, Κλιματική ανθεκτικότητα, έκθεση, ευπάθεια, κλιματικοί κίνδυνοι, κριτήρια αποφάσεων, σύστημα βαροδότησης.

Abstract

Nowadays, it is a matter of fact that we live in the era of climate change, which is worsening over time and its effects are becoming more and more pronounced and noticeable in society. Governments along with the scientific community are studying the phenomenon and trying to prepare for the coming years by rebuilding a climate-resilient society. In order to achieve climate resilience upgrading, it is necessary to strengthen the resilience of buildings. In this context, the European Union has developed a template methodology for climate vulnerability assessment. In this methodology, exposure and sensitivity to specific climate risks are analysed so as to assess the vulnerability of the building and thus the resilience to each risk.

The vulnerability analysis of the building sector is a necessary step for the next day, i.e. for upgrading buildings to be resilient to climate change. Therefore, this thesis therefore attempts to develop a methodology for climate change exposure analysis based on the European Union standards. The main purpose in the implementation is that the application of this methodology includes the analysis of weather data and it is independent of the location of the building. Initially, a search in the literature of existing studies is carried out, through which exposure assessment criteria for each of the climate risks are established. In addition, the final part of the methodology is the extraction of weights of interest for each risk, which essentially express numerically the exposure to climate conditions.

This is followed by the practical application of the methodology in two selected study areas, which are Athens and Helsinki. Consequently, the steps of the weather data analysis of each region are presented along with some graphs that help to illustrate and understand the process of analyzing exposure to each climate risk. Then, the final results of this paper are calculated, which are the weights of interest for Athens and Helsinki respectively. Finally, the conclusions drawn from the completion of the thesis, the advantages and disadvantages of the methodology, as well as the suggestions for future development and use of this research are analyzed.

Keywords: Climate change, Climate resilience, exposure, vulnerability, climate risks, decision criteria, weighting system.

Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία υλοποιήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του προπτυχιακού κύκλου σπουδών της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η εργασία ανατέθηκε από το Εργαστήριο Συστημάτων Αποφάσεων και Διοίκησης και έχει ως θέμα την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας ανάλυσης έκθεσης και ευπάθειας των κτιρίων στην κλιματική αλλαγή.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας η οποία μέσω της ανάλυσης δεδομένων καιρού θα παράγει βάρη ενδιαφέροντος που θα δηλώνουν την έκθεση της περιοχής μελέτης σε συγκεκριμένους κλιματικούς κινδύνους που εκφράζουν την κλιματική αλλαγή. Επιπρόσθετα, πραγματοποιείται πρακτική εφαρμογή της αναφερόμενης μεθοδολογίας σε δύο περιοχές μελέτης. Απώτερος σκοπός του παρόντος συγγράμματος, να υπάρχει μια μεθοδολογία ανοιχτή προς εξέλιξη, η οποία θα εφαρμοστεί σε όσο τον δυνατών περισσότερες περιοχές μελέτης και θα βοηθήσει στη στρατηγική αναβάθμιση της κλιματικής ανθεκτικότητας.

Πίνακας περιεχομένων

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
1.1	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΚΟΠΟΣ	17
1.2	ΦΑΣΕΙΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ	18
1.2.1	1 ^η Φάση υλοποίησης	18
1.2.2	2 ^η Φάση υλοποίησης	19
1.2.3	3 ^η Φάση υλοποίησης	19
1.3	ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΟΥ ΤΟΜΟΥ	20
2	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	21
2.1	ΌΡΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ	21
2.2	ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ	21
2.3	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΤΙΡΙΩΝ	22
2.3.1	Φάση προελέγχου	22
2.3.2	1 ^η φάση	23
2.3.2.1	Ανάλυση έκθεσης (Exposure Analysis)	23
2.3.2.2	Ανάλυση ευαισθησίας (Sensitivity analysis)	24
2.3.2.3	Ανάλυση ευπάθειας (Vulnerability analysis)	25
2.3.3	2 ^η φάση	25
2.3.3.1	Ανάλυση επιπτώσεων (Impact analysis)	26
2.3.3.2	Ανάλυση πιθανότητας (Likelihood analysis)	26
2.3.3.3	Εκτίμηση κινδύνου (Risk assessment)	27
3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΈΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥΣ	28
3.1	ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ	28
3.1.1	Κύμα καύσωνα	28
3.1.2	Ψυχρό κύμα	29
3.1.3	Ισχυρή βροχόπτωση	30
3.1.4	Καταιγίδα	31
3.1.5	Πλημμύρα	32
3.1.6	Ξηρασία	33
3.2	FORMULAS	34
3.2.1	Κύμα καύσωνα	34
3.2.1.1	1ο κριτήριο – Δείκτης Θερμότητας	34
3.2.1.2	2ο κριτήριο – Συνεχόμενες ημέρες καύσωνα	36
3.2.2	Ψυχρό κύμα	37
3.2.2.1	1ο κριτήριο – Δείκτης Ψύξης Ανέμου	37
3.2.2.2	2ο κριτήριο – Βαθμοημέρες Θέρμανσης	38
3.2.3	Ισχυρή βροχόπτωση	41
3.2.3.1	1ο κριτήριο – Ύψος βροχόπτωσης	41
3.2.3.2	2ο κριτήριο – Περίοδος Επαναφοράς	43
3.2.4	Καταιγίδα	44
3.2.4.1	1ο κριτήριο – Ταυτόχρονη παρουσία βροχής και ανέμου	44
3.2.4.2	2ο κριτήριο – Εφαρμογή κατωφλίων ύψους βροχόπτωσης στις ημέρες με δυνατό άνεμο	45
3.2.5	Πλημμύρα	46
3.2.5.1	1ο κριτήριο – Ύψος βροχόπτωσης, απόσταση από σώμα νερού και υψόμετρο	46
3.2.5.2	2ο κριτήριο – Περίοδος επαναφοράς, απόσταση από σώμα νερού και υψόμετρο	48
3.2.6	Ξηρασία	48
3.2.6.1	1ο κριτήριο – Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης	48
3.2.6.2	2ο κριτήριο – Συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή	49
3.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΩΝ	50
3.4	ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ	51

4	ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ.....	54
4.1	ΑΘΗΝΑ, ΕΛΛΑΔΑ	54
4.1.1	Κύμα καύσωνα	55
4.1.1.1	1ο κριτήριο – Δείκτης Θερμότητας	55
4.1.1.2	2ο κριτήριο – Συνεχόμενες ημέρες καύσωνα	59
4.1.2	Ψυχρό κύμα.....	59
4.1.2.1	1ο κριτήριο – Δείκτης Ψύξης Ανέμου	59
4.1.2.2	2ο κριτήριο – Βαθμοημέρες Θέρμανσης	63
4.1.3	Ισχυρή βροχόπτωση	63
4.1.3.1	1ο κριτήριο – Ύψος βροχόπτωσης	63
4.1.3.2	2ο κριτήριο – Περίοδος Επαναφοράς.....	65
4.1.4	Καταιγίδα.....	65
4.1.4.1	1ο κριτήριο – Ταυτόχρονη παρουσία βροχής και ανέμου.....	65
4.1.4.2	2ο κριτήριο – Εφαρμογή καταφλίων ύψους βροχόπτωσης στις ημέρες με δυνατό άνεμο ..	66
4.1.5	Πλημμύρα.....	68
4.1.5.1	1ο κριτήριο – Ύψος βροχόπτωσης, απόσταση από σώμα νερού και υψόμετρο	68
4.1.5.2	2ο κριτήριο – Περίοδος επαναφοράς, απόσταση από σώμα νερού και υψόμετρο.....	69
4.1.6	Ξηρασία	70
4.1.6.1	1ο κριτήριο – Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης.....	70
4.1.6.2	2ο κριτήριο – Συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή	71
4.2	ΕΛΣΙΝΚΙ, ΦΙΝΛΑΝΔΙΑ	72
4.2.1	Κύμα καύσωνα	72
4.2.1.1	1ο κριτήριο – Δείκτης Θερμότητας	72
4.2.1.2	2ο κριτήριο – Συνεχόμενες ημέρες καύσωνα	76
4.2.2	Ψυχρό κύμα.....	77
4.2.2.1	1ο κριτήριο – Δείκτης Ψύξης Ανέμου	77
4.2.2.2	2ο κριτήριο – Βαθμοημέρες Θέρμανσης	81
4.2.3	Ισχυρή βροχόπτωση	82
4.2.3.1	1ο κριτήριο – Ύψος βροχόπτωσης	82
4.2.3.2	2ο κριτήριο – Περίοδος επαναφοράς.....	84
4.2.4	Καταιγίδα.....	84
4.2.4.1	1ο κριτήριο – Ταυτόχρονη παρουσία βροχής και ανέμου.....	84
4.2.4.2	2ο κριτήριο – Εφαρμογή καταφλίων ύψους βροχόπτωσης στις ημέρες με δυνατό άνεμο ..	85
4.2.5	Πλημμύρα.....	87
4.2.5.1	1ο κριτήριο – Ύψος βροχόπτωσης, απόσταση από σώμα νερού και υψόμετρο	87
4.2.5.2	2ο κριτήριο – Περίοδος επαναφοράς, απόσταση από σώμα νερού και υψόμετρο.....	88
4.2.6	Ξηρασία	88
4.2.6.1	1ο κριτήριο – Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης.....	88
4.2.6.2	2ο κριτήριο – Συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή	90
4.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	91
4.3.1	Υπολογισμός βαρών για την Αθήνα.....	91
4.3.2	Υπολογισμός βαρών για το Ελσίνκι	92
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ	95
5.1	ΤΡΟΠΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	95
5.2	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	96
5.3	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ	97
5.3.1	Περιορισμοί μεθοδολογίας	97
5.3.2	Περιορισμός ιστορικού δεδομένων.....	97
5.3.3	Περιορισμοί πειραματικής επαλήθευσης	97
5.4	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ	98
5.4.1	Προτάσεις σχετικά με τη μεθοδολογία	98
5.4.2	Προτάσεις σχετικά με τα δεδομένα και τις μελλοντικές εκτιμήσεις	98
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	101

Πίνακας εκθεμάτων

Εικόνα 1 - 1η φάση υλοποίησης	18
Εικόνα 2 - 2η φάση υλοποίησης	19
Εικόνα 3 - 3η φάση υλοποίησης	19
Εικόνα 4 - Διάγραμμα ροής 1 ^{ης} φάσης.....	23
Εικόνα 5 – Διάγραμμα ροής 2 ^{ης} φάσης.....	26
Εικόνα 6 - Πίνακας τιμών Δείκτη θερμότητας όπως δημοσιεύτηκε από την Εθνική Υπηρεσία Καιρού των ΗΠΑ με τιμές μετατρεπόμενες σε Celsius	35
Εικόνα 7 - Πιθανότητα θνησιμότητας σε συνάρτηση με τις συνεχόμενες ημέρες θερμότερες των 32°C	36
Εικόνα 8 - Κίνδυνος κρουπαγήματος ανάλογα με την τιμή του WCI	38
Εικόνα 9 - Ενέργεια θέρμανσης ανάλογα με τις HDDs σε διάφορες Ευρωπαϊκές πόλεις.....	39
Εικόνα 10 - Κλιματικές ζώνες Ελλάδας με βάση τις ετήσιες Βαθμοημέρες Θέρμανσης σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ.....	40
Εικόνα 11 - Επίπεδα Βαθμομερών Θέρμανσης για τις χώρες της ΕΕ όπως δημοσιεύτηκε από την επίσημη ιστοσελίδα της ΕΕ, Eurostat.....	41
Εικόνα 12- Ημερήσιες θερμοκρασιακές τιμές για την περίοδο 2020-2022	55
Εικόνα 13 - Ημερήσιες τιμές υγρασίας για την περίοδο 2020-2022	56
Εικόνα 14 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το έτος 2019.....	56
Εικόνα 15 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το έτος 2020.....	57
Εικόνα 16 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το έτος 2021.....	57
Εικόνα 17 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το έτος 2022.....	58
Εικόνα 18 - Βoxplots για τις τιμές του Δείκτη θερμότητας σε κάθε έτος ξεχωριστά.....	58
Εικόνα 19 - Ημερήσιες τιμές ταχύτητας του ανέμου για την περίοδο 2020-2022.....	60
Εικόνα 20 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το έτος 2019.....	60
Εικόνα 21 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το έτος 2020.....	61
Εικόνα 22 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το έτος 2021.....	61
Εικόνα 23 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το έτος 2022.....	62
Εικόνα 24 - Βoxplots για τις τιμές του Δείκτη Ψύξης Ανέμου σε κάθε έτος ξεχωριστά	62
Εικόνα 25 - Μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση για την περίοδο 2020-2022.....	64
Εικόνα 26 - Βoxplots για την ημερήσια βροχόπτωση κάθε έτους.....	64
Εικόνα 27 - Βoxplots για τις τιμές της ταχύτητας του ανέμου για κάθε έτος.....	67
Εικόνα 28 - Βoxplots για τις εναπομείναντες τιμές του Ύψους βροχόπτωσης για κάθε έτος	67
Εικόνα 29 - Τιμές του δείκτη SPI σε συνάρτηση με το χρόνο	70
Εικόνα 30 - Βoxplots για τις τιμές του SPI σε κάθε έτος	70
Εικόνα 31 - Ημερήσιες θερμοκρασιακές τιμές για την περίοδο 2020-2022	73
Εικόνα 32 - Ημερήσιες τιμές υγρασίας για την περίοδο 2020-2022	73
Εικόνα 33 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το 2019.....	74
Εικόνα 34 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το 2020.....	74
Εικόνα 35 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το 2021.....	75
Εικόνα 36 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το 2022.....	75
Εικόνα 37 - Βoxplots για τις τιμές του δείκτη θερμότητας σε κάθε έτος	76
Εικόνα 38 - Ημερήσιες τιμές της ταχύτητας του ανέμου για την περίοδο 2020-2022.....	77
Εικόνα 39 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το 2019.....	78

Εικόνα 40 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το 2020.....	79
Εικόνα 41 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το 2021.....	79
Εικόνα 42 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το 2022.....	80
Εικόνα 43 - Boxplots για τις τιμές του Δείκτη Ψύξης Ανέμου σε κάθε έτος.....	80
Εικόνα 44 - Μέγιστο ημερήσιο Ύψος βροχόπτωσης για την περίοδο 2020-2022.....	82
Εικόνα 45 - Boxplots για τις τιμές του Ύψους βροχόπτωσης κάθε έτους (με τα outliers).....	83
Εικόνα 46 - Boxplots για τις τιμές του Ύψους βροχόπτωσης κάθε έτους (χωρίς τα outliers)	83
Εικόνα 47 - Boxplots για τις τιμές της ταχύτητας του ανέμου σε κάθε έτος.....	86
Εικόνα 48 - Boxplots για τις εναπομείναντες τιμές του Ύψους βροχόπτωσης σε κάθε έτος .	86
Εικόνα 49 - Ημερήσιες τιμές δείκτη SPI σε συνάρτηση με το χρόνο	89
Εικόνα 50 - Boxplots για τις τιμές του SPI σε κάθε έτος	89
Εικόνα 51 - Spidergram για τις τιμές των βαρών για την περιοχή της Αθήνας	92
Εικόνα 52 - Spidergram για τις τιμές των βαρών για την περιοχή της Αθήνας	94

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και Σκοπός

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα φαινόμενο που συζητείται όλο και περισσότερο στις μέρες μας, καθώς η κοινωνία βιώνει καθημερινά φαινόμενα όπως η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και η έλλειψη νερού, τα οποία είναι μερικά μόνο στοιχεία για το ότι το κλίμα μεταβάλλεται. Όπως αναφέρει η επίσημη ιστοσελίδα των Ηνωμένων Εθνών, ο όρος της κλιματικής αλλαγής είναι η μακροχρόνια αλλαγή της μέσης θερμοκρασίας και των καιρικών προτύπων [1] η οποία πριν τον 19^ο αιώνα μπορεί να ήταν αποτέλεσμα φυσικών φαινομένων, όπως για παράδειγμα μία ηφαιστειακή έκρηξη. Όμως, στις μέρες μας ο όρος κλιματική αλλαγή αναφέρεται κυρίως στην αύξηση της θερμοκρασίας εξαιτίας των ανθρώπινων ενεργειών. Συγκεκριμένα, την τελευταία δεκαετία παρατηρείται η υψηλότερη μέση θερμοκρασία ιστορικά, καθώς και η υψηλότερη μέση στάθμη του θαλάσσιου νερού. Είναι χαρακτηριστικό πως η κλιματική αλλαγή βρίσκεται πλέον στο επίκεντρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης θέτοντας ως στόχο την οικοδόμηση μιας ανθεκτικής στην κλιματική αλλαγή κοινωνίας, καταρτισμένη σε επίπεδο μέτρων αντιμετώπισης αλλά και σε επίπεδο γνώσεων σχετικά με τις επιπτώσεις του φαινομένου αυτού [2].

Στην προσπάθεια της αυτή, η Ευρωπαϊκή Ένωση, προτρέπει όλες τις χώρες-μέλη της να ακολουθήσουν ένα πλάνο αναβάθμισης της ανθεκτικότητας τους, όπως αυτό περιγράφεται από τον γενικότερο μακροπρόθεσμο στόχο για κλιματική ουδετερότητα το 2050 [3]. Αυτό περιλαμβάνει πολλά επίπεδα δράσης, όπως τον περιορισμό εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, της κατάρτισης των πολιτών, την υλική αναβάθμιση των ήδη υπάρχοντων κτιρίων και φυσικά την κατασκευή νέων ειδικά σχεδιασμένων ανθεκτικών στο κλίμα κτιρίων. Το αυξημένο κόστος ενίσχυσης του κτιριακού τομέα ως προς τους κλιματικούς κινδύνους καθιστά απαραίτητη την καταγραφή του κτιριακού αποθέματος και τον καθορισμό στοχευμένων δράσεων. Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια από την ΕΕ και από άλλες χώρες, ώστε να δημιουργηθούν μεθοδολογίες και εφαρμογές που θα βοηθούν στην αξιολόγηση της κλιματικής ευπάθειας των κτιρίων και κατά συνέπεια στην αναβάθμιση της κλιματικής ανθεκτικότητας. Απαραίτητο βήμα για την αξιολόγηση της ευπάθειας των κτιρίων είναι πρωτίστως η αξιολόγηση της έκθεσης των κτιρίων στους κλιματικούς κινδύνους.

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρεί την ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας αξιολόγησης της έκθεσης των κτιρίων στην κλιματική αλλαγή βασισμένη σε παρελθοντικά αριθμητικά δεδομένα καιρού. Αυτή η μεθοδολογία θα προκύψει από βιβλιογραφική έρευνα και θα προορίζεται για κτίρια μέσης χρήσης σε αστικό ιστό, δηλαδή σπίτια, γραφεία, υπηρεσίες κ.ά., τα οποία βρίσκονται στις χώρες της Ευρώπης. Επιπρόσθετα, θα είναι ανεξάρτητη με την τοποθεσία, δηλαδή θα υπάρχει η δυνατότητα να εφαρμόζεται σε διαφορετικές πόλεις, χωρίς κάποια διαφοροποίηση στη διαδικασία.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη της μεθοδολογίας που αξιολογεί την έκθεση στην κλιματική αλλαγή, η οποία θα προκύψει από την ανάλυση βιβλιογραφίας για έρευνες αξιολόγησης κινδύνου σχετικές με καιρικά φαινόμενα. Μέσω της βιβλιογραφικής ανάλυσης θα επιλεγούν οι κατάλληλοι δείκτες που θα

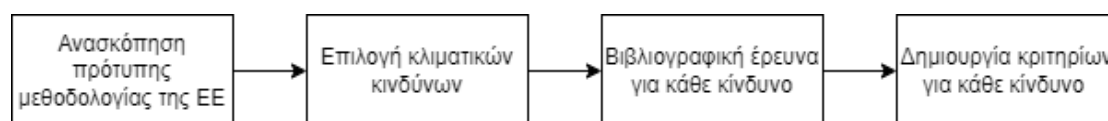
αξιοποιηθούν για την εκτίμηση του κινδύνου με βάση την έκθεση στην κλιματική αλλαγή. Επίσης, θα πραγματοποιηθεί ανάλυση δεδομένων καιρού ώστε να είναι στην απαιτούμενη μορφή για να χρησιμοποιηθούν στην πρακτική εφαρμογή της μεθοδολογίας σε δύο περιοχές με διαφορετικό κλίμα. Οι περιοχές που επιλέχθηκαν για την πρακτική εφαρμογή της μεθοδολογίας είναι η Αθήνα (Ελλάδα) και το Ελσίνκι (Φινλανδία).

1.2 Φάσεις Υλοποίησης

Ο αρχικός προβληματισμός για την υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας ήταν το πώς μέσα από ανάλυση δεδομένων θα προκύψουν αποτελέσματα που θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της έκθεσης στην κλιματική αλλαγή και ως εκ τούτου για την βελτίωση της κλιματικής ανθεκτικότητας. Έπειτα από συζήτηση σε θεωρητικό επίπεδο με τους επιβλέποντες της εργασίας, αποφασίστηκε ότι θα ήταν χρήσιμο να δημιουργηθεί μία μεθοδολογία η οποία να είναι να ανεξάρτητη της τοποθεσίας και των χαρακτηριστικών του κτιρίου. Οι μόνες προϋποθέσεις για αυτές τις παραμέτρους του κτιρίου είναι πώς πάντα η μελέτη θα αφορά ένα μέσο αστικό κτίριο μίας Ευρωπαϊκής πόλης, και όχι κτίρια ειδικής χρήσης όπως για παράδειγμα ένα εργοστάσιο. Ειδικότερα, το μέσο με το οποίο θα μετριέται και θα κρίνεται η τρωτότητα του οικοδομήματος, θα είναι ο καιρός και πιο συγκεκριμένα τα καιρικά δεδομένα. Ένας κύριος λόγος που επιλέχθηκε η ανάλυση καιρικών δεδομένων είναι ότι στις μέρες μας αυτά τα δεδομένα είναι διαθέσιμα δωρεάν για οποιονδήποτε και πολλές φορές τα ίδια τα κράτη τα δημοσιεύουν και τα παρέχουν σε όποιον τα επιθυμεί. Επομένως, σχηματίστηκαν κάποια κριτήρια που ουσιαστικά παράγουν συμπεράσματα για την έκθεση των κτιρίων στην κλιματική αλλαγή και έπειτα εφαρμόστηκαν στις περιοχές μελέτης της έρευνας. Οι φάσεις υλοποίησης παρατίθενται παρακάτω:

1.2.1 1^η Φάση υλοποίησης

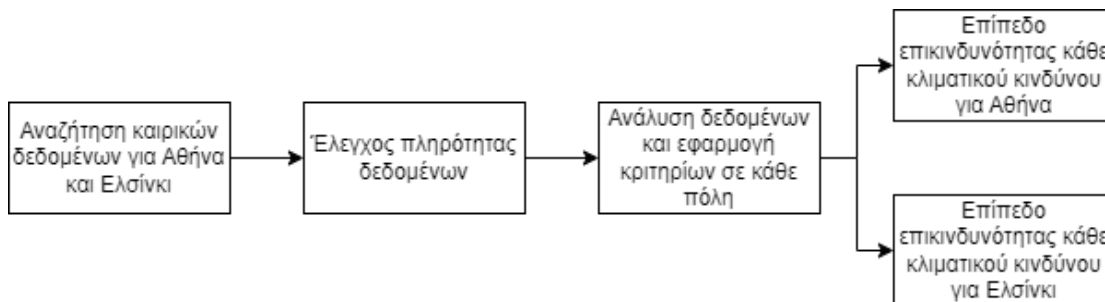
Η πρώτη φάση ξεκινά με την ανασκόπηση του πρότυπου μεθοδολογίας που προτείνει η ΕΕ να ακολουθείται στο οποίο γίνεται ανάλυση κλιματικών κινδύνων. Από τους διαθέσιμους κινδύνους επιλέγονται αυτοί που θα χρησιμοποιηθούν στη μεθοδολογία της διπλωματικής. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται βιβλιογραφική έρευνα, ώστε να αναλυθούν θεωρητικά οι κλιματικοί κίνδυνοι και να επιλεγθούν οι παράμετροι των καιρικών δεδομένων σε συνάρτηση των οποίων εκφράζονται μαθηματικά οι κίνδυνοι. Το τελευταίο μέρος της φάσης αυτής περιλαμβάνει είτε την εύρεση, από υπάρχουσες μεθοδολογίες, είτε την κατασκευή κριτηρίων μέσω της βιβλιογραφίας για τον κάθε κλιματικό κίνδυνο. Συγκεκριμένα, αυτά τα κριτήρια θα τοποθετούν την περιοχή μελέτης μας σε επίπεδα επικινδυνότητας ανά κλιματικό κίνδυνο. Η 1^η φάση φαίνεται σχηματικά στο παρακάτω διάγραμμα ροής:



Εικόνα 1 - 1η φάση υλοποίησης

1.2.2 2^η Φάση υλοποίησης

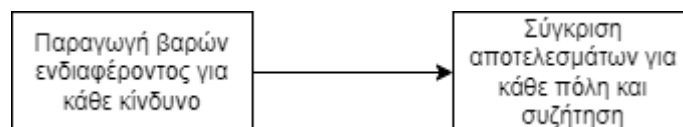
Η επόμενη φάση ουσιαστικά περιλαμβάνει την ανάλυση των καιρικών δεδομένων και εκκινεί με την αναζήτηση των δεδομένων για τις δύο περιοχές μελέτης, την Αθήνα και το Ελσίνκι. Ακολούθως, γίνεται η εισαγωγή τους σε προγραμματιστικό περιβάλλον και ελέγχεται εάν διαθέτουν την πληρότητα που απαιτεί η ανάλυση. Έπειτα, πραγματοποιείται ανάλυση των δεδομένων για κάθε πόλη, ώστε να πάρουν την επιθυμητή μορφή και να εφαρμοστούν τα κριτήρια που αναφέρθηκαν στην πρώτη φάση. Τέλος, από την ανάλυση δεδομένων και την εφαρμογή των κριτηρίων προκύπτει ένα επίπεδο επικινδυνότητας για κάθε κλιματικό κίνδυνο. Η διαδικασία της 2^η φάση απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής:



Εικόνα 2 - 2η φάση υλοποίησης

1.2.3 3^η Φάση υλοποίησης

Η 3^η και τελευταία φάση περιλαμβάνει τη μετατροπή των αποτελεσμάτων της δεύτερης φάσης σε μαθηματικά συμπεράσματα. Συγκεκριμένα, με βάση την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για τα κριτήρια, εξάγονται βάρη ενδιαφέροντος για κάθε κλιματικό κίνδυνο. Τέλος, πραγματοποιείται σύγκριση των αποτελεσμάτων για κάθε πόλη καθώς και συζήτηση για τρόπους αξιοποίησής τους. Η 3^η φάση αποτυπώνεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής:



Εικόνα 3 - 3η φάση υλοποίησης

1.3 Οργάνωση του Τόμου

Το σύγγραμμα οργανώνεται σε επτά κεφάλαια:

- Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή στο αντικείμενο, τον σκοπό, τις περιοχές μελέτης και παρουσιάζουμε τις φάσεις υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε θεωρητικές έννοιες που αφορούν την κλιματική ανθεκτικότητα των κτιρίων και συνοπτική ανάλυση των μεθοδολογιών εκτίμησης της ευπάθειας των κτιρίων, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρουμε σε ποιους κλιματικούς κινδύνους επιλέξαμε να μελετήσουμε την επίδρασή τους στα ενεργειακά συστήματα. Επίσης, αναλύουμε τα κριτήρια που επιλέξαμε για τον κάθε κλιματικό κίνδυνο και τέλος εξηγούμε τις μαθηματικές πράξεις που θα χρησιμοποιήσουμε για να υπολογίσουμε τα βάρη για κάθε κλιματικό κίνδυνο.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο ουσιαστικά γίνεται εφαρμογή των κριτηρίων που αναπτύξαμε στο τρίτο κεφάλαιο, στα δεδομένα για τις δύο περιπτώσεις που μελετάμε, για Αθήνα και Ελσίνκι.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται συζήτηση των αποτελεσμάτων και των τρόπων αξιοποίησής τους. Ακόμη, επισημαίνονται οι περιορισμοί που διαπιστώθηκαν κατά την υλοποίηση και πραγματοποιείται εκτίμηση για τις δυνατότητες μελλοντικής εξέλιξης και επέκτασης της μεθοδολογίας μας.
- Στο έκτο κεφάλαιο περιλαμβάνεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο που χρειάζεται ώστε να γίνουν κατανοητές διάφορες θεωρητικές έννοιες που θα χρησιμοποιούνται αρκετά στη συνέχεια, καθώς και αναλύεται συνοπτικά το πρότυπο μεθοδολογίας εκτίμησης της τρωτότητας των κτιρίων στην κλιματική αλλαγή, όπως αυτό δημοσιεύτηκε από την ΕΕ.

2.1 Όρος κλιματικής ανθεκτικότητας κτιρίων

Η κλιματική ανθεκτικότητα ορίζεται ως η ικανότητα οικονομικών και οικολογικών συστημάτων να αντιμετωπίζουν ένα επικίνδυνο γεγονός, μια τάση ή μια διαταραχή, και να διατηρούν τη βασική τους λειτουργία και δομή [4]. Επομένως, για να θεωρείται ένα κτίριο ανθεκτικό πρέπει να έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί, ώστε να προβλέπει τις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες και να διατηρεί τις εσωτερικές συνθήκες του σταθερές ώστε να διασφαλίζει την άνεση των ανθρώπων που ζουν εκεί [5]. Δηλαδή, τα κτίρια που είναι ανθεκτικά στην κλιματική αλλαγή πρέπει να είναι σε θέση να αντέχουν καθώς και να ανακάμπτουν γρήγορα από διαταραχές που προκαλούνται από αυτές τις κλιματικές συνθήκες. Η διασφάλιση της ανθεκτικότητας στο κλίμα είναι μία συνεχής διαδικασία που διαρκεί όσο διαρκεί η ζωή του κτιρίου και η επίτευξη της κλιματικής ανθεκτικότητας αποτελείται από μια σειρά βελτιωτικών κινήσεων ώστε το κτίριο να μειώσει ή να εξαλείψει έναν κλιματικό κίνδυνο, πάντα σε επίπεδο που επιτρέπουν οι παράπλευροι παράγοντες όπως οι προδιαγραφές του κτιρίου και η οικονομική δυνατότητα για παράδειγμα [6]. Επιπλέον, τα ανθεκτικά κτίρια αυτά θα πρέπει να συμβάλλουν στη μείωση των δυσμενών επιπτώσεων του σημερινού κλίματος, αλλά και στην πρόληψη μελλοντικών δυσμενών κλιματικών φαινομένων, είτε για τα ίδια τα κτίρια είτε για τους κάτοικούς τους, είτε για το φυσικό περιβάλλον γύρω από αυτά [7].

2.2 Αναλύσεις κλίματος και καιρικών συνθηκών

Ο προσδιορισμός των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα κτίρια και στους ανθρώπους απαιτεί κάποιες έννοιες οι οποίες είναι διαδεδομένες και χρησιμοποιούνται στις περισσότερες μελέτες και μεθοδολογίες αυτού του αντικειμένου όπως και στην παρούσα διπλωματική εργασία. Η βασικότερη έννοια είναι η τρωτότητα, η οποία είναι ο βαθμός που ένα σύστημα (κτίρια, άνθρωποι, κ.ά.) είναι ανήμπορο να αντιμετωπίσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής [8]. Προφανώς, οι έννοιες ανθεκτικότητας και τρωτότητας είναι συμπληρωματικές. Το μέγεθος της τρωτότητας σχηματίζεται και επηρεάζεται από άλλα μεγέθη τα οποία μπορούν να χωριστούν σε εσωτερική διάσταση και εξωτερική διάσταση. Η εξωτερική διάσταση της τρωτότητας περιλαμβάνει την έκθεση και τον κίνδυνο. Συγκεκριμένα, η έκθεση στην κλιματική αλλαγή ο βαθμός που εκτίθεται ένα σύστημα σε κλιματικές μεταβολές [8]. Αυτό το σύστημα μπορεί να περιλαμβάνει παρουσία ανθρώπων, μέσων διαβίωσης, ειδών ή οικοσυστημάτων, περιβαλλοντικών λειτουργιών, υπηρεσιών και πόρων, υποδομών ή οικονομικών, κοινωνικών ή πολιτιστικών αγαθών σε μέρη και περιβάλλοντα που θα μπορούσαν να επηρεαστούν αρνητικά από την κλιματική αλλαγή [9]. Κλιματικός κίνδυνος (climate hazard) είναι η πιθανή εμφάνιση ενός γεγονότος ή τάσης που προκαλείται λόγω της κλιματικής αλλαγής και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια ζωής, τραυματισμό ή

άλλες επιπτώσεις στην υγεία, καθώς και ζημιές και απώλειες σε περιουσιακά στοιχεία, υποδομές, μέσα διαβίωσης, παροχή υπηρεσιών, οικοσυστήματα και περιβαλλοντικούς πόρους. Όσον αφορά την εσωτερική διάσταση της τρωτότητας, περιλαμβάνει την ευαισθησία στην κλιματική αλλαγή, δηλαδή τον βαθμό στον οποίο ένα σύστημα ή είδος επηρεάζεται, είτε αρνητικά είτε ευεργετικά, από την κλιματική μεταβλητότητα ή αλλαγή και την προσαρμοστική ικανότητα του συστήματος στις αλλαγές του κλίματος [9].

2.3 Μέθοδοι αξιολόγησης κλιματικής ανθεκτικότητας κτιρίων

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.2, η έννοια της ανθεκτικότητας και της τρωτότητας συνδέονται. Ουσιαστικά, η αξιολόγηση της κλιματικής ανθεκτικότητας ενός κτιρίου προϋποθέτει την εκτίμηση των πιθανών ζημιών που θα έχει ένα κτίριο από την κλιματική αλλαγή, δηλαδή την εκτίμηση της τρωτότητας ενός κτιρίου σχετικά με την μεταβολή του κλίματος. Η δημιουργία και η παγίωση μίας μεθοδολογίας εκτίμησης κλιματικής τρωτότητας και κινδύνου (Climate vulnerability and risk assessments - CVRAs), είναι ένα ζήτημα το οποίο απασχολεί τα τελευταία χρόνια την Ευρωπαϊκή Ένωση και έχει δημοσιεύσει μία τέτοια μεθοδολογία προσαρμοσμένη για κτίρια και κτιριακά συγκροτήματα [7]. Η μεθοδολογία αυτή είναι ανασκόπηση υπαρχουσών μεθοδολογιών και αποτελεί οδηγό για τη στρατηγική που θα ακολουθήσουν τα κράτη της ΕΕ με στόχο τη βελτίωση της κλιματικής ανθεκτικότητας. Αποτελείται από δύο φάσεις συν μία προκαταρκτική φάση προελέγχου, οι οποίες αναλύονται ακολούθως.

2.3.1 Φάση προελέγχου

Σε αυτή τη φάση επιλέγονται οι κλιματικοί κίνδυνοι οι οποίοι απειλούν το κτίριο και μπορεί να προκαλέσουν ζημιές σε αυτό και σε όποιον το χρησιμοποιεί. Οι κλιματικοί κίνδυνοι από τους οποίους, απειλούνται οι κτιριακές εγκαταστάσεις έχουν οριστεί επίσημα από την ΕΕ [10] και έχουν κατηγοριοποιηθεί όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 1 – Κλιματικοί κίνδυνοι σε κατηγορίες σύμφωνα με την ΕΕ [10]

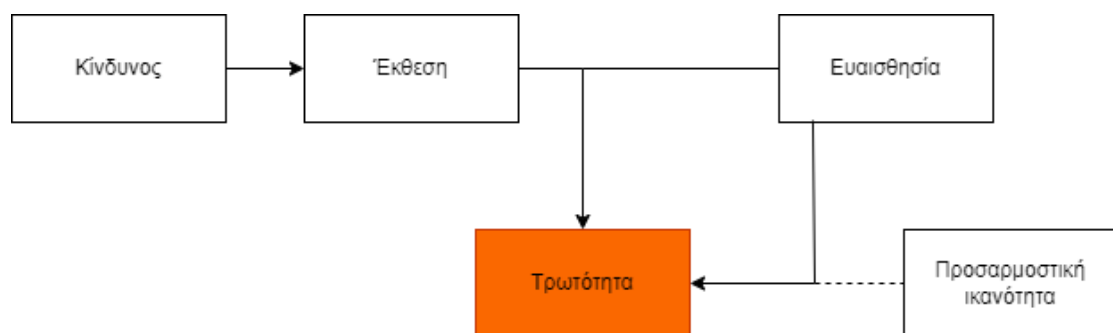
Κίνδυνοι	Σχετικοί με θερμοκρασία	Σχετικοί με άνεμο	Σχετικοί με νερό	Σχετικοί με στερεά μάζα
Χρόνιοι	Μεταβαλλόμενη θερμοκρασία (αέρας, γλυκό και θαλάσσιο νερό)	Μεταβαλλόμενα πρότυπα ανέμων	Μεταβαλλόμενα πρότυπα και τύποι βροχοπτώσεων (βροχή, χαλάζι, χιόνι/πάγος)	Παράκτια διάβρωση
	Θερμική καταπόνηση		Απόψυξη του μόνιμου πάγου	Υποβάθμιση του εδάφους
	Μεταβλητότητα της θερμοκρασίας		Όξυνση των ωκεανών	Διάβρωση του εδάφους
	Απόψυξη του μόνιμου πάγου		Διείσδυση αλατούχων ουσιών	Στερεοροή
			Άνοδος της στάθμης της θάλασσας	
			Καταπόνηση νερού	
Οξείς	Κύμα καύσωνα	Κυκλώνας, τυφώνας	Ξηρασία	Χιονοστιβάδα

	Ψυχρό κύμα	Καταιγίδα	Ισχυρές βροχοπτώσεις	Κατολίσθηση
	Πυρκαγιά	Ανεμοστρόβιλος	Πλημμύρες	Καθίζηση
			Έκρηξη παγετώδους λίμνης	

Από τους κινδύνους του πίνακα, οι κίνδυνοι που έχουν επισημανθεί με κίτρινο χρώμα έχουν χαρακτηριστεί από την ΕΕ ως κίνδυνοι υψηλής προτεραιότητας, καθώς είναι αυτοί που επηρεάζουν τα κτίρια σε μεγαλύτερο βαθμό. Από αυτούς τους έξι κινδύνους, το κύμα καύσωνα, η καταιγίδα, η ξηρασία, οι ισχυρές βροχοπτώσεις και οι πλημμύρες είναι κίνδυνοι οι οποίοι μπορούν να εκφραστούν από καιρικά δεδομένα. Αντιθέτως, ο κίνδυνος της καθίζησης απαιτεί ειδική μελέτη του εδάφους που δεν μπορεί να αποτυπωθεί σε κλιματικά δεδομένα και για αυτό τον λόγο δε θα χρησιμοποιηθεί η καθίζηση στην ανάλυση της παρούσας διπλωματικής. Από τους υπόλοιπους κλιματικούς κινδύνους του πίνακα θα χρησιμοποιηθεί το ψυχρό κύμα, το οποίο είναι ανήκει στους οξείς κινδύνους, όπως οι υπόλοιποι που επιλέχθηκαν, και σχετίζεται με τη θερμοκρασία, με αποτέλεσμα να μπορεί να μελετηθεί μέσω κλιματικών δεδομένων. Επιπρόσθετα, η αντιμετώπιση των ψυχρών κυμάτων έχει αρκετά σημεία με την αντιμετώπιση των κυμάτων καύσωνα, και εφόσον σχετίζονται με τη θερμοκρασία είναι σημαντική η μελέτη τους στην εποχή της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

2.3.2 1^η φάση

Η πρώτη φάση, ονομάζεται φάση διαλογής (screening) και περιλαμβάνει τη διαδικασία μέσα από την οποία προκύπτει η τρωτότητα του κτιρίου. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.2, η τρωτότητα μπορεί να αναλυθεί σε εξωτερική διάσταση, η οποία περιλαμβάνει τον κίνδυνο και την έκθεση, και σε εσωτερική διάσταση η οποία περιλαμβάνει την ευαισθησία και την προσαρμοστική ικανότητα. Το παρακάτω διάγραμμα ροής παρουσιάζει το πώς συνδέονται αυτές οι έννοιες μεταξύ τους:



Εικόνα 4 - Διάγραμμα ροής 1^{ης} φάσης

Ουσιαστικά, όπως φαίνεται, η τρωτότητα αποτελεί προϊόν της έκθεσης και της ευαισθησίας. Επομένως, η μεθοδολογία αρχικά απαιτεί τις διαδικασίες που ονομάζονται ανάλυση έκθεσης και ανάλυση ευαισθησίας, οι οποίες αναλύονται ακολούθως.

2.3.2.1 Ανάλυση έκθεσης (Exposure Analysis)

Αφού έχει γίνει η επιλογή των κλιματικών κινδύνων που απειλούν το κτίριο, στη φάση του προελέγχου, ακολουθεί ανάλυση έκθεσης για του κτιρίου στο κλίμα.

Συγκεκριμένα, δημιουργείται μία κλίμακα που χαρακτηρίζει την ποσότητα της έκθεσης, η οποία φαίνεται ακολούθως:

Πίνακας 2 - Επίπεδα κινδύνου

Ποσότητα	Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ υψηλή
Χρώμα					

Στη συνέχεια, κάθε ένας από τους κλιματικούς κινδύνους που επιλέχθηκαν, κατατάσσεται σε μία από τις παραπάνω κατηγορίες της παραπάνω κλίμακας με βάση το πόσο εκτίθεται στις κλιματικές συνθήκες. Οι κλιματικές συνθήκες αυτές αφορούν το παρόν, όμως στόχος είναι να γίνεται και εκτίμηση για τα επίπεδα έκθεσης και για μελλοντικές συνθήκες, σύμφωνα με ενδεχόμενες τάσεις που ακολουθούν οι παρούσες συνθήκες. Επιπλέον, γίνεται ανάλυση έκθεσης και για τις ακραίες τιμές, καθώς για κάποιες περιοχές της Ευρώπης μπορεί να αποτελούν ζήτημα, όπως για παράδειγμα οι πολύ υψηλές τιμές της θερμοκρασίας το καλοκαίρι στις Μεσογειακές χώρες. Άρα, η ανάλυση έκθεσης καταλήγει σε ένα πίνακα της μορφής του παρακάτω παραδείγματος:

Πίνακας 3 - Ανάλυση Έκθεσης

Ανάλυση έκθεσης						
Κλιματικοί κίνδυνοι						
	Κύμα καύσωνα	Ψυχρό κύμα	Ισχυρή βροχόπτωση	Καταιγίδα	Πλημμύρα	Ξηρασία
Παρόν κλίμα						
Μελλοντικό κλίμα						
Ακραίες τιμές						

2.3.2.2 Ανάλυση ευαισθησίας (Sensitivity analysis)

Αντίστοιχα με την ανάλυση έκθεσης, για την ανάλυση ευαισθησίας, ουσιαστικά μελετάται το πόσο επηρεάζεται θετικά ή αρνητικά ένα κτίριο, από τον καθένα από τους κλιματικούς κινδύνους που επιλέχθηκαν ότι αφορούν το κτίριο στην ανάλυση τρωτότητας. Στην ανάλυση αυτή είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί ο τόπος και ο τύπος του κτιρίου, δηλαδή αν πρόκειται για μία πολυκατοικία μέσα στην πόλη ή μια μονοκατοικία στην εξοχή για παράδειγμα, καθώς και την χρήση του κτιρίου, το οποίο μπορεί να προορίζεται για σπίτι, για εργασιακό χώρο, ακόμα και για διαμονή ευπαθών ομάδων (π.χ. νοσοκομείο, οίκος ευγηρίας). Επομένως, εξετάζονται τα δομικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και οι απαιτήσεις που υπάρχουν από αυτούς που το χρησιμοποιούν. Ακόμη, τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευαισθησίας επηρεάζονται και από την προσαρμοστική ικανότητα, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα ροής. Συνεπώς, εξετάζεται η ικανότητα του κτιρίου, των ανθρώπων που το χρησιμοποιούν και των συστημάτων που υπάρχουν μέσα ή γύρω από αυτό να προσαρμόζονται σε πιθανές ζημιές λόγω της κλιματικής αλλαγής, όπως και οι δυνατότητες βελτίωσης όσον αφορά την ανταπόκριση στην κλιματική αλλαγή. Αυτό εξαρτάται από τους περιορισμούς που υπάρχουν, οι οποίοι μπορεί να είναι πολεοδομικοί, οικονομικοί, νομοθετικοί,

πολιτιστικοί κ.ά. Συνοψίζοντας, η ανάλυση ευαισθησίας καταλήγει σε ένα πίνακα της μορφής του παρακάτω παραδείγματος:

Πίνακας 4 - Ανάλυση Ευαισθησίας

Ανάλυση ευαισθησίας						
Κλιματικοί κίνδυνοι						
	Κύμα καύσωνα	Ψυχρό κύμα	Ισχυρή βροχόπτωση	Καταιγίδα	Πλημμύρα	Ξηρασία
Ευαισθησία κτιρίου στον κίνδυνο						

Όπου τα χρώματα αντιστοιχούν στην κλίμακα ποσότητας που εξηγήθηκε στην ανάλυση έκθεσης.

2.3.2.3 Ανάλυση ευπάθειας (Vulnerability analysis)

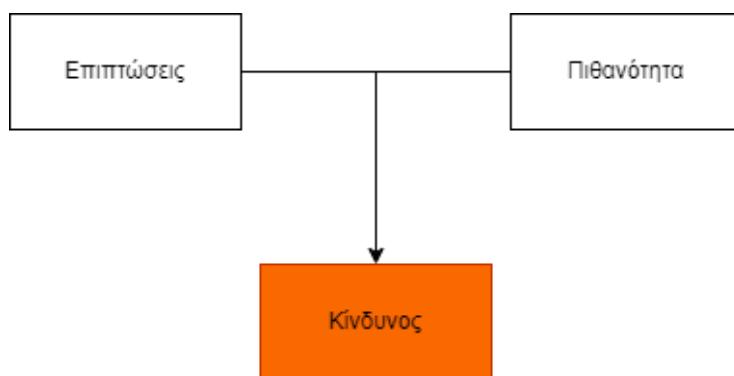
Σύμφωνα με την έρευνα της ΕΕ και τις υπάρχουσες μεθοδολογίες, η ευπάθεια προσδιορίζεται ως το προϊόν της ανάλυσης έκθεσης καθώς και της ανάλυσης ευαισθησίας. Δηλαδή, το αποτέλεσμα για την ανάλυση τρωτότητας αποτελεί συνδυασμό των δύο παραπάνω αναλύσεων. Αυτό επιτυγχάνεται στο μοτίβο των δύο αυτών αναλύσεων, όπου κάθε κλιματικός κίνδυνος κατατάσσεται σε μία κατηγορία που εκφράζει την ποσότητα. Για να επιλεγεί το επίπεδο τρωτότητας κάθε κινδύνου λοιπόν, χρησιμοποιείται ένας πίνακας της ακόλουθης μορφής:

Πίνακας 5 - Ανάλυση Τρωτότητας

Ανάλυση τρωτότητας						
Έκθεση κτιρίου στον κίνδυνο						
Ευαισθησία του κτιρίου στον κλιματικό κίνδυνο		Πολύ χαμηλή	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Πολύ υψηλή
	Πολύ υψηλή					
	Υψηλή					
	Μέτρια					
	Χαμηλή					
	Πολύ χαμηλή					

2.3.3 2^η φάση

Στη δεύτερη φάση αναλύεται το αποτέλεσμα της πρώτης φάσης, ώστε να προκύψει αποτέλεσμα που θα αποτελεί εκτίμηση κινδύνου. Ο τρόπος που υπολογίζεται εκτιμώμενος κίνδυνος απεικονίζεται στο ακόλουθο διάγραμμα ροής, σύμφωνα με τη δημοσίευση της ΕΕ [7] :



Εικόνα 5 – Διάγραμμα ροής 2^{ης} φάσης

Επομένως, για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση κινδύνου προϋποθέτει ανάλυση επιπτώσεων και ανάλυση πιθανότητας, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

2.3.3.1 Ανάλυση επιπτώσεων (Impact analysis)

Με βάση την ανάλυση τρωτότητας που πραγματοποιήθηκε στην φάση 1, εξετάζονται οι πιθανές επιπτώσεις που μπορεί να προκύψουν από τους κλιματικούς κινδύνους. Αυτές οι επιπτώσεις μπορεί να είναι υλικές ζημιές στο κτίριο, επιπτώσεις στην υγεία των χρηστών του κτιρίου καθώς και ζημιές σε οικονομικό, πολιτιστικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Η αξιολόγηση των επιπτώσεων γίνεται με μία κλίμακα 5 επιπέδων, τα οποία χαρακτηρίζουν το μέγεθος των επιπτώσεων σχετικά με τις ενδεχόμενες βλάβες στην υγεία και το μέγεθος των οικονομικών ζημιών στο κτίριο. Τα επίπεδα των επιπτώσεων φαίνονται αναλυτικά στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 6 - Ανάλυση Επιπτώσεων

Ανάλυση επιπτώσεων		
Επίπεδο επιπτώσεων	Ασφάλεια και υγεία	Οικονομικές επιπτώσεις
Πολύ υψηλό	Πολλαπλοί θάνατοι	>10% της αξίας του κτιρίου
Υψηλό	Πολλαπλοί μακροχρόνιοι τραυματισμοί	8-10% της αξίας του κτιρίου
Μέτριο	Μακροχρόνιος τραυματισμός ή ασθένεια, παρατεταμένη νοσηλεία ή αδυναμία εργασίας	4-8% της αξίας του κτιρίου
Χαμηλό	Τραυματισμός ή απαιτούμενη ιατρική περίθαλψη, βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις στα θιγόμενα άτομα	1-3% της αξίας του κτιρίου
Πολύ χαμηλό	Μικρή βλάβη ή παρ' ολίγον ατύχημα	<1% της αξίας του κτιρίου

2.3.3.2 Ανάλυση πιθανότητας (Likelihood analysis)

Στο συγκεκριμένο κομμάτι της ανάλυσης πραγματοποιείται μία εκτίμηση για το πόσο πιθανό είναι να εμφανιστούν οι επιπτώσεις που προαναφέρθηκαν. Αυτή η πιθανότητα εκτιμάται σε σχέση με τη διάρκεια ζωής του κτιρίου. Δηλαδή, αν οι επιπτώσεις δεν

αναμένεται να εμφανιστούν στη διάρκεια ζωής του κτιρίου, αν αναμένεται να εμφανιστούν περιορισμένες φορές και αν αναμένεται να εμφανιστούν αρκετές φορές. Για την κατηγοριοποίηση της πιθανότητας εμφάνισης, χρησιμοποιούνται τα 3 επίπεδα που εξηγούνται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7 - Ανάλυση Πιθανότητας

Ανάλυση πιθανότητας		
Επίπεδο πιθανότητας		
Απίθανο	Πιθανό (τόσο πιθανό όσο και όχι πιθανό)	Πιθανότατο
Οι κλιματικές επιπτώσεις δεν αναμένεται να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια της ζωής του κτιρίου	Η κλιματικές επιπτώσεις μπορεί να εμφανιστούν περιορισμένες φορές κατά τη διάρκεια της ζωής του κτιρίου	Η κλιματικές επιπτώσεις μπορεί να εμφανιστούν αρκετές φορές κατά τη διάρκεια της ζωής του κτιρίου

2.3.3.3 Εκτίμηση κινδύνου (Risk assessment)

Η τελική εκτίμηση κινδύνου θα πρέπει να αποτελεί έναν συνδυασμό της ανάλυσης επιπτώσεων και της ανάλυσης πιθανοτήτων. Αυτός ο συνδυασμός, αποτυπώνεται στον παρακάτω πίνακα, όπου φαίνεται πώς προκύπτουν τα επίπεδα κινδύνου. Τα επίπεδα αυτά είναι 3, χαμηλός κίνδυνος, μέτριος κίνδυνος και υψηλός κίνδυνος.

Πίνακας 8 - Εκτίμηση Κινδύνου

Εκτίμηση κινδύνου			
Επίπεδο επιπτώσεων	Επίπεδο πιθανότητας		
	Απίθανο	Πιθανό	Πιθανότατο
Πολύ υψηλό	Μέτριος	Υψηλός	Υψηλός
Υψηλό	Μέτριος	Υψηλός	Υψηλός
Μέτριο	Χαμηλός	Μέτριος	Υψηλός
Χαμηλό	Χαμηλός	Χαμηλός	Μέτριος
Πολύ χαμηλό	Χαμηλός	Χαμηλός	Μέτριος

Η μεθοδολογία εκτίμησης κλιματικής τρωτότητας και κινδύνου που αναλύθηκε παραπάνω είναι ένας οδηγός, ο οποίος προέκυψε από μελέτη και συνιστάται από την ΕΕ. Επίσης, μπορεί να τροποποιηθεί και να βελτιωθεί από οποιονδήποτε ερευνητή ή από κάποια χώρα η οποία επιθυμεί να την εφαρμόσει σε ένα σχέδιο για τη βελτίωση της κλιματικής ανθεκτικότητας. Σε κάθε περίπτωση, μετά το στάδιο της συγκεκριμένης μεθοδολογίας, χρειάζεται παρακολούθηση, καθώς μπορεί να υπάρχουν δευτερεύοντες κλιματικοί κίνδυνοι για τους οποίους δεν παρέχονται αρκετά δεδομένα για να εφαρμοστεί η παραπάνω ανάλυση. Επίσης, χρειάζεται τακτική αξιολόγηση των επιλογών που έγιναν για τους κλιματικούς κινδύνους και τα επίπεδα, ώστε να υπάρχει σιγουριά και βελτίωση, σχετικά με την αξιοπιστία της μεθοδολογίας

3 Ανάλυση έκθεσης σε κλιματικούς κινδύνους

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκε ο ορισμός του κλιματικού κινδύνου και όπως φάνηκε και από την ανασκόπηση της υπάρχουσας μεθοδολογίας, οι κλιματικοί κίνδυνοι χρησιμοποιούνται στην ανάλυση τρωτότητας των κτιρίων στην κλιματική αλλαγή. Σε αυτό κεφάλαιο αναλύονται οι κλιματικοί κίνδυνοι που επιλέχθηκαν για τη μελέτη της παρούσας διπλωματικής, καθώς και το πώς αναπτύσσεται η μεθοδολογία για τον κάθε κίνδυνο ξεχωριστά και ύστερα για το τελικό αποτέλεσμα. Οι κίνδυνοι που επιλέχθηκαν όπως εξηγήθηκε στη φάση του προελέγχου της ενότητας 2.3 είναι το κύμα καύσωνα, το ψυχρό κύμα,

3.1 Κλιματικοί κίνδυνοι

3.1.1 Κύμα καύσωνα

Τα κύματα καύσωνα ορίζονται ως μια παρατεταμένη περίοδος ασυνήθιστα ζεστού καιρού, η οποία διαρκεί από μερικές ημέρες έως μερικές εβδομάδες. Ένας ευρέως γνωστός ορισμός αναφέρει ότι καύσωνα θεωρείται όταν οι μέγιστες θερμοκρασίες μπορούν να υπερβούν τη μέση θερμοκρασία των ετών 1961-1990 κατά 5°C ή περισσότερο για τουλάχιστον πέντε συνεχόμενες ημέρες [11], [12]. Όμως, υπάρχουν πάρα πολλοί ακόμα διαφορετικοί ορισμοί των κυμάτων καύσωνα και ιδιαίτερα προσαρμοσμένοι στην κάθε περιοχή, καθώς είναι ένα φαινόμενο που έχει άμεση σχέση με την τοποθεσία που παρουσιάζεται.

Από το 1950 και μετά, έχει παρατηρηθεί αύξηση στη συχνότητα των κυμάτων καύσωνα, αρχικά στην Ευρώπη, την Ασία και την Αυστραλία, αλλά και πλέον σε όλη την υφήλιο. Αυτό το παγκόσμιο φαινόμενο με τις περισσότερες θερμές ημέρες και νύχτες και αντίστοιχα, τη μείωση των ψυχρών περιόδων, σηματοδοτεί μια αλλαγή στα κλιματικά πρότυπα που ήταν παγιωμένα μέχρι τα προηγούμενα χρόνια. Ως αποτέλεσμα, να υπάρχει επιτακτική ανάγκη για προσαρμογή στα νέα κλιματικά δεδομένα και μετριαστικές αντιδράσεις στις επιπτώσεις τους [11]

Οι επιπτώσεις των κυμάτων καύσωνα υπερβαίνουν κατά πολύ τα μετεωρολογικά φαινόμενα, επηρεάζοντας σημαντικά την ανθρώπινη υγεία και την κοινωνικοοικονομική δομή των κοινοτήτων. Η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών, αναγνωρίζει τα κύματα καύσωνα ως την κύρια αιτία θανάτων που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες στις Ηνωμένες Πολιτείες [13]. Στην Ελλάδα ο καύσωνας του καλοκαιριού του έτους 2007, στον οποίο έχασαν τη ζωή τους 18 άτομα από θερμοπληξία, αποτελεί μία σύγχρονη επιβεβαίωση για το πόσο βλαβερός μπορεί να είναι για το ανθρώπινο σώμα [11].

Επιπρόσθετα, για πολλά χρόνια η στρατηγική της Ευρωπαϊκής Ένωσης κάνει ξεκάθαρο ότι τα κύματα καυσώνων αποτελούν μια σημαντική παγκόσμια πρόκληση με αξιοσημείωτες επιπτώσεις στις πόλεις της Ευρώπης. Συγκεκριμένα, οι αστικές περιοχές εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι ιδιαίτερα ευάλωτες λόγω του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, το οποίο οξύνεται από περιβαλλοντικούς και ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως η ρύπανση από τα καυσαέρια και οι πυκνές δομές των κτιρίων, ενισχύοντας έτσι τη θερμότητα που βιώνουν οι πόλεις [14].

Οι άμεσες επιπτώσεις των κυμάτων καύσωνα στον κτιριακό τομέα είναι οι ζημιές που προκαλούν στα οικοδομικά υλικά, όπως η έντονη διαστολή στο σκυρόδεμα τις χαλύβιδινες κατασκευές και τα κουφώματα που περιέχουν τζάμι. Ακόμη, η εκτεταμένη έκθεση στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία σε περιόδους καύσωνα μπορεί να προκαλέσει αλλοιώσεις στα εξωτερικά στρώματα των δομικών υλικών, μειώνοντας την ανθεκτικότητα και την απόδοσή τους [12]. Αυτό πέρα από την επιταχυνόμενη γήρανση και ανάγκη για συντήρηση των κτιρίων, μειώνει τις μονωτικές ικανότητες των εγκαταστάσεων. Κατά επέκταση συνδέεται άμεσα με την παρατηρούμενη οικονομική επιβάρυνση λόγω της υψηλής χρήσης των ενεργειακών συστημάτων, ώστε να καλυφθεί η αυξημένη ανάγκη κλιματισμού. Έτσι, η συνεχής χρήση των συστημάτων ψύξης μπορεί να προκαλέσει φθορές και διακοπές ρεύματος, επιδεινώνοντας τις τα ηλεκτρολογικά συστήματα των αστικών περιοχών σε περιόδους καύσωνα [14].

Η επιλογή του κλιματικού κινδύνου των κυμάτων καύσωνα για την ανάλυση της έκθεσης των κτιρίων στην κλιματική αλλαγή είναι αδιαπραγμάτευτη, διότι η συχνότητα που παρατηρείται και η αρνητικές επιπτώσεις που προκαλεί είναι συνεχώς μεγαλύτερες. Επομένως, είναι προφανής η ανάγκη για ανάπτυξη στρατηγικών που συμπεριλαμβάνουν τον αστικό σχεδιασμό, τον κτιριακό σχεδιασμό και τη δημόσια υγεία και ασφάλεια, με στόχο την ενίσχυση της ανθεκτικότητας στα κύματα καύσωνα και την ελαχιστοποίηση των φθορών τους στον τομέα των εγκαταστάσεων [11], [13], [14].

3.1.2 Ψυχρό κύμα

Ο κλιματικός κίνδυνος των ψυχρών κυμάτων, παρόλο που δεν είναι τόσο πολυσυζητημένο όσο τα κύματα καύσωνα και η υπερθέρμανση του πλανήτη, παραμένει ένα κλιματικό φαινόμενο με σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, το περιβάλλον και τις υποδομές. Επιπρόσθετα, παρά τη μείωση των ψυχρών ημερών κατά τη διάρκεια του έτους, τα ψυχρά κύματα εξακολουθούν να απασχολούν τα κράτη, ιδίως στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη, όπου εντείνονται λόγω των μεταβολών των ατμοσφαιρικών και ωκεάνιων ρευμάτων εξαιτίας της ανόδου της θερμοκρασίας του πλανήτη [15], [16].

Αντίστοιχα με τα κύματα καύσωνα, τα ψυχρά κύματα ορίζονται ως μια παρατεταμένη περίοδος ασυνήθιστα κρύου καιρού, η οποία διαρκεί από μερικές ημέρες έως μερικές εβδομάδες. Εκφράζεται ως μία αξιοσημείωτη πτώση στις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες για πάνω από 2 ημέρες [16]. Όμως, υπάρχουν πάρα πολλοί ακόμα διαφορετικοί ορισμοί των κυμάτων καύσωνα και ιδιαίτερα προσαρμοσμένοι στην κάθε περιοχή, καθώς είναι ένα φαινόμενο που έχει άμεση σχέση με την τοποθεσία που παρουσιάζεται.

Τα ψυχρά κύματα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία. Μάλιστα, αρκετές μελέτες υποστηρίζουν ότι απειλούν τον ανθρώπινο οργανισμό με μεγαλύτερους κινδύνους από τους αντίστοιχους που προκαλεί η έντονη [16]. Ιδιαίτερα στις μεγαλύτερες ηλικίες που αυξάνεται ο αριθμός των ατόμων που ανήκουν σε ευπαθείς ομάδες, παρατηρούνται αυξημένα περιστατικά καρδιαγγειακής και αναπνευστικής θνησιμότητας, τα οποία αυξάνονται με τη μείωση των θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια των χειμερινών περιόδων και των ψυχρών κυμάτων [16], [17].

Οι αρνητικές επιπτώσεις των ψυχρών κυμάτων στον τομέα των υποδομών μπορούν να είναι ιδιαίτερα επιζήμιες. Συγκεκριμένα, προκαλούν βλάβες στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μειώνουν την παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου και να προκαλέσουν βλάβες σε ηλεκτρολογικά και υδραυλικά συστήματα εξαιτίας της συσσώρευσης πάγου και χιονιού, καθώς και της πήξης του νερού [18]. Για παράδειγμα, το κύμα ψύχους του 1998 στον Καναδά και τις Ηνωμένες Πολιτείες, προκάλεσε απώλεια ρεύματος και θέρμανσης σε περισσότερους από 4 εκατομμύρια ανθρώπους, αναδεικνύοντας την ευπάθεια των ενεργειακών υποδομών σε τέτοια ακραία καιρικά φαινόμενα [18]. Επιπλέον, το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, το οποίο συχνά συγχέεται με τους καύσωνες, επηρεάζει τα κτίρια και κατά τη διάρκεια των ψυχρών κυμάτων. Αυτό συμβαίνει διότι η αλλοίωση των δομικών υλικών στις αστικές περιοχές, μειώνει την μόνωση και την ανθεκτικότητα των κτιρίων στο ψύχος. Επιπρόσθετα, η εξασθένηση της ανθεκτικότητας που προαναφέραμε, σε επιβαρύνει περισσότερο τις ήδη υψηλές απαιτήσεις θέρμανσης, σε περιόδους χαμηλών θερμοκρασιών [17].

Ο κλιματικός κίνδυνος των ψυχρών κυμάτων παραμένει ένα σοβαρό ζήτημα ενόψει της συνεχής υπερθέρμανσης του πλανήτη και δεν πρέπει να υποτιμηθεί. Αντίθετα, κύματα απαιτεί ειδική προσέγγιση στον αστικό σχεδιασμό, το σχεδιασμό κτιρίων και την πολιτική δημόσιας υγείας. Επίσης, είναι αλληλένδετο πρόβλημα με τα κύματα καύσωνα, καθώς και οι δύο αυτοί κλιματικοί κίνδυνοι αποτελούν φαινόμενα συνεχόμενων ακραίων θερμοκρασιών.

3.1.3 Ισχυρή βροχόπτωση

Οι ισχυρές βροχοπτώσεις ορίζονται ως καιρικά φαινόμενα στα οποία μεγάλες ποσότητες βροχής πέφτουν σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και συχνά συνοδεύονται από καταιγίδες. Επομένως, οι έντονες βροχοπτώσεις μπορούν να οδηγήσουν σε γρήγορη αύξηση της στάθμης των υδάτων, με αποτέλεσμα την πρόκληση υποχώρησης εδάφους και πλημμυρών. Το φαινόμενο επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η τοπογραφία, η σύσταση του εδάφους και η πυκνότητα των κτιρίων, οι οποίοι διαμορφώνουν τη δυνατότητα εκροής του νερού. Σε αντίθεση με τις πλημμύρες από υπερχειλίση ποταμών, οι οποίες συνήθως προκαλούνται από παρατεταμένες βροχοπτώσεις, οι έντονες βροχοπτώσεις μπορούν να εμφανιστούν οποτεδήποτε και συχνά με μικρή προειδοποίηση, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την πρόβλεψη και αντιμετώπισή τους [19].

Οι άμεσες επιπτώσεις των ισχυρών βροχοπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία είναι διάφορα ατυχήματα που έχουν συμβεί την ώρα της βροχής, όπως υποχώρηση σκεπών, ατυχήματα με μεταφορικά μέσα και κατολισθήσεις. Έμμεσα, ο ανθρώπινος οργανισμός μπορεί να προσβληθεί κυρίως από τα μολυσμένα νερά από τις πλημμύρες, που μπορούν να μεταδώσουν περιστατικά υδατογενών λοιμώξεων και ασθενειών. Επίσης, το ψυχολογικό στρες από την εμπειρία της βροχόπτωσης και την αποκατάσταση από τις πλημμύρες μπορεί να οδηγήσει σε μακροπρόθεσμα προβλήματα άγχους, καθώς τα περιστατικά αυτά είναι απρόβλεπτα [19], [20].

Στον τομέα των υποδομών, οι έντονες βροχοπτώσεις δημιουργούν σημαντικά προβλήματα, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές, όπου η πυκνότητα των κτιρίων μπορεί να επιδεινώσει την ισχύ των αιφνίδιων πλημμυρών. Οι σύγχρονες αστικές περιοχές

κινδυνεύουν εξαιτίας των αδιαπέραστων δομικών υλικών, όπως το σκυρόδεμα και η άσφαλτος, οι οποίες δεν απορροφούν και δεν αποστραγγίζουν το νερό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εντείνονται οι πλημμύρες, και να επιβαρύνονται τα θεμέλια των κτιρίων. Οι φθορές από το μεγάλο όγκο νερού μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο τη δομική ακεραιότητα των κτιρίων, καθώς δημιουργούν συνθήκες ανάπτυξης μούχλας και υγρασίας, οι οποίες απαιτούν δαπανηρές επισκευές και ανακαινίσεις. Όλες αυτές οι ζημιές που αναφέρθηκαν, μπορούν να καταλήξουν σε κλείσιμο σπιτιών και επιχειρήσεων για μια περίοδο, αλλά και οικονομικής επιβάρυνσης της πολιτείας[19], [20], [21].

Τέλος, αναμένεται αύξηση των ισχυρών βροχοπτώσεων λόγω της κλιματικής αλλαγής και σε συνδυασμό με την έλλειψη βλάστησης στις πόλεις και της ανόδου της θερμοκρασίας, οι αστικές περιοχές είναι αρκετά εκτεθειμένες σε αυτόν τον κλιματικό κίνδυνο. Επομένως, οι έντονες βροχοπτώσεις πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στις αναλύσεις για την ενίσχυση της κλιματικής ανθεκτικότητας.

3.1.4 Καταιγίδα

Ως καταιγίδα ορίζεται μια αισθητή διαταραχή στην ατμόσφαιρα, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει αρκετά διαφορετικά καιρικά φαινόμενα, όπως ισχυρούς ανέμους, χιονοθύελλες, ανεμοστρόβιλους, κυκλώνες, τυφώνες, ακόμη και αμμοθύελλες. Ο κοινός παρονομαστής αυτών των φαινομένων είναι ο δυνατός άνεμος και σε συνδυασμό με την ύπαρξη βροχής, αστραπών, χαλαζιού, χιονιού και σκόνης, συνθέτουν διάφορα είδη καταιγίδων. Η ταξινόμηση μιας καταιγίδας με γνώμονα την επικινδυνότητά της, εξαρτάται από παράγοντες όπως η ταχύτητα του ανέμου, η τοποθεσία, η θερμοκρασία και διάφορα άλλα καιρικά δεδομένα ανάλογα με το είδος του φαινομένου. Οι καταιγίδες μπορούν να εμφανιστούν σε παράκτιες περιοχές, καθώς και σε περιοχές της ενδοχώρας, με διαφορετικά χαρακτηριστικά, αλλά με κοινό την δυσκολία πρόβλεψης. Είναι ξαφνικά περιστατικά υψηλής έντασης, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη τη διαχείρισή τους [10], [22].

Οι επιπτώσεις των καταιγίδων στην υγεία μπορεί να έχουν άμεσο αντίκτυπο ή να προκαλούν μακροχρόνια προβλήματα. Συγκεκριμένα, οι άμεσοι κίνδυνοι των καταιγίδων είναι οι πιθανοί τραυματισμοί, που μπορεί να είναι και θανάσιμοι, εξαιτίας των ιπτάμενων αντικειμένων λόγω του δυνατού ανέμου, όπως και της κατάρρευσης κτιρίων κατά τη διάρκεια ακραίων φαινομένων καταιγίδων, όπως οι τυφώνες και οι ανεμοστρόβιλοι. Όπως και οι έντονες βροχοπτώσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως, έτσι και οι καταιγίδες μπορούν να προκαλέσουν πλημμύρες, άρα ελλοχεύει ο κίνδυνος των ασθενειών που μεταδίδονται με το νερό, των αναπνευστικών λοιμώξεων από μούχλα[23].

Ένα ακραίο καιρικό φαινόμενο όπως η καταιγίδα μπορεί να κλονίσει σοβαρά τη δομική ακεραιότητα των κτιρίων και των υποδομών, προκαλώντας σοβαρές ζημιές, όπως το να αποκολληθούν στέγες ή υπόστεγα λόγω του ανέμου, να σπάσουν παράθυρα και να πέσουν δέντρα [10], [24]. Επίσης, οι πλημμύρες που δημιουργούνται από τις καταιγίδες προκαλούν τις ζημιές από το νερό που αναφέραμε και στον κίνδυνο της έντονης βροχόπτωσης, καθώς και τον κίνδυνο επιπλέον καταστροφών από τα αντικείμενα που έχουν αποκολληθεί λόγω της καταιγίδας και παρασύρονται από το νερό [25]. Ακόμη, η κλιματική αλλαγή έχει αυξήσει την ισχύ και την επικινδυνότητα των καταιγίδων.

Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των αυξημένων ανέμων, των έντονων βροχοπτώσεων και της αύξησης της στάθμης του νερού. Έτσι, ένα είδος καταιγίδας που έχει παρατηρηθεί πως μεγαλώνει η επικινδυνότητά του, είναι οι παράκτιες καταιγίδες, καθώς υπάρχει το φαινόμενο της διόγκωσης των κυμάτων. Οι παράκτιες περιοχές κινδυνεύουν κατά συνέπεια και από τη διάβρωση των κτιρίων και των θεμελίων τους από τα ισχυρά κύματα σε περιόδους καταιγίδας [26].

3.1.5 Πλημμύρα

Οι πλημμύρες ορίζονται ως εξαιρετικά υψηλές ροές ή στάθμες υδάτινων σωμάτων (ποταμών, θαλασσών, καναλιών) που ξεχειλίζουν και κατακλύζουν εδάφη εκτός των ορίων των υδάτινων αυτών σωμάτων. Τα συχνότερα φαινόμενα πλημμυρών συμβαίνουν από υπερχειλίση ποταμών και προέρχονται κυρίως από την έντονη βροχόπτωση και από άλλους παράγοντες όπως η συσσώρευση αντικειμένων εντός της κοίτης του ποταμού ή η υποχώρηση των τοιχωμάτων τους. Επίσης, η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης και κάποια έντονα κύματα ή παλίρροιες έχουν ως αποτέλεσμα το να πλημμυρίζουν παράκτιες περιοχές [27], [28]. Ακόμη, συχνά είναι και τα φαινόμενα πλημμυρών που δημιουργούνται από τη δυσλειτουργία των συστημάτων αποστράγγιξης. Αυτές οι περιπτώσεις επιβαρύνονται από την έντονη αστική ανάπτυξη, διότι υπάρχουν πολλές αδιαπέραστες επιφάνειες και οι πολεοδομικός σχεδιασμός είναι ανεπαρκής για την απορρόφηση των υδάτων, οδηγώντας σε συχνότερες και σοβαρότερες πλημμύρες [29].

Τα συμβάντα πλημμυρών λογίζονται ως άκρως καταστροφικά, σε οικονομικό πλαίσιο, με τις υλικοτεχνικές φθορές που προκαλούν, αλλά και σε ανθρώπινο επίπεδο, καθώς απειλούν την ανθρώπινη υγεία [28]. Όπως αναφέρθηκε και στις ενότητες των ακραίων βροχοπτώσεων και των καταιγίδων, το αντίκτυπο των πλημμυρών στην υγεία μπορεί να περιλαμβάνει από άμεσους φυσικούς κινδύνους, όπως πνιγμός και τραυματισμοί από συντρίμια, έως έμμεσους κινδύνους, δηλαδή μακροπρόθεσμα ψυχολογικά προβλήματα λόγω του βιώματος μιας ξαφνικής φυσικής καταστροφής και σωματικά προβλήματα λόγω της έκθεσης σε μολυσμένα νερά από κτίρια που έχουν υποστεί ζημιές [30].

Στο πλαίσιο των κτιριακών εγκαταστάσεων, τα ύδατα των πλημμυρών βλάπτουν τμήματα των κτιρίων ανάλογα με το ύψος στο οποίο βρίσκεται το κάθε τμήμα σε σχέση με το νερό. Οι χαμηλότεροι όροφοι, δηλαδή υπόγεια, ημιυπόγεια και ισόγεια, δέχονται τη μεγαλύτερη απειλή, επειδή υφίστανται καταστροφές στα ηλεκτρικά συστήματα και στα θεμέλια των κτιρίων, αφού ο όγκος και η πίεση του νερού είναι μεγαλύτερα. Τα υψηλότερα επίπεδα έχουν και αυτά φθορές, επηρεασμένα από την υγρασία και τις ζημιές σε τοίχους και σε θεμέλια, τα οποία ξεκινούν από τα χαμηλότερα επίπεδα και απειλούν τη στατική του κτιρίου, απαιτώντας ιδιαίτερα κοστοβόρες ενέργειες αποκατάστασης [31]. Επίσης, εκτός από δομικές ζημιές, συμβαίνουν και ζημιές σε πόρτες, παράθυρα, πατώματα, έπιπλα και διάφορα αντικείμενα στο εσωτερικό των κτιρίων. Είναι προφανές ότι οι προσεγγίσεις για το σχεδιασμό κτιρίων σε περιοχές που παρατηρούνται συχνά πλημμύρες εστιάζουν στην επιλογή δομικών υλικών που είναι ανθεκτικά στο νερό και βοηθούν στην αποστράγγισή του σε ενδεχόμενο πλημμύρας. Όμως, με τη μαζική αστική ανάπτυξη πολλές φορές τα αντιπλημμυρικά αυτά μέτρα αμελούνται [32].

Η αποτροπή και η πρόβλεψη μιας πλημμύρας είναι σχεδόν αδύνατες, εξ αιτίας της ξαφνικότητας του φαινομένου αυτού. Άρα, είναι σημαντικό να μελετώνται οι περιοχές, ως προς την ανθεκτικότητά τους στις πλημμύρες, ιδιαίτερα αυτές οι οποίες είναι επιρρεπείς και να παρθούν μέτρα για την αναβάθμιση της ανθεκτικότητας, όπως και για την ετοιμότητα της πολιτείας για την αντιμετώπισή των συγκεκριμένων απρόβλεπτων φαινομένων [28].

3.1.6 Ξηρασία

Η ξηρασία είναι μια παρατεταμένη περίοδος κατά τη διάρκεια της οποίας σε μια περιοχή διαπιστώνεται έλλειψη στην παροχή νερού, είτε πρόκειται για ατμοσφαιρικό, είτε για επιφανειακό, είτε για υπόγειο νερό [33]. Μια περίοδος ξηρασίας θεωρείται ότι μπορεί να διαρκέσει από 15 ημέρες έως και μήνες ή χρόνια. ότι μήνες ή χρόνια, και είναι ένα επαναλαμβανόμενο χαρακτηριστικό του κλίματος που παρατηρείται σχεδόν σε όλες τις κλιματικές ζώνες [34]. Οι ξηρασίες μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις τύπους:

- Μετεωρολογικές, οι οποίες σχετίζονται με μειωμένες βροχοπτώσεις.
- Γεωργικές, που επηρεάζουν την υγρασία του εδάφους και τις καλλιέργειες.
- Υδρολογικές, που επηρεάζουν τα επίπεδα νερού σε ρέματα και σε λίμνες (τεχνητές και φυσικές).

Η σοβαρότητα και η επικινδυνότητα της ξηρασίας διαφέρει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και με τις συνήθειες και απαιτήσεις για χρήση του νερού [33]. Μια περίοδος ξηρασίας μπορεί να επηρεάσει την υγεία, άμεσα αλλά και μακροχρόνια. Οι άμεσες επιπτώσεις είναι η πιθανή αφυδάτωση και η πιθανή θερμοπληξία, που προκαλούνται λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών και της έλλειψης νερού. Η μακροχρόνια έκθεση σε συνθήκες ξηρασίας μπορεί να επιδεινώσει την υγεία ατόμων με αναπνευστικά προβλήματα, καθώς ευνοεί τις συνθήκες σκόνης. Επιπρόσθετα, οι ξηρασίες μπορούν να οδηγήσουν σε ελλείψεις τροφίμων, καθώς η γεωργία και η κτηνοτροφία κλονίζονται, με αποτέλεσμα να επηρεάσουν τη σωστή διατροφή των ανθρώπων, ειδικά σε περιοχές που στηρίζονται σε αυτά τα προϊόντα και σε επίπεδο κατανάλωσης και σε επίπεδο οικονομίας [35], [36].

Οι συνθήκες ξηρασίας απειλούν σοβαρά την ακεραιότητα των υποδομών και την ασφάλεια των κτιρίων. Μία από τις σημαντικότερες επιπτώσεις τους είναι η καθίζηση του εδάφους εξ αιτίας της ξηρασίας, όπου η μειωμένη υγρασία προκαλεί συρρίκνωση του εδάφους, η οποία ενδεχομένως προκαλεί προβλήματα στα θεμέλια των κτιρίων και ζημιές σε δρόμους και άλλες κατασκευές [37]. Οι ζημιές που προκαλεί αυτή η καθίζηση αυξάνουν επίσης την ευπάθεια των κατασκευών σε μελλοντικές περιόδους ξηρασίας και άλλων φυσικών καταστροφών. Επομένως, είναι σημαντικό για τις κατασκευές και τις μελέτες σε περιοχές με ιστορικό ξηρασιών να λαμβάνεται υπόψη η παράμετρος αυτών των φαινομένων ώστε να εξασφαλισθεί η μακροπρόθεσμη ανθεκτικότητα των κτιρίων, αλλά και επίσης να γίνεται και η απαραίτητη συντήρηση και ο έλεγχος του εδάφους μετά από περιόδους ξηρασίας [38].

3.2 Formulas

Σε αυτήν την ενότητα θα αναλυθεί το πώς αναπτύχθηκε η μεθοδολογία για τον καθένα από τους κλιματικούς κινδύνους που επιλέχθηκαν και αναλύθηκαν παραπάνω. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.3 για την ανάλυση έκθεσης στην κλιματική αλλαγή, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες εκτίθεται ένα κτίριο, προκύπτει ένα επίπεδο επικινδυνότητας. Έτσι, εφόσον για την ανάλυση της παρούσας διπλωματικής, η έκθεση στις κλιματικές συνθήκες εκφράζεται μέσω των κλιματικών κινδύνων, ουσιαστικά σε αυτή την ενότητα εξηγείται πώς προκύπτει το επίπεδο επικινδυνότητας ανάλογα με την έκθεση στον κάθε κίνδυνο ξεχωριστά.

Σε πρώτη φάση, θα προσδιοριστεί το πώς θα εκφράζεται ο κλιματικός κίνδυνος από καιρικά δεδομένα. Συγκεκριμένα, ένας κλιματικός κίνδυνος, θα εκφράζεται από μία ή περισσότερες μεταβλητές, οι οποίες θα είναι μεταβλητές που θα εκφράζουν κάποιο καιρικό δεδομένο (π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, πίεση κ.ά.) ή θα είναι μεγέθη που θα προκύπτουν συναρτήσει κάποιου καιρικού δεδομένου. Έπειτα, με βάση τις τιμές αυτών μεταβλητών, θα αποφαινεται το επίπεδο επικινδυνότητας έκθεσης στον κλιματικό κίνδυνο. Αυτό θα γίνει μέσω κατώφλιων που θα επιλεγθούν και θα αιτιολογηθούν ακολούθως και θα αποτελούν ένα κριτήριο απόφασης έκθεσης στον κλιματικό κίνδυνο. Τα συγκεκριμένα κατώφλια επιλέγονται με κύριους άξονες, τον άνθρωπο και το κτίριο. Δηλαδή, τις επιπτώσεις που έχει ο κάθε κλιματικός κίνδυνος στην υγεία, την άνεση και την ευεξία του ανθρώπου, και αντίστοιχα για τις επιπτώσεις του κλιματικού κινδύνου στο κτίριο και στην λειτουργία των ηλεκτρολογικών και ενεργειακών συστημάτων του κτιρίου.

Τέλος, για τον κάθε κλιματικό κίνδυνο θα αναπτυχθούν δύο κριτήρια, ώστε να είναι πιο αξιόπιστη η ανάλυση που πραγματοποιείται. Τα επίπεδα επικινδυνότητας για μία μεταβλητή απόφασης X θα έχουν τη μορφή που φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 9 - Μορφή επιπέδων επικινδυνότητας

Επίπεδο επικινδυνότητας	Τιμή μεταβλητής X
Εκτός Κινδύνου	$X < \text{Κατώφλι 1}$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$\text{Κατώφλι 1} < X < \text{Κατώφλι 2}$
Χαμηλός Κίνδυνος	$\text{Κατώφλι 2} < X < \text{Κατώφλι 3}$
Μέτριος Κίνδυνος	$\text{Κατώφλι 3} < X < \text{Κατώφλι 4}$
Υψηλός Κίνδυνος	$\text{Κατώφλι 4} < X < \text{Κατώφλι 5}$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$X > \text{Κατώφλι 5}$

Αντίστοιχα, μπορεί να υπάρχουν πάνω από μια μεταβλητές απόφασης. Η τιμή της μεταβλητής από την οποία θα κρίνεται η απόφασή μας για την κάθε περίπτωση, θα αναλυθεί στη συνέχεια που επεξηγείται το κάθε κριτήριο.

3.2.1 Κύμα κάσωνα

3.2.1.1 1ο κριτήριο – Δείκτης Θερμότητας

Για το πρώτο κριτήριο των κυμάτων καύσωνα επιλέχθηκε ως μεταβλητή απόφασης, ο δείκτης θερμότητας (Heat Index). Ο δείκτης θερμότητας ορίζεται ως ο τρόπος με τον οποίο αντιλαμβάνεται τη θερμότητα ο άνθρωπος σε συνάρτηση με την υγρασία και τη

θερμοκρασία του αέρα [39]. Ο τύπος από τον οποίο προκύπτει η τιμή του δείκτη θερμότητας είναι ο ακόλουθος:

Εξίσωση 1 - Τύπος υπολογισμού Δείκτη Θερμότητας[40]

$$HI = -8.784695 + 1.61139411 * T + 2.338549 * R - 0.14611605 * T * R - 1.2308094 * 10^{-2} * T^2 - 1.6424828 * 10^{-2} * R^2 + 2.211732 * 10^{-3} * T^2 * R + 7.2546 * 10^{-4} * T * R^2 - 3.582 * 10^{-6} * T^2 * R^2$$

Όπου,

- HI: Δείκτης Θερμότητας, με μονάδα μέτρησης τους βαθμούς Κελσίου (°C)
- T: Θερμοκρασία, με μονάδα μέτρησης τους βαθμούς Κελσίου (°C)
- R: Σχετική υγρασία (Relative Humidity), που παίρνει τιμές από 0 έως 100

Για την επιλογή των κατωφλίων χρησιμοποιείται μια έρευνα των Yi-Chuan Lu και David M. Romps [41] στην οποία ο δείκτης διευρύνεται ώστε να ορίζεται για όλους τους συνδυασμούς θερμοκρασίας και υγρασίας, καθώς

Τα επίπεδα κινδύνου για τις τιμές του Δείκτη θερμότητας σύμφωνα με την Εθνική Υπηρεσία Καιρού των ΗΠΑ[42] παρατίθενται ακολούθως:

- Όταν $HI < 26$, δεν διατρέχεται κίνδυνος.
- Όταν $26 \leq HI < 32.2$, η εκτεταμένη έκθεση σε συνθήκες τέτοιων τιμών μπορεί να προκαλέσει κόπωση.
- Όταν $32.2 \leq HI < 39.4$, υπάρχει αυξημένη πιθανότητα κόπωσης και εμφάνισης μυϊκών κραμπών.
- Όταν $39.4 \leq HI < 51,6$, υπάρχει κίνδυνος πιθανής ηλίασης και εμφανίζεται αυξημένη σωματική κόπωση, δυσφορία και μυϊκές κράμπες.
- Όταν $HI \geq 51,6$, ο κίνδυνος είναι ακραίος και μπορεί να οδηγήσει σε θερμοπληξία.

Σε μια έρευνα για την περιοχή της θάλασσας του Μαρμαρά, κοντά στην Κωνσταντινούπολη, το ανώτατο κατώφλι για το επίπεδο του ακραίου κινδύνου είναι οι 54 βαθμοί Κελσίου. Γενικότερα, τα κατώφλια χρησιμοποιούνται διαφορετικά από έρευνα σε έρευνα. Ο πίνακας τιμών του Δείκτη θερμότητας, όπως χωρίστηκε χρωματικά σε επίπεδα από την Εθνική Υπηρεσία Καιρού των ΗΠΑ[42] φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:

	26,67	27,78	28,89	30	31,11	32,22	33,33	34,44	35,56	36,67	37,78	38,89	40	41,11	42,22	43,33
40	26,67	27,22	28,33	29,44	31,11	32,78	34,44	36,11	38,33	40,56	42,78	45,56	48,33	51,11	54,44	57,78
45	26,67	27,78	28,89	30,56	31,67	33,89	35,56	37,78	40	42,78	45,56	48,33	51,11	54,44	58,33	
50	27,22	28,33	29,44	31,11	32,78	35	37,22	39,44	42,22	45	47,78	51,11	55	58,33		
55	27,22	28,89	30	31,67	33,89	36,11	38,33	41,11	44,44	47,22	51,11	54,44	58,33			
60	27,78	28,89	31,11	32,78	35	37,78	40,56	43,33	46,67	50,56	53,89	58,33				
65	27,78	29,44	31,67	33,89	36,67	39,44	42,22	45,56	49,44	53,33	57,78					
70	28,33	30	32,22	35	37,78	40,56	44,44	48,33	52,22	56,67						
75	28,89	31,11	33,33	36,11	39,44	42,78	46,67	51,11	55,56							
80	28,89	31,67	34,44	37,78	41,11	45	49,44	53,89								
85	29,44	32,22	35,56	38,89	43,33	47,22	52,22	57,22								
90	30	32,78	36,67	40,56	45	50	55									
95	30	33,89	37,78	42,22	47,22	52,78										
100	30,56	35	39,44	44,44	49,44	55,56										

Εικόνα 6 - Πίνακας τιμών Δείκτη θερμότητας όπως δημοσιεύτηκε από την Εθνική Υπηρεσία Καιρού των ΗΠΑ [42] με τιμές μετατρεπόμενες σε Celsius

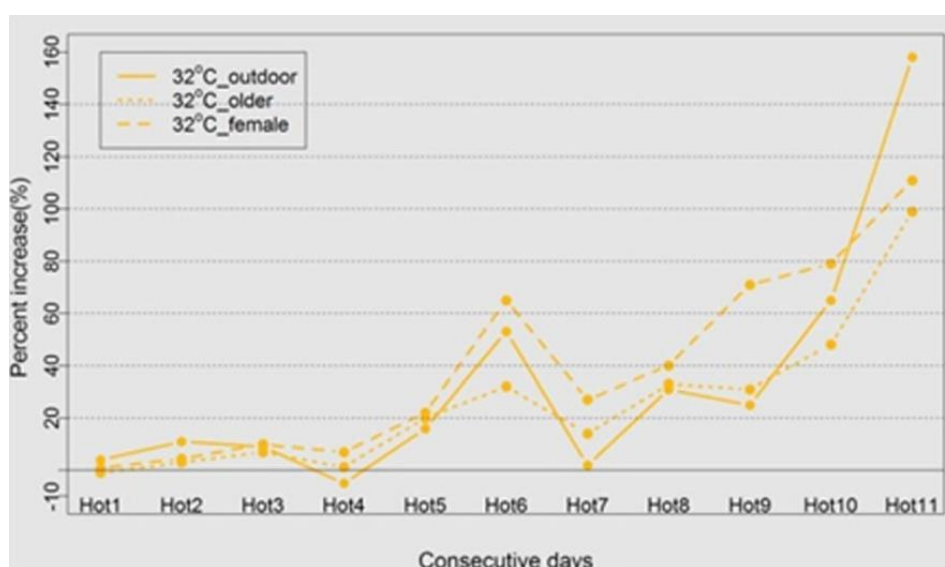
Τα πρώτα 4 κατώφλια θα χρησιμοποιηθούν όπως αναλύθηκαν στις παραπάνω σφαίρες και για το ανώτερο κατώφλι θα χρησιμοποιηθεί η τιμή 54. Το 4^ο κατώφλι ουσιαστικά χωρίζει τα επίπεδα μέτριου και υψηλού κινδύνου σε δύο ίσα διαστήματα. Εφόσον οι τιμές αυτές βρίσκονται στα πλαίσια του παραπάνω πίνακα επιπέδων, τα επίπεδα επικινδυνότητας που επιλέχτηκαν για αυτό το κριτήριο είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 10 - Επίπεδα κινδύνου για τις τιμές του Δείκτη Θερμότητας

Επίπεδο επικινδυνότητας	Τιμή Δείκτη Θερμότητας (HI)
Εκτός Κινδύνου	$HI \leq 26$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$26 \leq HI < 32.2$
Χαμηλός Κίνδυνος	$32.2 \leq HI < 39.4$
Μέτριος Κίνδυνος	$39.4 \leq HI < 46.7$
Υψηλός Κίνδυνος	$46.7 \leq HI < 54$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$HI \geq 54$

3.2.1.2 2ο κριτήριο – Συνεχόμενες ημέρες καύσωνα

Το δεύτερο κριτήριο για τον συγκεκριμένο κλιματικό κίνδυνο βασίζεται στη διάρκεια του κύματος καύσωνα, θέλοντας να υπάρχει μία πιο σφαιρική προσέγγιση εφόσον το πρώτο κριτήριο αφορούσε στιγμιαίες τιμές. Δηλαδή, η μεταβλητή απόφασης που επιλέχθηκε είναι οι συνεχόμενες ημέρες καύσωνα. Για να ορίσουμε μία ημέρα καύσωνα, χρησιμοποιείται μία θερμοκρασία κατώφλι και όταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι υψηλότερη από αυτό το κατώφλι, τότε η μέρα θεωρείται ημέρα καύσωνα. Η θερμοκρασία πάνω από την οποία θεωρείται ότι υπάρχει φαινόμενο καύσωνα, δεν ορίζεται με τον ίδιο τρόπο σε όλες τις έρευνες. Για το παρόν κριτήριο έχει επιλεγεί το κατώφλι των 32 °C, όπως ορίζει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας και επισημαίνεται από τους Qian Yin και Jinfeng Wang, από την έρευνα των οποίων βασίζεται η επιλογή των επιπέδων επικινδυνότητας, που θα αναλυθούν παρακάτω[43]. Στην παρακάτω φωτογραφία παρουσιάζεται ένα γράφημα από αυτήν έρευνα, το οποίο δείχνει την αύξηση στην πιθανότητα θνησιμότητας από καρδιαγγειακά νοσήματα σε σχέση με τις συνεχόμενες ημέρες καύσωνα.



Εικόνα 7 - Πιθανότητα θνησιμότητας σε συνάρτηση με τις συνεχόμενες ημέρες θερμότερες των 32°C [43]

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα, προκύπτουν τα επίπεδα επικινδυνότητας, με επιλεγμένα κατώφλια τα σημεία όπου παρατηρείται μεγάλος ρυθμός αύξησης του ποσοστού αύξησης της θνησιμότητας.

Πίνακας 11- Επίπεδα κινδύνου για τον αριθμό των Συνεχόμενων ημερών καύσιωνα

Επίπεδο επικινδυνότητας	Συνεχόμενες ημέρες καύσιωνα (Streak)
Εκτός Κινδύνου	$\text{Streak} \leq 1$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$1 < \text{Streak} \leq 4$
Χαμηλός Κίνδυνος	$4 < \text{Streak} \leq 7$
Μέτριος Κίνδυνος	$7 < \text{Streak} \leq 9$
Υψηλός Κίνδυνος	$9 < \text{Streak} \leq 10$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$\text{Streak} > 10$

3.2.2 Ψυχρό κύμα

3.2.2.1 1ο κριτήριο – Δείκτης Ψύξης Ανέμου

Για το πρώτο κριτήριο των ψυχρών κυμάτων, θα χρησιμοποιηθεί ως μεταβλητή απόφασης ο δείκτης ψύξης ανέμου (Wind Chill Index). Ο συγκεκριμένος δείκτης αρχικά προέκυψε από ένα πείραμα των Siple και Passel που δημοσιεύτηκε το 1945, οι οποίοι παρατήρησαν τη συμπεριφορά του νερού όταν εκτίθεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και ανέμους στην Ανταρκτική. Από τη δημοσίευση και έπειτα ο δείκτης αμφισβητήθηκε από αρκετούς επιστήμονες και θεωρήθηκε αναποτελεσματικός, όμως αποδείχτηκε χρήσιμος και πηγή έμπνευσης για νέες μελέτες ώστε να βελτιωθεί. Έτσι, από το Νοέμβριο του 2001 οι ΗΠΑ και ο Καναδάς χρησιμοποιούν τη νέα βελτιωμένη εκδοχή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου [44], η οποία εκφράζεται και υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω τύπο:

Εξίσωση 2 - Τύπος υπολογισμού Δείκτη Ψύξης Ανέμου

$$WCI = 13.12 + 0.6125 * T - 11.37 * V^{0.16} + 0.3965 * T * V^{0.16}$$

Όπου,

- WCI: Δείκτης Ψύξης Ανέμου, με μονάδα μέτρησης τους βαθμούς Κελσίου (°C)
- T: Θερμοκρασία, με μονάδα μέτρησης τους βαθμούς Κελσίου (°C)
- V: Ταχύτητα ανέμου, με μονάδα μέτρησης μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/s)

Στην επίσημη ιστοσελίδα της Κυβέρνησης του Καναδά, έχουν δημοσιευτεί τα επίπεδα επικινδυνότητας, όσον αφορά το πώς σχετίζεται η τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου με τις πιθανές επιπτώσεις του κρύου καιρού στον ανθρώπινο οργανισμό.

Τα κατώφλια για τις τιμές του Δείκτη Ψύξης Ανέμου είναι τα παρακάτω:

- Όταν $0 \geq WCI > -10$, δεν διατρέχεται κίνδυνος, ελαφριά αίσθηση δυσφορίας.
- Όταν $-10 \geq WCI > -28$,αίσθηση δυσφορίας, η εκτεταμένη έκθεση μπορεί να οδηγήσει σε κίνδυνο κρυοπαγήματος ή υποθερμίας.
- Όταν $-28 \geq WCI > -40$, υπάρχει υψηλός κίνδυνος για κρυοπάγημα και υποθερμία σε περίπτωση εκτεταμένης έκθεσης στο κρύο.
- Όταν $-40 \geq WCI > -48$, υπάρχει πολύ υψηλός κίνδυνος για κρυοπάγημα και υποθερμία σε περίπτωση εκτεταμένης έκθεσης στο κρύο.

- Όταν $-48 \geq WCI > -55$ υπάρχει σοβαρός κίνδυνος για κρυοπάγημα και υποθερμία σε περίπτωση εκτεταμένης έκθεσης στο κρύο.
- Όταν $WCI \geq 55$, ο κίνδυνος είναι ακραίος, οι συνθήκες σε εξωτερικό χώρο είναι ακατάλληλες.

Πιο αναλυτικά, στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές του Δείκτη Ψύξης Ανέμου, χρωματισμένες και χωρισμένες σε 4 κλάσεις κινδύνου για κρυοπάγημα, όπως αυτές έχουν δημοσιευτεί από την Εθνική Υπηρεσία Καιρού των ΗΠΑ[45]. Από αριστερά προς τα δεξιά οι κλάσεις είναι αντίστοιχα: εκτός κινδύνου, κρυοπάγημα σε μισή ώρα, κρυοπάγημα σε 10 λεπτά και κρυοπάγημα σε 5 λεπτά.

	4,4	1,7	-1,1	-3,9	-6,7	-9,4	-12,2	-15	-17,8	-20,6	-23,3	-26,1	-28,9	-31,7	-34,4	-37,2	-40	-42,8
2,2	4,9	2	-1	-3,9	-6,9	-9,9	-12,8	-15,8	-18,7	-21,7	-24,6	-27,6	-30,5	-33,5	-36,4	-39,4	-42,3	-45,3
4,5	3,6	0,5	-2,6	-5,7	-8,8	-11,9	-15	-18,1	-21,2	-24,3	-27,4	-30,5	-33,6	-36,7	-39,8	-42,9	-46	-49,1
6,7	2,8	-0,4	-3,6	-6,8	-10	-13,2	-16,4	-19,5	-22,7	-25,9	-29,1	-32,3	-35,5	-38,7	-41,9	-45,1	-48,3	-51,5
8,9	2,2	-1,1	-4,3	-7,6	-10,9	-14,1	-17,4	-20,7	-23,9	-27,2	-30,4	-33,7	-37	-40,2	-43,5	-46,8	-50	-53,3
11,2	1,7	-1,6	-4,9	-8,3	-11,6	-14,9	-18,2	-21,5	-24,9	-28,2	-31,5	-34,8	-38,2	-41,5	-44,8	-48,1	-51,4	-54,8
13,4	1,3	-2,1	-5,5	-8,8	-12,2	-15,6	-18,9	-22,3	-25,7	-29	-32,4	-35,8	-39,2	-42,5	-45,9	-49,3	-52,6	-56
15,6	0,9	-2,5	-5,9	-9,3	-12,7	-16,1	-19,5	-23	-26,4	-29,8	-33,2	-36,6	-40	-43,4	-46,8	-50,3	-53,7	-57,1
17,9	0,6	-2,8	-6,3	-9,7	-13,2	-16,6	-20,1	-23,5	-27	-30,4	-33,9	-37,3	-40,8	-44,2	-47,7	-51,1	-54,6	-58
20,1	0,3	-3,2	-6,7	-10,1	-13,6	-17,1	-20,6	-24,1	-27,5	-31	-34,5	-38	-41,5	-45	-48,4	-51,9	-55,4	-58,9
22,4	0	-3,5	-7	-10,5	-14	-17,5	-21	-24,5	-28	-31,6	-35,1	-38,6	-42,1	-45,6	-49,1	-52,6	-56,1	-59,7
24,6	-0,2	-3,7	-7,3	-10,8	-14,4	-17,9	-21,4	-25	-28,5	-32,1	-35,6	-39,1	-42,7	-46,2	-49,8	-53,3	-56,8	-60,4
26,8	-0,4	-4	-7,6	-11,1	-14,7	-18,2	-21,8	-25,4	-28,9	-32,5	-36,1	-39,6	-43,2	-46,8	-50,3	-53,9	-57,5	-61

Εικόνα 8 - Κίνδυνος κρυοπαγήματος ανάλογα με την τιμή του WCI [45]

Η αριστερή στήλη και η πάνω σειρά είναι η ταχύτητα του ανέμου σε m/s και η θερμοκρασία σε °C αντίστοιχα. Είναι η μετατρεπόμενες τιμές από τις διαφορετικές μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ.

Επομένως, θα χρησιμοποιηθούν τα επίπεδα επικινδυνότητας που προαναφέρθηκαν για το πρώτο κριτήριο των ψυχρών κυμάτων, που είναι τα εξής:

Πίνακας 12 - Επίπεδα κινδύνου για τον δείκτη ψύξης ανέμου

Επίπεδο επικινδυνότητας	Τιμή Δείκτη Ψύξης Ανέμου (WCI)
Εκτός Κινδύνου	$WCI > -10$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$-10 \geq WCI > -28$
Χαμηλός Κίνδυνος	$-28 \geq WCI > -40$
Μέτριος Κίνδυνος	$-40 \geq WCI > -48$
Υψηλός Κίνδυνος	$-48 \geq WCI > -55$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$WCI \leq -55$

3.2.2.2 2ο κριτήριο – Βαθμομημέρες Θέρμανσης

Σε αυτό το κριτήριο το μέγεθος που θα χρησιμοποιηθεί ως μεταβλητή απόφασης είναι οι βαθμομημέρες θέρμανσης (Heating Degree Days). Οι βαθμομημέρες θέρμανσης είναι ένα μέτρο που εκφράζει τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου για τη θέρμανσή του σε περιόδους χαμηλής θερμοκρασίας. Για τον υπολογισμό τους χρειάζονται η ημερήσια θερμοκρασία του αέρα και μία θερμοκρασία βάσης. Συνήθως, υπολογίζονται οι συνολικές βαθμομημέρες θέρμανσης μιας περιόδου (μήνας, χρόνος), ώστε να γίνεται προγραμματισμός και εκτίμηση για την κατανάλωση ενέργειας αυτής της περιόδου. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα υπολογίσουμε τις βαθμομημέρες θέρμανσης για κάθε ημέρα ξεχωριστά με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$HDD_d = \max(0, T_{base} - T_d)$$

Εξίσωση 3 - Τύπος υπολογισμού Βαθμομερών Θέρμανσης

Όπου,

- HDD_d : Η ημερήσια τιμή βαθμομερών θέρμανσης.
- T_{base} : Η θερμοκρασία βάσης, με μονάδα μέτρησης τους βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}C$)
- T_d : Η μέση ημερήσια θερμοκρασία, με μονάδα μέτρησης τους βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}C$)

Η θερμοκρασία βάσης ποικίλει από έρευνα σε έρευνα, με τιμές όπως $14^{\circ}C$ και $18.3^{\circ}C$. Στην παρούσα έρευνα θα χρησιμοποιηθεί η τιμή που ορίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση, η οποία είναι οι $15^{\circ}C$.

Όπως προαναφέρθηκε, οι βαθμομέρες θέρμανσης χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των ενεργειακών απαιτήσεων ενός κτιρίου. Συγκεκριμένα, η ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση του εκάστοτε κτιρίου, είναι ανάλογη με τον αριθμό των βαθμομερών [46], όπως φαίνεται και στον ακόλουθο τύπο:

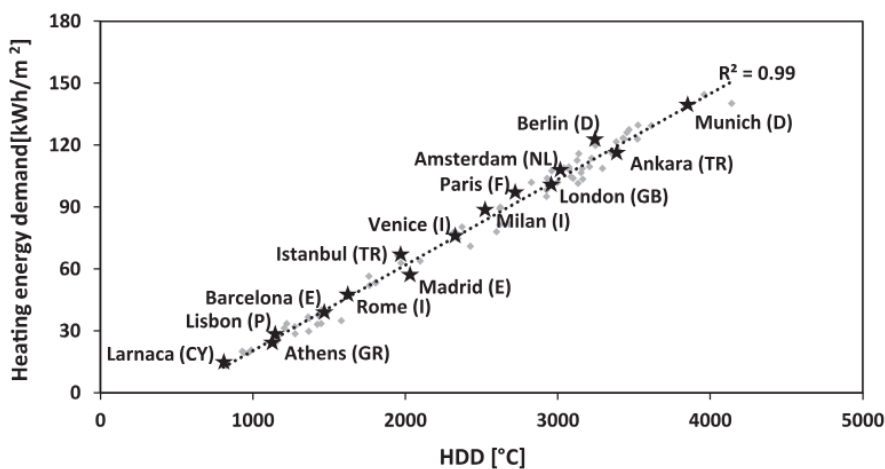
$$E_m = \frac{H \cdot HDD_m \cdot t_h}{\eta_{hs/cs}}$$

Εξίσωση 4 - Τύπος υπολογισμού ενέργειας θέρμανσης κτιρίου

Όπου,

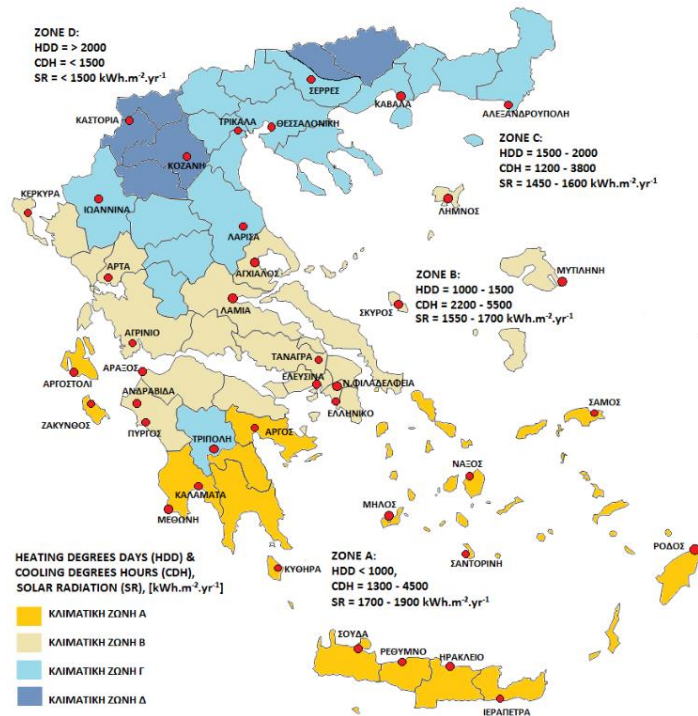
- E_m : Η μηνιαία ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση ($KW m^{-2}$).
- H : Παγκόσμιος συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του κτιρίου ($W K^{-1}$).
- HDD_m : Η μηνιαία τιμή βαθμομερών θέρμανσης.
- t_h : Ο χρόνος που λειτουργεί η θέρμανση ανά ημέρα.
- $\eta_{hs/cs}$: Ο συντελεστής απόδοσης του εξοπλισμού θέρμανσης.

Η σχέση αναλογίας που έχουν η απαιτούμενη ενέργεια και οι βαθμομέρες, αποτυπώνεται και στο ακόλουθο γράφημα, που παρουσιάζει την απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης σε σχέση με τις βαθμομέρες θέρμανσης σε διάφορες πόλεις της Ευρώπης, από την έρευνα των Mattia De Rosa, Vincenzo Bianco, Federico Scarpa, Luca A. Tagliafico [46]:



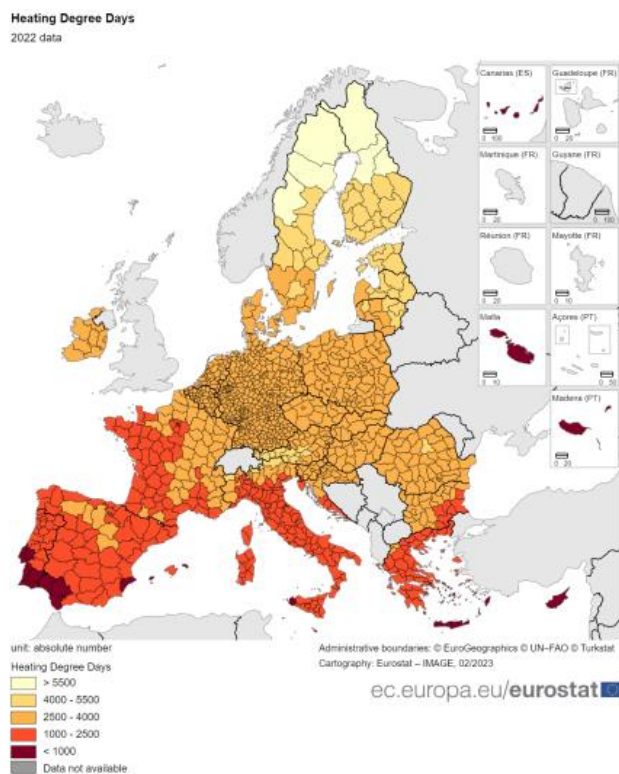
Εικόνα 9 - Ενέργεια θέρμανσης ανάλογα με τις HDDs σε διάφορες Ευρωπαϊκές πόλεις [46]

Επομένως, με κριτήριο τις βαθμομέρες θέρμανσης, οι περιοχές της Ευρώπης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν για τις ενεργειακές απαιτήσεις τους. Στην Ελλάδα, σύμφωνα με τον Κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ.) [47], οι περιοχές μπορούν να χωριστούν σε 4 κλιματικές ζώνες, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 10 - Κλιματικές ζώνες Ελλάδα με βάση τις ετήσιες Βαθμομέρες Θέρμανσης σύμφωνα με τον Κ.Εν.Α.Κ [47]

Όπως φαίνεται, τα όρια των βαθμομερών θέρμανσης είναι στα επίπεδα της χώρας, τα οποία συγκριτικά με την υπόλοιπη Ευρώπη θεωρούνται χαμηλά, όπως είναι αναμενόμενο καθώς η Ελλάδα βρίσκεται στο νότο της ηπείρου και είναι από τις πιο ζεστές χώρες της. Εφόσον η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η κατηγοριοποίηση των κλιματικών ζωνών πρέπει να γίνει με βάση τα δεδομένα των ευρωπαϊκών χωρών. Έτσι, τα κατώφλια για τα επίπεδα επικινδυνότητας επιλέχτηκαν με βάση το διαχωρισμό που έχει κάνει η ΕΕ, όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 11 - Επίπεδα Βαθμομερών Θέρμανσης για τις χώρες της ΕΕ όπως δημοσιεύτηκε από την επίσημη ιστοσελίδα της ΕΕ, Eurostat [48]

Έτσι, τα επίπεδα επικινδυνότητας που επιλέχθηκαν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 13 - Επίπεδα κινδύνου για τον αριθμό των ετήσιων Βαθμομερών θέρμανσης

Επίπεδο επικινδυνότητας	Ετήσιες βαθμομέρες θέρμανσης (HDD)
Εκτός Κινδύνου	$HDD \leq 1000$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$1000 < HDD \leq 2500$
Χαμηλός Κίνδυνος	$2500 < HDD \leq 4000$
Μέτριος Κίνδυνος	$4000 < HDD \leq 5000$
Υψηλός Κίνδυνος	$5000 < HDD \leq 6000$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$HDD > 6000$

Η μόνη διαφοροποίηση που πραγματοποιήθηκε σε σχέση με τα επίπεδα της ΕΕ είναι ότι προστέθηκε ένα επιπλέον επίπεδο το οποίο ξεκινάει από τις 5000 βαθμομέρες θέρμανσης και φτάνει έως τις 6000. Αυτό έγινε για την προσαρμογή στο μοτίβο των υπόλοιπων κριτηρίων, καθώς και για να συμπεριληφθούν στα επίπεδα διάφορες τιμές που ξεπερνούν τις 5500, διότι σύμφωνα με την Eurostat, ο μεγαλύτερος ετήσιος μέσος όρος χώρας για την περίοδο 1979-2022 είναι 5656. Άρα, για το επίπεδο του ακραίου κινδύνου επιλέχτηκε το κατώφλι των 6000 βαθμομερών θέρμανσης.

3.2.3 Ισχυρή βροχόπτωση

3.2.3.1 1ο κριτήριο – Ύψος βροχόπτωσης

Για το 1^ο κριτήριο του κινδύνου της ισχυρής βροχόπτωσης η μεταβλητή απόφασης που θα χρησιμοποιηθεί είναι το ύψος βροχόπτωσης ανά ημέρα (rainfall height). Το μέγεθος αυτό μετριέται σε χιλιοστά ανά 24 ώρες (mm/24h) και εκφράζει την ποσότητα του

βρόχινου νερού που έχει πέσει κατά τη διάρκεια μίας ημέρας. Για την τιμή του κατώφλιου που ορίζει την ακραία βροχόπτωση δεν υπάρχει συγκεκριμένος αριθμός που να είναι παγκόσμια παγιωμένος και να χρησιμοποιείται από όλους. Σε μία έρευνα για την περιοχή της Αλεξάνδρειας της Αιγύπτου [49] τα όρια επικινδυνότητας ορίστηκαν με βάση τα πολυετή δεδομένα βροχόπτωσης από το 1957 έως το 2012. Από αυτά τα ιστορικά δεδομένα, προέκυψαν τα παρακάτω κατώφλια με βάση το επίπεδο της επικινδυνότητας για την πρόκλησης πλημμύρας από βροχόπτωση:

Πίνακας 14 - Επίπεδα κινδύνου ημερήσιας βροχόπτωσης από έρευνα δεδομένων της Αλεξάνδρειας της Αιγύπτου την περίοδο 1957-2012 [49]

Ύψος ημερήσιας βροχόπτωσης(mm)	0-11.99	12-19.99	20-31.99	>32
Επίπεδο κινδύνου	Ελάχιστος	Μικρός	Σημαντικός	Ακραίος

Όπως αναφέρθηκε, τα συγκεκριμένα κατώφλια σχηματίστηκαν με κριτήριο δεδομένα αρκετών ετών. Για παράδειγμα ο αριθμός 32 είναι το κατώφλι πάνω από το οποίο υπάρχουν οι τιμές του 99^{ου} εκατοστημορίου. Δηλαδή, αυτά τα επίπεδα κινδύνου είναι προσαρμοσμένα στην περιοχή για την οποία διεκπεραιώθηκε η συγκεκριμένη έρευνα. Στην παρούσα εργασία, τα κριτήρια χρησιμοποιούνται για όλες τις Ευρωπαϊκές χώρες. Έτσι, τα επίπεδα επικινδυνότητας που θα χρησιμοποιηθούν βασίζονται στα επίπεδα διαχωρισμού των βροχοπτώσεων που χρησιμοποιούνται από το Εθνικό Κέντρο για Περιβαλλοντικές Προβλέψεις των ΗΠΑ και χρησιμοποιήθηκαν για εκτίμηση μελλοντικής βροχόπτωσης σε έρευνα για τη Νότια Αμερική [50]. Οι διαχωρισμένες κλάσεις αυτές φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 15 - Κατώφλια κινδύνου βροχόπτωσης όπως χρησιμοποιήθηκαν για έρευνα στη Ν. Αμερική από το Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικών Προβλέψεων των ΗΠΑ [50]

Ένταση βροχής	Κατώφλια βροχόπτωσης(mm)
Βροχή	0.3
Ελαφριά βροχή	2.5, 6.3
Μέτρια βροχή	12.7, 19.0
Έντονη βροχή	25.4, 38.1, 50.8

Επομένως, με τη χρήση των δύο πινάκων που παρατέθηκαν παραπάνω προκύπτουν τα εξής επίπεδα επικινδυνότητας:

Πίνακας 16 - Επίπεδα κινδύνου για τις τιμές του Ύψους Βροχόπτωσης

Επίπεδο επικινδυνότητας	Ύψος Βροχόπτωσης (σε mm/24h)
Εκτός Κινδύνου	$H \leq 2.5$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$2.5 < H \leq 12.7$
Χαμηλός Κίνδυνος	$12.7 < H \leq 19$
Μέτριος Κίνδυνος	$19 < H \leq 32$
Υψηλός Κίνδυνος	$32 < H \leq 50.8$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$H > 50.8$

3.2.3.2 2ο κριτήριο – Περίοδος Επαναφοράς

Για το 2^ο κριτήριο της ισχυρής βροχόπτωσης η μεταβλητή που επιλέχθηκε είναι η περίοδος επιστροφής ή περίοδος επαναφοράς (return period). Το μέγεθος αυτό εκφράζει την πιθανότητα εμφάνισης ενός ακραίου γεγονότος και ορίζεται ως:

Εξίσωση 5 – Τύπος υπολογισμού περιόδου επαναφοράς

$$\text{Περίοδος επαναφοράς} = \frac{\text{Σύνολο ημερών}}{\text{Ημέρες με ακραία βροχόπτωση}}$$

Ως ακραία βροχόπτωση θεωρούμε ένα φαινόμενο βροχόπτωσης που ξεπερνά τα 50.8 mm σε μία ημέρα, σύμφωνα με τα κατώφλια του πρώτου κριτηρίου. Επομένως, η περίοδος επιστροφής ουσιαστικά είναι η περίοδος που μεσολαβεί ανάμεσα σε 2 ακραία συμβάντα βροχόπτωσης. Στις περισσότερες έρευνες που χρησιμοποιείται η περίοδος επιστροφής, ο σκοπός τους είναι η πρόβλεψη πιθανότητας για μελλοντικά ακραία καιρικά φαινόμενα. Σε αυτές τις έρευνες αναλύονται δεδομένα πολλών παλαιών ετών που μπορεί να φτάνουν και τον μισό αιώνα. Επομένως, η περίοδος επιστροφής εκφράζεται σε χρόνια. Δηλαδή, εάν η περίοδος επιστροφής για ένα περιστατικό ακραίας βροχόπτωσης είναι 5 χρόνια, η πιθανότητα εμφάνισης του περιστατικού είναι $\frac{1}{5} = 20\%$. Τα κατώφλια που θα χρησιμοποιηθούν για την απόφαση του επιπέδου επιλέγονται με γνώμονα την πιθανότητα εμφάνισης του γεγονότος ακραίας βροχόπτωσης. Στις αναφορές της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) χρησιμοποιείται η ακόλουθη ποιοτική κλίμακα ανάλογα με το μέγεθος της πιθανότητας [51]:

- Σχεδόν σίγουρο/Ακραία πιθανό, όταν $P > 99\%/>95\%$.
- Πολύ πιθανό, όταν $P > 90\%$.
- Πιθανό, όταν $P > 66\%$.
- Σχετικά πιθανό, όταν $33\% < P < 66\%$.
- Λίγο πιθανό, όταν $P < 33\%$.
- Πολύ λίγο πιθανό, όταν $P < 10\%$.
- Εξαιρετικά απίθανο/Ακραία απίθανο, όταν $P < 5\%/<1\%$.

Επομένως, με βάση αυτήν την κλίμακα διαμορφώνονται τα παρακάτω επίπεδα επικινδυνότητας για την ισχυρή βροχόπτωση:

Πίνακας 17 - Επίπεδα κινδύνου για τις τιμές της Περιόδου επαναφοράς

Επίπεδο επικινδυνότητας	Περίοδος επιστροφής (σε χρόνια)
Εκτός Κινδύνου	$RP \geq 10$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$10 < RP \leq 5$
Χαμηλός Κίνδυνος	$5 < RP \leq 3$
Μέτριος Κίνδυνος	$3 < RP \leq 1$
Υψηλός Κίνδυνος	$1 < RP \leq 0.5$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$RP > 0.5$

Όπως αναφέρθηκε, η συνήθης χρήση της περιόδου επαναφοράς γίνεται με έτη. Στο συγκεκριμένο κριτήριο, στο τελευταίο επίπεδο επικινδυνότητας προστέθηκε το κατώφλι του μισού χρόνου, για να συμπεριληφθεί ακραία περίπτωση κινδύνου, δηλαδή να εμφανιστεί ένα ακραίο περιστατικό βροχόπτωσης 2 φορές σε ένα εξάμηνο. Σε αυτή

την περίπτωση ελλοχεύει ο κίνδυνος της μη ετοιμότητας του εδάφους να απορροφήσει την έντονη βροχόπτωση, ιδιαίτερα στην περίπτωση που στο πρώτο περιστατικό υπήρξαν πλημμύρες ή καταστροφές.

3.2.4 Καταιγίδα

3.2.4.1 1ο κριτήριο – Ταυτόχρονη παρουσία βροχής και ανέμου

Ο πυρήνας μιας καταιγίδας είναι ο ισχυρός άνεμος, επομένως δε γίνεται να μη συμπεριληφθεί ως μεταβλητή απόφασης. Συγκεκριμένα, η πρώτη μεταβλητή απόφασης για το παρόν κριτήριο θα είναι η ταχύτητα του ανέμου, με μονάδα μέτρησης τα μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Όμως, όπως εξηγείται και στην ενότητα 3.1, στις καταιγίδες ο άνεμος συνήθως συνδυάζεται με την παρουσία βροχής, χιονιού, χαλαζιού, κ.ά. Τα συχνότερα και πιο επώδυνα φαινόμενα καταιγίδων είναι αυτά που περιλαμβάνουν δυνατό άνεμο σε συνδυασμό με δυνατή βροχόπτωση. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο επιλέγεται για το συγκεκριμένο κριτήριο το ύψος βροχόπτωσης ως δεύτερη μεταβλητή απόφασης.

Για την επιλογή των κατωφλίων για τα ανώτερα επίπεδα κινδύνου της ταχύτητας του ανέμου, χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα τυφώνων Saffir-Simpson [52], η οποία αναπτύχθηκε το 1971 από τον πολιτικό μηχανικό Herbert Saffir και τον μετεωρολόγο Robert Simpson. Η κλίμακα αυτή κατηγοριοποιεί τους τυφώνες σε 5 κατηγορίες, ανάλογα με την επικινδυνότητα τους, με μόνο κριτήριο την ταχύτητα του ανέμου και όχι οποιονδήποτε παράπλευρο παράγοντα όπως η βροχή, η σκόνη κ.ά. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι ακόλουθες:

Πίνακας 18 - Κατηγορίες κινδύνου για την ταχύτητα του ανέμου σύμφωνα με την κλίμακα Saffir-Simpson [52]

Κατηγορία	Ταχύτητα ανέμου(m/s)
1 ^η	33 - 42
2 ^η	43 - 49
3 ^η	50 - 58
4 ^η	58 – 70
5 ^η	≥ 70

Η 1^η κατηγορία περιλαμβάνει πολύ επικίνδυνους ανέμους, που ενδεχομένως να προκαλέσουν καταστροφές σε κτίρια, σκεπές, κατασκευές, καθώς και να οδηγήσουν σε διακοπές ρεύματος. Στη 2^η κατηγορία ανήκουν εξαιρετικά επικίνδυνοι άνεμοι, οι οποίοι μπορεί να δημιουργήσουν μεγάλες ζημιές σε στέγες και στα εξωτερικά των σπιτιών, καθώς και να ξεριζώσουν δέντρα με ρηχές ρίζες και να προκαλέσουν ζημιές σε συστήματα με αποτέλεσμα πολυήμερες διακοπές ρεύματος. Στην 3^η κατηγορία η επικινδυνότητα των πιθανών επιπτώσεων κλιμακώνεται, με μεγάλες διακοπές ρεύματος και νερού, με ξεριζωμό σκεπών και δέντρων. Αντίστοιχα στην 4^η κατηγορία οι άνεμοι σπάνε στύλους ηλεκτροδότησης, καταστρέφουν εξωτερικούς τοίχους και μπορεί να φέρουν μια περιοχή σε ανάγκη για εκκένωση για αρκετό καιρό. Τέλος, η 5^η κατηγορία εκφράζει τον ακραίο κίνδυνο, με σπίτια να καταστρέφονται έως και ολοσχερώς.

Οι τελευταίες 3 κατηγορίες συγκαταλέγονται από το Εθνικό Κέντρο Τυφώνων των ΗΠΑ, ως μείζονες τυφώνες. Αντίστοιχα, στο συγκεκριμένο κριτήριο το επίπεδο του

πολύ υψηλού κινδύνου θα περιλαμβάνει τις τιμές που ανήκουν σε αυτά τα 3 επίπεδα, δηλαδή τις τιμές όπου η ταχύτητα του ανέμου ξεπερνά τα 50 μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Επιπρόσθετα, οι δύο πρώτες κατηγορίες θα χρησιμοποιηθούν για τα επίπεδα του μέτριου κινδύνου και του υψηλού κινδύνου. Για το επίπεδο εκτός κινδύνου θα χρησιμοποιηθεί το κατώφλι των 12 m/s κάτω από το οποίο ο άνεμος δεν προκαλεί καμία απειλή για τον άνθρωπο και τα κτίρια. Γενικά, χρησιμοποιούνται διάφορα κατώφλια κοντά σε αυτό, όπως το 11.2 m/s (25 mph) από την Εθνική Υπηρεσία Καιρού των ΗΠΑ ή το 13.89 m/s (50 km/h) από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία της Ιρλανδίας. Έτσι, επιλέχθηκε το 12, ως ακέραιος που είναι κοντά στα περισσότερα κατώφλια. Έτσι, προκύπτουν τα παρακάτω επίπεδα επικινδυνότητας για την ταχύτητα του ανέμου:

Πίνακας 19 - Επίπεδα κινδύνου για την τιμή της ταχύτητας του ανέμου

Επίπεδο επικινδυνότητας	Ταχύτητα ανέμου (σε m/s)
Εκτός Κινδύνου	$V \geq 12$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$12 < V \leq 23$
Χαμηλός Κίνδυνος	$23 < V \leq 33$
Μέτριος Κίνδυνος	$33 < V \leq 42$
Υψηλός Κίνδυνος	$42 < V \leq 50$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$V > 50$

Για τη βροχόπτωση, θα χρησιμοποιηθούν τα κατώφλια του 1^{ου} κριτηρίου της ισχυρής βροχόπτωσης. Ο καθορισμός των επιπέδων επικινδυνότητας, απαιτεί την ταυτόχρονη παρουσία ανέμου και βροχής. Επομένως, για να επιλεγεί ένα επίπεδο πρέπει οι τιμές ανέμου και βροχόπτωσης να κρίνονται ταυτόχρονα για κάθε ημέρα των δεδομένων. Σε περίπτωση που είναι σε ίδιο επίπεδο θα αποφαιίνεται το συγκεκριμένο επίπεδο επικινδυνότητας. Σε αντίθετη περίπτωση, θα επιλέγεται το χαμηλότερο από τα δύο. Άρα, τα κατώφλια που θα χρησιμοποιηθούν είναι τα εξής:

Πίνακας 20 - Επίπεδα κινδύνου για την ταυτόχρονη παρουσία βροχής και ανέμου

Επίπεδο επικινδυνότητας	Ταχύτητα ανέμου & Ύψος βροχόπτωσης
Εκτός Κινδύνου	$V \geq 12 \text{ \& } H \leq 2.5$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$12 < V \leq 23 \text{ \& } 2.5 < H \leq 12.7$
Χαμηλός Κίνδυνος	$23 < V \leq 33 \text{ \& } 12.7 < H \leq 19$
Μέτριος Κίνδυνος	$33 < V \leq 42 \text{ \& } 19 < H \leq 32$
Υψηλός Κίνδυνος	$42 < V \leq 50 \text{ \& } 32 < H \leq 50.8$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$V > 50 \text{ \& } H > 50.8$

3.2.4.2 2ο κριτήριο – Εφαρμογή κατωφλίων ύψους βροχόπτωσης στις ημέρες με δυνατό άνεμο

Όπως επισημάνθηκε στο πρώτο κριτήριο και στην ανάλυση των κινδύνων, οι κύριοι άξονες της καταίγιδας είναι ο άνεμος πρωταρχικά και η βροχόπτωση. Έτσι, σε αυτό το κριτήριο η απόφαση για τη μεταβλητή της βροχής θα γίνει με βάση τα κατώφλια του πρώτου κριτηρίου, όμως μόνο για τις ημέρες που υπάρχει δυνατός άνεμος. Για να επιτευχθεί αυτό θα πραγματοποιηθεί αρχικά boxplot analysis και θα απομονωθούν οι ημέρες στις οποίες ο άνεμος είναι μεταξύ της διαμέσου (median) και του Q3 οποίο είναι ουσιαστικά το 75^ο εκατοστημόριο. Για τις ημέρες που παραμένουν και μετά το

φιλτράρισμα του boxplot εφαρμόζουμε τα κατώφλια για το ύψος βροχόπτωσης με τις τιμές του πρώτου κριτηρίου. Επομένως, προκύπτουν τα παρακάτω επίπεδα επικινδυνότητας:

Πίνακας 21 - Επίπεδα κινδύνου για τις τιμές του Ύψους Βροχόπτωσης στις ημέρες με ισχυρό άνεμο

Επίπεδο επικινδυνότητας	Ύψος Βροχόπτωσης (mm/24h) για τις ημέρες στις οποίες η ταχύτητα του ανέμου (m/s) βρίσκεται ανάμεσα στα 50 ^ο και 75 ^ο εκατοστημόρια
Εκτός Κινδύνου	$H \leq 2.5$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$2.5 < H \leq 12.7$
Χαμηλός Κίνδυνος	$12.7 < H \leq 19$
Μέτριος Κίνδυνος	$19 < H \leq 32$
Υψηλός Κίνδυνος	$32 < H \leq 50.8$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$H > 50.8$

3.2.5 Πλημμύρα

3.2.5.1 1ο κριτήριο – Ύψος βροχόπτωσης, απόσταση από σώμα νερού και υψόμετρο

Όπως αναλύθηκε στην ενότητα 3.1 οι πλημμύρες είναι φαινόμενα υπερχειλίσης υδάτινων σωμάτων έξω από τα όριά τους. Επομένως, η απειλή για ένα κτίριο από πλημμύρα έχει άμεση σχέση με τη θέση του κτιρίου σε σχέση με τα κοντινότερα σώματα νερού. Η θέση του κτιρίου σε σχέση με ένα υδάτινο σώμα μπορεί να εκφραστεί με το ύψος από τη στάθμη της θάλασσας (υψόμετρο) και από την απόστασή του από το κοντινότερο σώμα νερού. Αυτά τα δύο μεγέθη θα χρησιμοποιηθούν ως μεταβλητές απόφασης, μαζί με το σημαντικότερο παράγοντα για τις πλημμύρες, δηλαδή την βροχόπτωση. Προφανώς, το υψόμετρο και η απόσταση από σώμα νερού είναι σταθερά μεγέθη για ένα κτίριο, επομένως η ταυτόχρονη παρουσία με οποιαδήποτε τιμή τη βροχόπτωσης είναι αυτονόητη. Για το ύψος βροχόπτωσης θα χρησιμοποιηθούν τα κατώφλια του 1^{ου} κριτηρίου για την ισχυρή βροχόπτωση.

Όσον αφορά τα κατώφλια για την απόσταση από το κοντινότερο σώμα νερού, χρησιμοποιήθηκε μια έρευνα η οποία μελετά τους οικισμούς κοντά σε ποτάμια σε διάφορες χώρες, με βάση τα νυχτερινά φώτα που φαίνονται από δορυφόρους, και βγάζει συμπεράσματα που σχετίζονται με τις πλημμύρες των ποταμών [53]. Στη συγκεκριμένη έρευνα αναλύεται η αλλαγή της απόστασης των οικισμών από τα ποτάμια κατά τη διάρκεια των χρόνων, και τη συσχετίζει με τις επιπτώσεις της πλημμύρας. Στην έρευνα αυτή, οι οικισμοί που βρίσκονται σε απόσταση 5 χιλιομέτρων από τα ποτάμια δεν άλλαξαν θέση κατά την πάροδο χρόνων, σε αντίθεση με τους αντίστοιχους με χαμηλότερες τιμές απόστασης. Επομένως, το ανώτατο κατώφλι που θα χρησιμοποιηθεί είναι τα 5 χιλιόμετρα. Σε μία άλλη έρευνα στην περιοχή της Kwara της Νιγηρίας [54], οριοθετήθηκαν οι περιοχές επικινδυνότητας σε σχέση με την απόσταση από το νερό του ποταμού. Οι περιοχές αυτές χωρίζονται σε 3 ζώνες οι οποίες παρατίθενται ακολούθως:

- Ζώνη χαμηλού κινδύνου: 3-5 χιλιόμετρα.
- Ζώνη μέτριου κινδύνου: 1-3 χιλιόμετρα.
- Ζώνη υψηλού κινδύνου: λιγότερο από 1 χιλιόμετρο.

Αυτές οι ζώνες θα χρησιμοποιηθούν για τα επίπεδα επικινδυνότητας του παρόντος κριτηρίου, όμως οι αποστάσεις οι οποίες είναι χαμηλότερες του χιλιομέτρου θα

χωριστούν σε 3 επίπεδα, ώστε να εκφραστούν οι ακραίοι κίνδυνοι. Τα κτίρια σε απόσταση μικρότερη των 100 μέτρων είναι ακραία εκτιθέμενες τόσο στις παραποτάμιες περιοχές όσο και στις παραθαλάσσιες που απειλούνται από τις παράκτιες καταιγίδες. Επομένως, προκύπτουν τα ακόλουθα επίπεδα με γνώμονα την απόσταση από το κοντινότερο σώμα νερού:

Πίνακας 22 - Επίπεδα κινδύνου για τις τιμές της απόστασης από το κοντινότερο σώμα νερού

Επίπεδο επικινδυνότητας	Απόσταση από σώμα νερού (σε km)
Εκτός Κινδύνου	$D > 5$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$5 \geq D > 3$
Χαμηλός Κίνδυνος	$3 \geq D > 1$
Μέτριος Κίνδυνος	$1 \geq D > 0.5$
Υψηλός Κίνδυνος	$0.5 \geq D > 0.1$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$D \leq 0.1$

Όσον αφορά το υψόμετρο, τα επίπεδα επικινδυνότητας θα βασιστούν σε μία έρευνα για τις πλημμύρες στην ευρύτερη περιοχή της Βομβάης, στην Ινδία [55]. Στη συγκεκριμένη έρευνα, γίνεται χαρτογράφηση της περιοχής με ζώνες επικινδυνότητας για το ενδεχόμενο πλημμύρας. Για να επιτευχθεί αυτό εξετάστηκαν παράγοντες που επηρεάζουν την ευαισθησία στις πλημμύρες και ένας εξ αυτών ήταν το υψόμετρο. Με βάση την ανάλυση προέκυψαν 10 τάξεις επικινδυνότητας ανάλογα με το υψόμετρο σε μέτρα, οι οποίες ήταν οι εξής: 0-8, 8-11, 11-14, 14-18, 18-22, 22-27, 27-35, 35-51, 51-97, 97-487. Προφανώς, το μεγαλύτερο παρατηρούμενο υψόμετρο είναι τα 487 μέτρα, για αυτό η τελευταία τάξη φτάνει αυτή την τιμή. Όπως αναφέρεται και στην έρευνα, ψηλότερα από τα 35 μέτρα δεν υπάρχει αξιοσημείωτος κίνδυνος πλημμύρας. Τα επίπεδα επικινδυνότητας που θα χρησιμοποιηθούν για αυτό το κριτήριο παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 23 - Επίπεδα κινδύνου για τις τιμές του υψομέτρου

Επίπεδο επικινδυνότητας	Υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας (m)
Εκτός Κινδύνου	$E > 51$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$51 \geq E > 35$
Χαμηλός Κίνδυνος	$35 \geq E > 22$
Μέτριος Κίνδυνος	$22 \geq E > 14$
Υψηλός Κίνδυνος	$8 \geq E > 14$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$E \leq 8$

Επομένως, τα επίπεδα επικινδυνότητας συνολικά για το κριτήριο φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 24 - Επίπεδα κινδύνου για το 1^ο κριτήριο των καταιγίδων

Επίπεδο επικινδυνότητας	Ύψος βροχόπτωσης & Υψόμετρο & Απόσταση από σώμα νερού
Εκτός Κινδύνου	$H \leq 2.5 \ \& \ E > 51 \ \& \ D > 5$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$2.5 < H \leq 12.7 \ \& \ 51 \geq E > 35 \ \& \ 5 \geq D > 3$
Χαμηλός Κίνδυνος	$12.7 < H \leq 19 \ \& \ 35 \geq E > 22 \ \& \ 3 \geq D > 1$
Μέτριος Κίνδυνος	$19 < H \leq 32 \ \& \ 22 \geq E > 14 \ \& \ 1 \geq D > 0.5$
Υψηλός Κίνδυνος	$32 < H \leq 50.8 \ \& \ 8 \geq E > 14 \ \& \ 0.5 \geq D > 0.1$

Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$H > 50.8 \ \& \ E \leq 8 \ \& \ D \leq 0.1$
----------------------	--

Αντίστοιχα με το κριτήριο για τις καταιγίδες, σε περίπτωση που οι μεταβλητές δεν είναι στην ίδια κατηγορία, επιλέγεται το χαμηλότερο επίπεδο από τις 3 μεταβλητές.

3.2.5.2 2ο κριτήριο – Περίοδος επαναφοράς, απόσταση από σώμα νερού και υψόμετρο

Για το δεύτερο κριτήριο, θα χρησιμοποιηθούν οι ίδιοι παράγοντες που επηρεάζουν τα φαινόμενα πλημμυρών, δηλαδή τη βροχόπτωση, το υψόμετρο και την απόσταση από σώμα νερού. Οι δύο τελευταίοι παράγοντες δεν αποτελούν μεταβαλλόμενες χρονοσειρές, επομένως τα κατώφλια για αυτούς τους παράγοντες θα χρησιμοποιηθούν ακριβώς όπως είναι και στο πρώτο κριτήριο. Όσον αφορά τη βροχόπτωση, όπως στο πρώτο κριτήριο επιλέχθηκαν τα επίπεδα επικινδυνότητας για τον κίνδυνο ισχυρής βροχόπτωσης, αντίστοιχα επιλέγεται το δεύτερο κριτήριο του κινδύνου της ισχυρής βροχόπτωσης. Επομένως, για τη βροχή χρησιμοποιείται η μεταβλητή της περιόδου επαναφοράς. Τα επίπεδα επικινδυνότητας παρατίθενται ακολούθως:

Πίνακας 25 - Επίπεδα κινδύνου για το 2^ο κριτήριο των καταιγίδων

Επίπεδο επικινδυνότητας	Περίοδος επαναφοράς & Υψόμετρο & Απόσταση από σώμα νερού
Εκτός Κινδύνου	$RP \geq 10 \ \& \ E > 51 \ \& \ D > 5$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$10 < RP \leq 5 \ \& \ 51 \geq E > 35 \ \& \ 5 \geq D > 3$
Χαμηλός Κίνδυνος	$5 < RP \leq 3 \ \& \ 35 \geq E > 22 \ \& \ 3 \geq D > 1$
Μέτριος Κίνδυνος	$3 < RP \leq 1 \ \& \ 22 \geq E > 14 \ \& \ 1 \geq D > 0.5$
Υψηλός Κίνδυνος	$1 < RP \leq 0.5 \ \& \ 8 \geq E > 14 \ \& \ 0.5 \geq D > 0.1$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$RP < 0.5 \ \& \ E \leq 8 \ \& \ D \leq 0.1$

3.2.6 Ξηρασία

3.2.6.1 1ο κριτήριο – Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης

Στην περίπτωση του κλιματικού κινδύνου της ξηρασίας θα χρησιμοποιήσουμε ως μεταβλητή απόφασης, τον Κανονικοποιημένο Δείκτη Βροχόπτωσης (Standardized Precipitation Index – SPI). Ο SPI είναι ένας μετεωρολογικός δείκτης που αναπτύχθηκε το 1993, από τους Thomas B. McKee, Nolan J. Doesken and John Kleist [56] και χρησιμοποιείται για τη μελέτη του ελλείματος και της περίσσειας του νερού της βροχής, ώστε να μπορούν να παραχθούν συμπεράσματα για φαινόμενα ξηρασίας και πλημμύρας αντίστοιχα.

Ο υπολογισμός του SPI οδηγεί στην κανονικοποίηση μιας χρονοσειράς ημερήσιας βροχόπτωσης, για ένα χρονικό διάστημα, ώστε εκείνη να ακολουθεί κανονική κατανομή. Η επιλογή του χρονικού διαστήματος γίνεται ανάλογα με τον σκοπό της κανονικοποίησης και μπορεί να είναι οποιοδήποτε, αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται 1, 3, 6, 12, 24, 48 μήνες. Για παράδειγμα, ο 1 μήνας χρησιμοποιείται να αποτυπώνεται η βραχυπρόθεσμη υγρασία του εδάφους και την καταπόνηση των καλλιεργιών. Οι 3 μήνες στοχεύουν στην εποχιακή απεικόνιση της βροχόπτωσης. Με τη χρήση των 12 μηνών ενδεχομένως μπορούν να βγουν συμπεράσματα και για τα υπόγεια ρεύματα και τα επίπεδα στάθμης των λιμνών. Αναλόγως, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα χρονικά διαστήματα προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις του κάθε χρήστη[57].

Για το συγκεκριμένο κριτήριο, θα χρησιμοποιηθεί το χρονικό διάστημα των 30 ημερών. Ο υπολογισμός του SPI γίνεται με βάση τον ακόλουθο τύπο:

$$SPI = \frac{x_i - x_m}{s_x}$$

Όπου,

- SPI = Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης
- x_i = Ύψος βροχόπτωσης (mm/24h)
- x_m = Μέσο ύψος βροχόπτωσης των τελευταίων 30 ημερών (mm/24)
- s_x = τυπική απόκλιση του x_i των τελευταίων 30 ημερών

Γενικότερα, οι περισσότερες τιμές του SPI κειμαίνονται από -2 έως 2, πλην λιγοστών εξαιρέσεων. Όταν ο SPI έχει αρνητικές τιμές υπάρχει έλλειψη βροχόπτωσης και σε συνεχόμενες τιμές χαμηλότερες από -1 θεωρείται ότι υπάρχει κίνδυνος να εμφανιστεί φαινόμενο ξηρασίας. Σύμφωνα με τους δημιουργούς και μελετητές του SPI η κατηγοριοποίηση των ξηρασιών ανάλογα με την τιμή του SPI είναι η ακόλουθη:

- Ήπια ξηρασία, όταν ο SPI έχει τιμές από 0 έως -0.99
- Μέτρια ξηρασία, όταν ο SPI έχει τιμές από -1.00 έως -1.49
- Σοβαρή ξηρασία όταν ο SPI έχει τιμές από -1.50 έως -1.99
- Ακραία ξηρασία, όταν ο SPI έχει τιμές μικρότερες ή ίσες του -2.00

Τα επίπεδα επικινδυνότητας που θα χρησιμοποιηθούν για το παρόν κριτήριο είναι βασισμένα στις παραπάνω κατηγορίες ξηρασίας. Όπως, το φάσμα τιμών για την κατηγορία της ήπιας ξηρασίας θα διχοτομηθεί ώστε να σχηματιστούν τα δύο χαμηλότερα επίπεδα επικινδυνότητας. Έτσι, προκύπτουν τα επίπεδα που παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα

Πίνακας 26 - Επίπεδα κινδύνου για τις τιμές του δείκτη SPI

Επίπεδο επικινδυνότητας	Δείκτης SPI
Εκτός Κινδύνου	$SPI > 0$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$0 \geq SPI > -0.5$
Χαμηλός Κίνδυνος	$-0.5 \geq SPI > -1$
Μέτριος Κίνδυνος	$-1 \geq SPI > -1.5$
Υψηλός Κίνδυνος	$-1.5 \geq SPI > -2.0$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$SPI \leq -2.0$

3.2.6.2 2ο κριτήριο – Συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή

Το δεύτερο κριτήριο που επιλέχτηκε για τον κίνδυνο ξηρασίας εμπεριέχει ένα επιπλέον κίνδυνο που δυστυχώς απασχολεί τις χώρες της ΕΕ κάθε χρόνο και περισσότερο. Ο αναφερόμενος κίνδυνος είναι οι πυρκαγιές, η ύπαρξη των οποίων συνδέεται άμεσα με το κλιματικό φαινόμενο της ξηρασίας και μάλιστα το ένα φαινόμενο μπορεί να οξύνει το άλλο. Αυτό συμβαίνει διότι με την ξηρασία το έδαφος και τα φυτά γίνονται περιβάλλον επιρρεπές στις πυρκαγιές, και αντίστοιχα μια πυρκαγιά καταστρέφει τη βλάστηση και εξαφανίζει την υγρασία του εδάφους και το περιβάλλον γίνεται πιο ευαίσθητο στις ξηρασίες.

Το κοινό κλιματικό χαρακτηριστικό των δύο αυτών φαινομένων είναι η έλλειψη βροχής. Επομένως, η μεταβλητή που θα χρησιμοποιηθεί είναι οι συνεχόμενες «ξηρές»

ημέρες, δηλαδή οι συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχόπτωση. Τα κατώφλια που επιλέχθηκαν, βασίζονται σε μία έρευνα η οποία αναλύει τις επιπτώσεις των συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή στην περιοχή Yunnan της νοτιοδυτικής Κίνας [58]. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας προκύπτουν οι ακόλουθες κλάσεις πυρκαγιών, ανάλογα με τον αριθμό των συνεχόμενων ξηρών ημερών: <1 (μικρή πυρκαγιά), 1-9 (μέτρια-μικρή πυρκαγιά), 10-49 (μέτρια πυρκαγιά), 50-99 (μέτρια μεγάλη πυρκαγιά), 100-500 (μεγάλη πυρκαγιά) και 500-1000 (εξαιρετικά μεγάλη πυρκαγιά).

Με βάση αυτές τις κλάσεις διαμορφώνονται τα ακόλουθα επίπεδα επικινδυνότητας:

Πίνακας 27 - Επίπεδα κινδύνου για τον αριθμό των συνεχόμενων ημερών χωρίς βροχή

Επίπεδο επικινδυνότητας	Συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή (CD)
Εκτός Κινδύνου	$CD \leq 2$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$2 \leq CD < 10$
Χαμηλός Κίνδυνος	$10 \leq CD < 50$
Μέτριος Κίνδυνος	$50 \leq CD < 100$
Υψηλός Κίνδυνος	$100 \leq CD < 500$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$CD \geq 500$

3.3 Υπολογισμός βαρών

Σε αυτή την ενότητα θα αναλυθεί με μαθηματικές σχέσεις, το πώς προκύπτει ο τελικός δείκτης έκθεσης, δηλαδή ένας αριθμός που θα δείχνει το πόσο εκτίθεται ένα κτίριο στην κλιματική αλλαγή, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες της περιοχής στην οποία βρίσκεται. Στην προηγούμενη ενότητα διαμορφώθηκαν τα επίπεδα επικινδυνότητας και το επόμενο στάδιο της έρευνας είναι να προκύπτει ένας αριθμός (βάρος) για τον κάθε κίνδυνο ξεχωριστά. Τα βάρη που θα υπολογιστούν, είναι συντελεστές οι οποίοι παίρνουν τιμές από 0 έως 1 και το άθροισμα των βαρών όλων των κινδύνων ισούται με τη μονάδα.

Όπως αναλύθηκε και στην προηγούμενη ενότητα, τα κριτήρια απόφασης έχουν την παρακάτω μορφή:

Πίνακας 28 - Αριθμημένα επίπεδα για την τιμή της μεταβλητής απόφασης

Επίπεδο επικινδυνότητας	Αριθμός επιπέδου	Τιμή μεταβλητής απόφασης X
Εκτός Κινδύνου	0	$X < \text{Κατώφλι 1}$
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	1	$\text{Κατώφλι 1} < X < \text{Κατώφλι 2}$
Χαμηλός Κίνδυνος	2	$\text{Κατώφλι 2} < X < \text{Κατώφλι 3}$
Μέτριος Κίνδυνος	3	$\text{Κατώφλι 3} < X < \text{Κατώφλι 4}$
Υψηλός Κίνδυνος	4	$\text{Κατώφλι 4} < X < \text{Κατώφλι 5}$
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	5	$X > \text{Κατώφλι 5}$

Για να γίνει αυτό αρχικά θα μετατρέψουμε την τιμή της μεταβλητής του κάθε κριτηρίου σε τιμή μιας κλίμακας από 0 έως 4. Η συγκεκριμένη τιμή, θα ονομαστεί L και θα ορίζεται με βάση τον ακόλουθο τύπο:

- Αν $X < \text{Κατώφλι } 1$, τότε $L = 0$.
- Αν $\text{Κατώφλι } 1 < X < \text{Κατώφλι } 5$, τότε

Εξίσωση 7 - Υπολογισμός τιμής κλίμακας 0-4 για τα επίπεδα 1,2,3, 4

$$L = i - 1 + \frac{X - T_i}{T_{i+1} - T_i}$$

- Αν $X > \text{Κατώφλι } 5$, τότε $L = 4$.

Όπου, i το επίπεδο που αναφέρεται στη μεσαία στήλη του παραπάνω πίνακα και T_i το κατώφλι i που φαίνεται στην 3^η στήλη του ίδιου πίνακα.

Τα κριτήρια του κάθε κινδύνου είναι 2, επομένως αφού γίνει η παραπάνω διαδικασία μετατροπής σε κλίμακα 0 έως 4, ο αριθμός που θα ανήκει σε αυτή την κλίμακα και θα εκφράζει την έκθεση στον κάθε κίνδυνο θα είναι ο μέσος όρος των τιμών των δύο κριτηρίων. Δηλαδή, $L = \frac{L_1 + L_2}{2}$.

Όπου, L_1 και L_2 οι τιμές από 0 έως 4 για το 1^ο και το 2^ο κριτήριο του κινδύνου αντίστοιχα.

Έπειτα, μετατρέπονται οι τιμές σε κλίμακα 0 έως 1. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διαίρεση με το 4, καθώς είναι η μέγιστη τιμή του L . Άρα, για τον κάθε κίνδυνο η τιμή σε κλίμακα 0-1 είναι: $d = \frac{L}{4}$.

Το τελευταίο βήμα για τον υπολογισμό των βαρών είναι η κανονικοποίηση. Για να γίνει αυτό διαιρείται η τιμή d του κάθε κινδύνου με το άθροισμα των d όλων των κινδύνων. Άρα, το βάρος που προκύπτει για έναν κλιματικό κίνδυνο j με υπολογισμένη τιμή d_j είναι το ακόλουθο:

Εξίσωση 8 - Τύπος υπολογισμού τελικού βάρους για τον κάθε κλιματικό κίνδυνο

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^6 d_i}$$

Όπου $\sum_{i=1}^6 d_i$, το άθροισμα των τιμών των 6 κλιματικών κινδύνων.

3.4 Εργαλεία και δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν την ανάλυση

Η ανάλυση που θα ακολουθήσει στο κεφάλαιο της μελέτης περίπτωσης, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της γλώσσας Python και του περιβάλλοντος προγραμματισμού Google Colab. Τα δεδομένα για τις περιοχές που επιλέχθηκαν ώστε να αναλυθούν είναι ελεύθερα και βρίσκονται στην ιστοσελίδα: https://rp5.ru/Weather_in_the_world. Η συγκεκριμένη ιστοσελίδα παρέχει καιρικά δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών για 241 χώρες σε όλον τον κόσμο. Τα καιρικά δεδομένα που διαθέτει η ιστοσελίδα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πληροφόρηση ενός χρήστη, που απλά θέλει να παρακολουθήσει την κατάσταση του καιρού σε ένα μέρος της επιλογής του, αλλά και να αποθηκευτούν σε μορφή .csv και .xls από χρήστες που θέλουν να εμβαθύνουν και να τα αναλύσουν. Τα δεδομένα που διατίθενται έχουν βάθος χρόνου, όχι το ίδιο σε κάθε μετεωρολογικό σταθμό, και έχουν 29 στήλες

δεδομένων. Η στήλες είναι οι εξής: Date / Local time, T, Po, P, Pa, U, DD, Ff, ff10, ff3, N, WW, W1, W2, Tn, Tx, Cl, Nh, H, Cm, Ch, VV, Td, RRR, tR, E, Tg, E', sss. Όπου,

- Date / Local time, ημερομηνία και ώρα.
- T, η θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Celsius
- Po, η ατμοσφαιρική πίεση σε χιλιοστά στήλης Υδραργύρου (mmHg)
- P, η ατμοσφαιρική πίεση μειωμένη στη μέση στάθμη της θάλασσας (mmHg)
- Pa, η τάση της πίεσης, δηλαδή η αλλαγές της ατμοσφαιρικής πίεσης στις τελευταίες 3 ώρες (mmHg)
- U, η σχετική υγρασία (0-100 %) σε ύψος 2 μέτρα από την επιφάνεια της Γης.
- DD, η μέση κατεύθυνση του ανέμου (σε σημεία πηξίδας) σε ύψος 10-12 μέτρα από την επιφάνεια της γης για πάνω από 10 λεπτά από την αρχή της παρατήρησης, όπως ορίζει ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός.
- Ff, η μέση ταχύτητα του ανέμου (σε m/s), σε ύψος 10-12 μέτρα από την επιφάνεια της γης για πάνω από 10 λεπτά από την αρχή της παρατήρησης, όπως ορίζει ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός.
- ff10, η μέγιστη τιμή της ριπής (m/s), σε ύψος 10-12 μέτρα από την επιφάνεια της γης για πάνω από 10 λεπτά από την αρχή της παρατήρησης, όπως ορίζει ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός.
- ff3, η μέγιστη τιμή της ριπής (m/s), σε ύψος 10-12 μέτρα από την επιφάνεια της γης, ανάμεσα στις περιόδους παρατήρησης.
- N, συνολική κάλυψη από σύννεφα.
- WW, παρούσες καιρικές συνθήκες που αναφέρονται από μετεωρολογικό σταθμό.
- W1, παρελθοντικός καιρός (καιρός ανάμεσα στις περιόδους παρατήρησης).
- W2, παρελθοντικός καιρός (καιρός ανάμεσα στις περιόδους παρατήρησης).
- Tn, η ελάχιστη θερμοκρασία αέρα (βαθμοί Celsius) κατά διάρκεια της περασμένης περιόδου (όχι πάνω από 12 ώρες).
- Tx, η μέγιστη θερμοκρασία αέρα (βαθμοί Celsius) κατά διάρκεια της περασμένης περιόδου (όχι πάνω από 12 ώρες).
- Cl, σύννεφα των γενών stratocumulus, stratus, cumulus και cumulonimbus.
- Nh, η ποσότητα των σύννεφων της στήλης Cl αν υπάρχει παρουσία, αν δεν υπάρχει παρουσία Cl σύννεφων, τότε η στήλη περιέχει την ποσότητα σύννεφων της στήλης Cm.
- H, το ύψος στη βάση των χαμηλότερων σύννεφων (σε m).
- Cm, σύννεφα των γενών Altocumulus, Altostratus και Nimbostratus.
- Ch, σύννεφα των γενών Cirrus, Cirrocumulus και Cirrostratus.
- VV, η οριζόντια ορατότητα (σε km).
- Td, η θερμοκρασία σημείου δρόσου (σε βαθμούς Celsius) σε ύψος 2 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της γης.
- RRR, η ποσότητα βροχόπτωσης (σε mm).
- tR, η περίοδος χρόνου κατά τον οποίο διαπιστώθηκε η ποσότητα βροχόπτωσης της στήλης RRR.
- E, η κατάσταση του εδάφους χωρίς χιόνι ή μετρήσιμη κάλυψη πάγου.

- T_g , η ελάχιστη θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους τη νύχτα (σε βαθμούς Celsius).
- E' , η κατάσταση του εδάφους με χιόνι ή μετρήσιμη κάλυψη πάγου.
- S_{ss} , βάθος χιονιού (σε cm).

Τα δεδομένα που εξηγήθηκαν παραπάνω θα επεξεργαστούν ώστε να πάρουν την επιθυμητή μορφή και να προκύψουν τα συμπεράσματα για τη μελέτη περίπτωσης που ακολουθεί.

4 Μελέτη περίπτωσης

Στο κεφάλαιο αυτό εφαρμόζεται τα κριτήρια που δημιουργήθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο σε δύο περιοχές μελέτης, για τις οποίες παρατίθενται κάποιες βασικές πληροφορίες στις παρακάτω παραγράφους.

Η πρώτη περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τη μητροπολιτική περιοχή της Αθήνας, της πρωτεύουσας της Ελλάδας, που βρίσκεται στο νότιο τμήμα της χώρας. Η Αθήνα βρίσκεται στο λεκανοπέδιο της Αττικής και περιβάλλεται από το Αιγαίο Πέλαγος στα νότια, το όρος Πάρνηθα στα βορειοδυτικά, το Πεντελικό όρος στα βορειοανατολικά και το όρος Υμηττό στα ανατολικά [59]. Ο πληθυσμός της μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας ξεπερνά τα 3 εκατομμύρια, σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ) και αποτελεί την πολυπληθέστερη πόλη της Ελλάδος [60]. Διαθέτει πλούσια ιστορική και πολιτιστική κληρονομιά και αποτελεί πολυπολιτισμικό κέντρο καθώς σε αυτήν κατοικούν άνθρωποι από πάρα πολλές εθνικότητες. Επίσης, έχει μεσογειακό κλίμα που χαρακτηρίζεται από ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και ήπιους, υγρούς χειμώνες. Οι συζητήσεις γύρω από τα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα της Αθήνας αφορούν κυρίως την ατμοσφαιρική ρύπανση, τις θερμικές νησίδες και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων. Τέλος, το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας είναι περίπου $37,9838^{\circ}$ Β και το γεωγραφικό μήκος της $23,7275^{\circ}$ Α [59].

Η δεύτερη περιοχή μελέτης είναι το Ελσίνκι, η πρωτεύουσα της Φινλανδίας, το οποίο βρίσκεται στη νότια ακτή της χώρας, στα παράλια του Κόλπου της Φινλανδίας και απέναντί του είναι το Ταλίν της Εσθονίας. Ο πληθυσμός του ανέρχεται στους 675,747 κατοίκους (Φεβρουάριος 2024) και αποτελεί την πολιτική, οικονομική και πολιτιστική καρδιά της Φινλανδίας [61]. Βρίσκεται περίπου στις 60.171° βόρειου γεωγραφικού πλάτους και στις 24.938° ανατολικού γεωγραφικού μήκους. Το Ελσίνκι έχει υγρό ηπειρωτικό κλίμα, όπου οι χειμώνες είναι παγωμένοι, χιονισμένοι, με θύελλες και έντονα σύννεφα. Το καλοκαίρι όμως, το Ελσίνκι έχει παρατεταμένο φως ημέρας και το κλίμα είναι πιο ζεστό και μερικώς συννεφιασμένο με καταιγίδες. Ο αστικός ιστός του Ελσίνκι χαρακτηρίζεται ένα συνδυασμό σύγχρονης αρχιτεκτονικής και ιστορικών χώρων, χώρων πρασίνου και περιοχών κοντά στη θάλασσα, καθιστώντας το ένα μοναδικό αστικό περιβάλλον [62].

4.1 Αθήνα, Ελλάδα

Αρχικά, για την Αθήνα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα σε μορφή csv αρχείου, τα οποία περιλαμβάνουν τα καιρικά δεδομένα κατά τη διάρκεια των ετών 2006 έως 2022. Τα δεδομένα που διαθέτει η ιστοσελίδα έχουν ως πρώτη στήλη δεδομένα ημερομηνίας-ώρας. Η μορφή των δεδομένων της στήλης αυτής είναι η εξής: YY-mm-dd HH:MM:SS, όπου YY ο χρόνος (2 ψηφία), mm ο μήνας (2 ψηφία), dd η ημέρα (2 ψηφία), HH η ώρα (2 ψηφία), MM τα λεπτό (2 ψηφία) και SS το δευτερόλεπτο (2 ψηφία). Γενικά, οι ημερομηνίες είναι διαθέσιμες όλες, εκτός κάποιων ελαχίστων εξαιρέσεων. Οι ώρες έχουν ουσιαστικά τη μορφή HH:00:00, δηλαδή τα λεπτά και τα δευτερόλεπτα είναι πάντα 00, ενώ οι ώρες στις οποίες παρέχονται τα δεδομένα είναι οι εξής: '02:00:00', '05:00:00', '08:00:00', '11:00:00', '14:00:00', '17:00:00', '20:00:00', '23:00:00'.

Σε πρώτη φάση διαβάστηκε το αρχείο csv και περάστηκε σε ένα dataframe με όνομα df. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε μία στήλη με όνομα 'Date_Time', στην οποία θα υπάρχει το περιεχόμενο της πρώτης στήλης, που έχει όνομα 'Local time in Elliniko', αλλά θα έχει μετατραπεί το συγκεκριμένο περιεχόμενο σε μορφή δεδομένου datetime64[ns]. Έπειτα, εκκινεί η ανάλυση των κλιματικών κινδύνων.

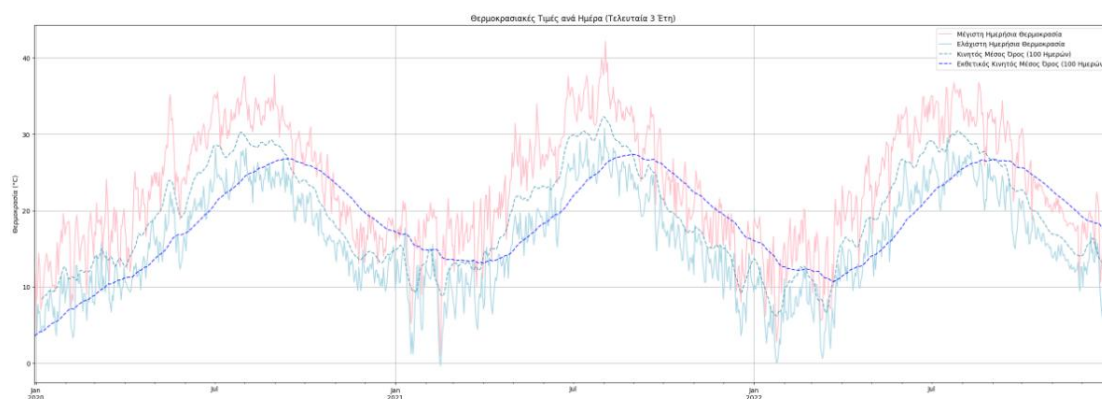
4.1.1 Κύμα καύσωνα

4.1.1.1 1ο κριτήριο – Δείκτης Θερμότητας

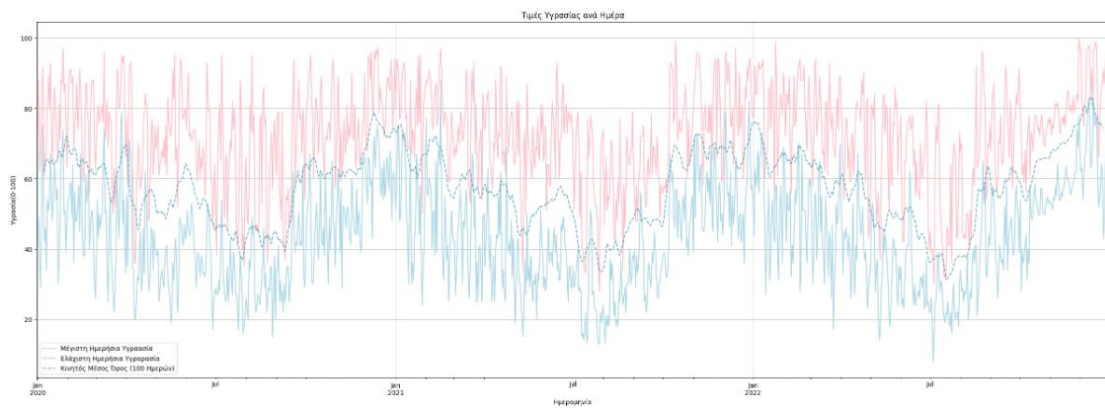
Για το πρώτο κριτήριο, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, η μεταβλητή απόφασης είναι ο δείκτης θερμότητας (Heat Index). Για τον υπολογισμό του, απαιτούνται η θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία, δηλαδή οι στήλες T και U των δεδομένων μας.

Για αρχή, γίνεται ο έλεγχος για τα κενά δεδομένα, κατά τον οποίο θα αποκλείσουμε τις χρονιές των δεδομένων στις οποίες υπάρχουν κενές τιμές για τα μεγέθη που χρειάζονται για τον υπολογισμό του δείκτη, οι οποίες ξεπερνούν το 25%. Οι συγκεκριμένες χρονιές είναι το 2013 και το 2014, στις οποίες υπάρχουν 117 και 197 αντίστοιχα, ταυτόχρονα και για τις δύο μεταβλητές. Πιθανότατα σε αυτές τις χρονιές υπάρχει κενό δεδομένων σε όλες τις στήλες. Τα έτη με μεγάλη απώλεια δεδομένων αποκλείστηκαν, διότι αφού υπολογιστεί ο δείκτης θερμότητας, θα γίνουν boxplots για κάθε έτος ξεχωριστά.

Το επόμενο βήμα είναι το γέμισμα των κενών τιμών στα εναπομείναντα έτη. Για να γίνει αυτή η διαδικασία πρέπει να παρακολουθηθεί η συμπεριφορά των δύο μεταβλητών που χρειάζονται για τον υπολογισμό του δείκτη θερμότητας. Παρακάτω παρατίθενται οι γραφικές παραστάσεις των δύο χρονοσειρών κατά τα 3 τελευταία χρόνια των δεδομένων. Στην κάθε γραφική απεικονίζεται η μέγιστη ημερήσια τιμή, η ελάχιστη ημερήσια τιμή, ο Κινητός Μέσος Όρος (100 ημερών) και ο Εκθετικός Κινητός Μέσος Όρος (100 ημερών). Ο σκοπός των γραφικών παραστάσεων είναι τη παραγωγή συμπερασμάτων, σε σχέση με την εποχιακότητα και την τάση που μπορεί να εμφανίζουν οι χρονοσειρές.



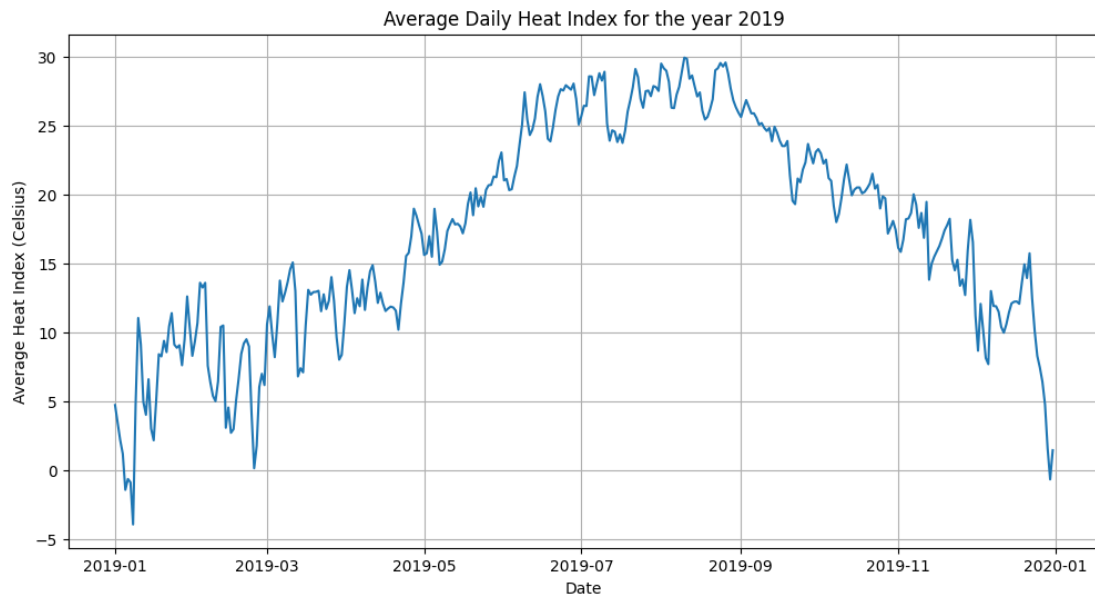
Εικόνα 12- Ημερήσιες θερμοκρασιακές τιμές για την περίοδο 2020-2022



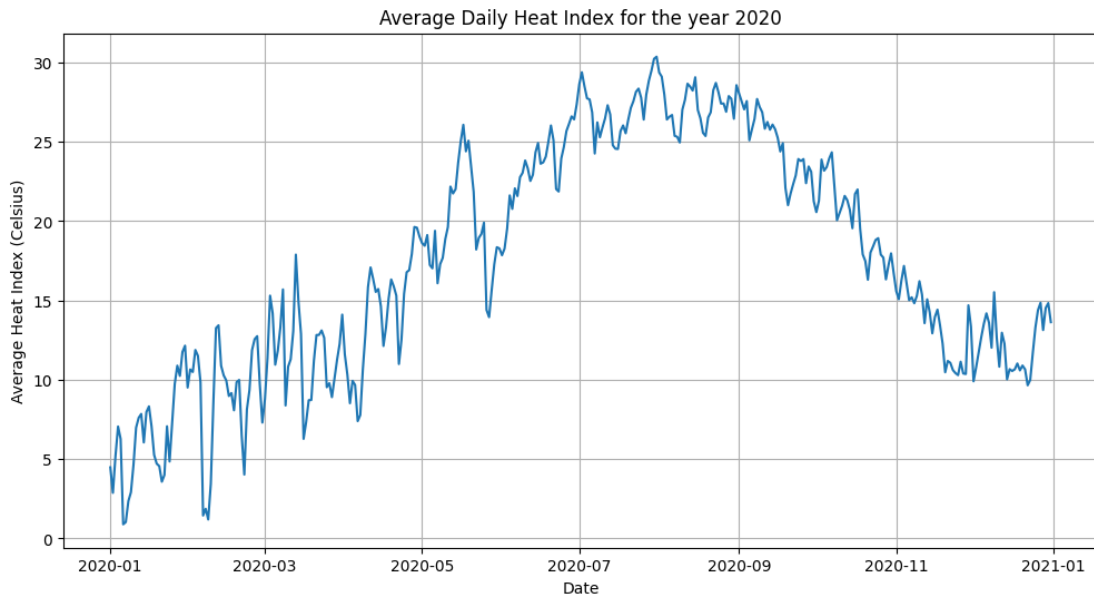
Εικόνα 13 - Ημερήσιες τιμές υγρασίας για την περίοδο 2020-2022

Και στις δύο γραφικές παραστάσεις δεν εντοπίζεται τάση, ενώ παρουσιάζεται εποχιακότητα, ιδιαίτερα στην περίπτωση της θερμοκρασίας όπου είναι ξεκάθαρο από τη γραφική παράσταση. Επομένως, οι λίγες τιμές που είναι κενές θα αντικατασταθούν με το μέσο όρο των τιμών ίδιας ώρας και ημερομηνίας όλων των υπολοίπων ετών.

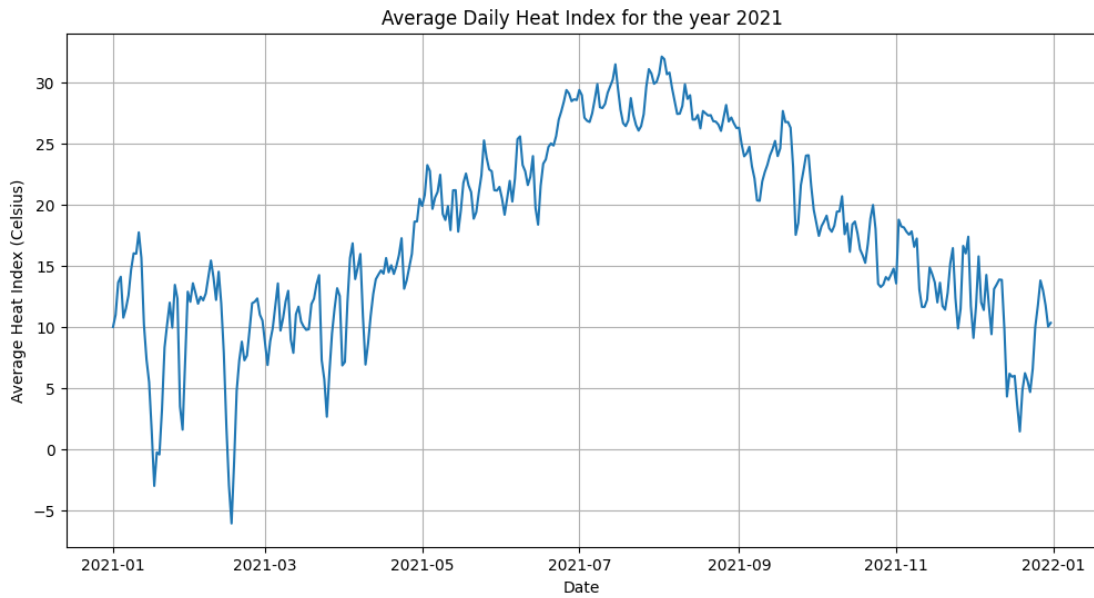
Στη συνέχεια υπολογίζεται ο δείκτης θερμότητας για κάθε διαθέσιμη ημερομηνία και ώρα. Αφού υπολογιστεί, πραγματοποιείται γραφική απεικόνιση του δείκτη θερμότητας για κάθε έτος ξεχωριστά, ώστε να παρακολουθηθεί η συμπεριφορά των τιμών κατά τη διάρκεια των εποχών του έτους.



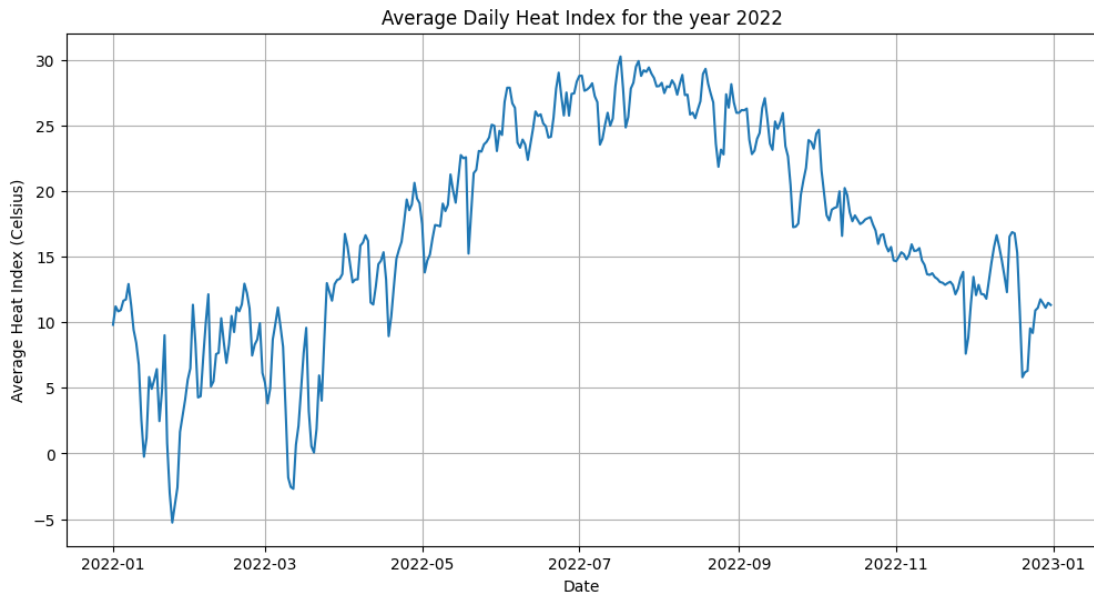
Εικόνα 14 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το έτος 2019



Εικόνα 15 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το έτος 2020

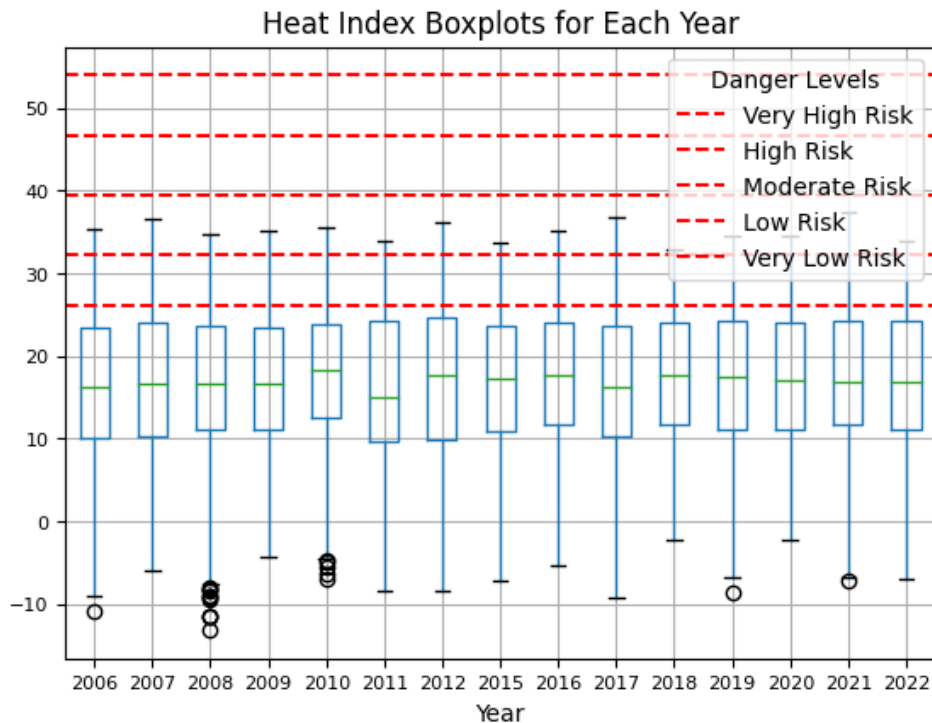


Εικόνα 16 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το έτος 2021



Εικόνα 17 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το έτος 2022

Οι τιμές των γραφημάτων είναι η μέση ημερήσια τιμή του δείκτη θερμότητας, ώστε να είναι πιο ευδιάκριτες. Η ευαίσθητη χρονική περίοδος όσον αφορά τους καύσωνες, είναι προφανής και αναμενόμενη. Συνεπώς, έχει επιλεγθεί να αναλυθεί το χρονικό διάστημα από την 1^η Ιουνίου έως και την 30^η Σεπτεμβρίου. Για αυτή τη χρονική περίοδο κάθε χρόνου, πραγματοποιείται boxplot analysis η οποία παρουσιάζεται ακολούθως:



Εικόνα 18 - Boxplots για τις τιμές του Δείκτη θερμότητας σε κάθε έτος ξεχωριστά

Είναι εμφανές ότι το επίπεδο επικινδυνότητας για αυτό το κριτήριο είναι το επίπεδο χαμηλού κινδύνου (Low Risk). Όμως, για να προχωρήσει η ανάλυση για τον υπολογισμό βαρών θα χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των μέγιστων τιμών από τα boxplots κάθε έτους, οι οποίες είναι ίδιες με τις μέγιστες τιμές κάθε έτους καθώς δεν υπάρχουν outliers στις ψηλές τιμές. Οι ακριβείς μέγιστες τιμές για όλα τα έτη φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 29 - Μέγιστες τιμές του Δείκτη Θερμότητας από τα boxplots κάθε έτους

Έτος	Τιμή
2007	35.350320054399994
2008	36.614970086702996
2009	34.81634862282415
2010	35.084707020696406
2011	35.613706073564835
2012	33.85184443334484
2015	33.69098058959868
2016	35.075501747667126
2017	36.66320171767584
2018	32.81936732422556
2019	34.532906712395906
2020	34.53505540965192
2021	37.314245157895
2022	33.83764011929705

Ο μέσος όρος των μέγιστων τιμών όλων των χρόνων είναι 35.07772674464998, με τον αριθμό κλίμακας 0 έως 4 να είναι 1.3996842700902747.

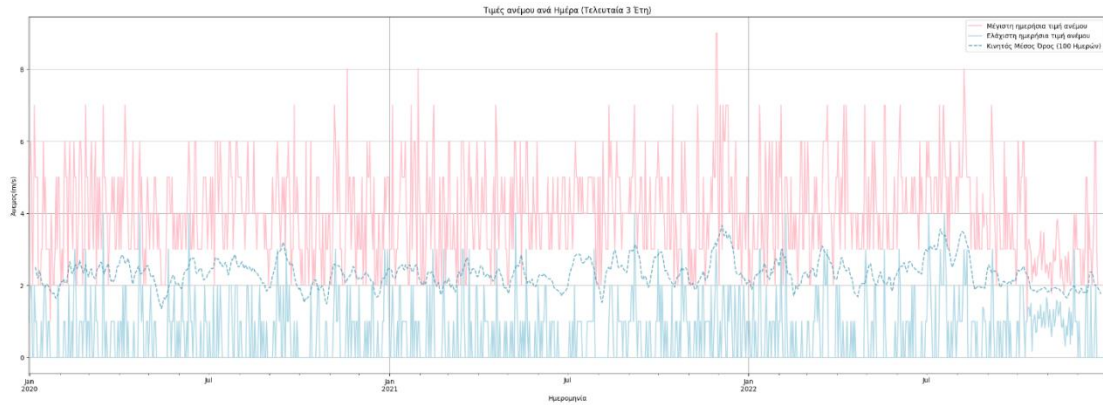
4.1.1.2 2ο κριτήριο – Συνεχόμενες ημέρες καύσινα

Το δεύτερο κριτήριο χρειάζεται τον υπολογισμό του μέγιστου αριθμού συνεχόμενων ημερών με μέση ημερήσια θερμοκρασία μεγαλύτερη από τους 32 °C. Η γραφική απεικόνιση και το γέμισμα τιμών για τη μεταβλητή της θερμοκρασίας έγινε στο 1^ο κριτήριο, άρα τα δεδομένα είναι έτοιμα προς ανάλυση. Ο αριθμός των περισσότερων συνεχόμενων ημερών με μέση ημερήσια θερμοκρασία μεγαλύτερη των 32 °C είναι 9. Συνεπώς, κατατάσσεται στο επίπεδο Μέτριου κινδύνου η υπολογισμένη τιμή σε κλίμακα 0 έως 4 ισούται με 3.

4.1.2 Ψυχρό κύμα

4.1.2.1 1ο κριτήριο – Δείκτης Ψύξης Ανέμου

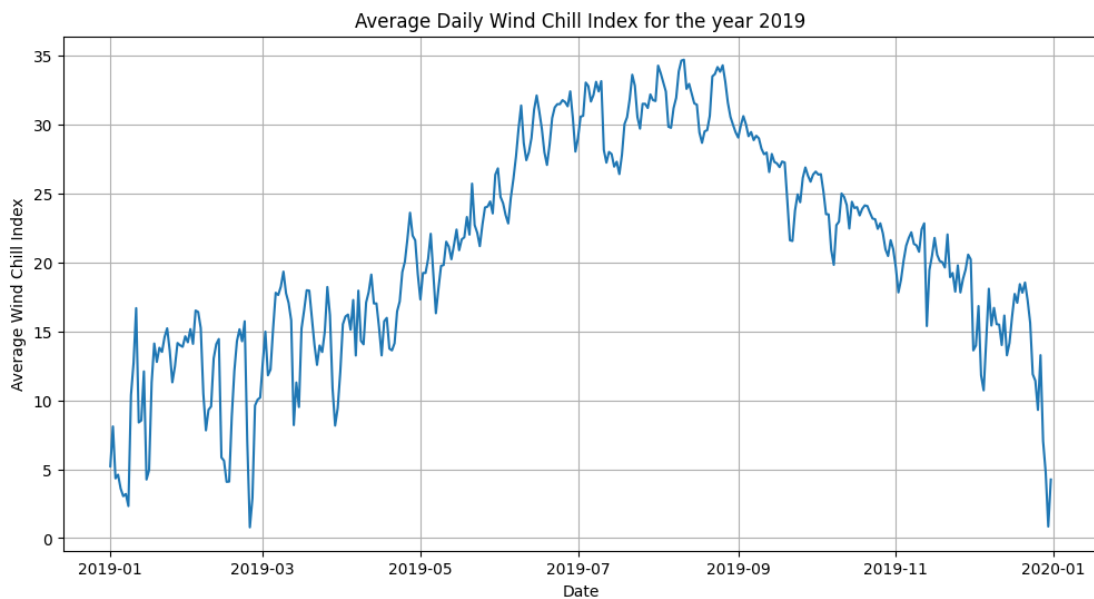
Καταρχήν, πραγματοποιήθηκε έλεγχος για τις κενές τιμές, όπως στα κριτήρια του προηγούμενου κλιματικού κινδύνου και προέκυψε ότι οι χρονιές 2013 και 2014 έχουν τις συγκεκριμένες κενές τιμές για όλες τις στήλες των δεδομένων, επομένως αφαιρέθηκαν συνολικά από το dataframe. Για το παρόν κριτήριο, απαιτείται ο υπολογισμός του Δείκτη Ψύξης Ανέμου (WCI), ο οποίος έχει ως παραμέτρους τη θερμοκρασία του αέρα και την ταχύτητα του ανέμου. Επομένως, αρκεί να παρατηρηθεί η συμπεριφορά της χρονοσειράς της ταχύτητας του ανέμου. Η γραφική παράσταση για τη μέγιστη ημερήσια τιμή, την ελάχιστη ημερήσια τιμή και τον Κινητό Μέσο Όρο (100 ημερών) είναι η παρακάτω:



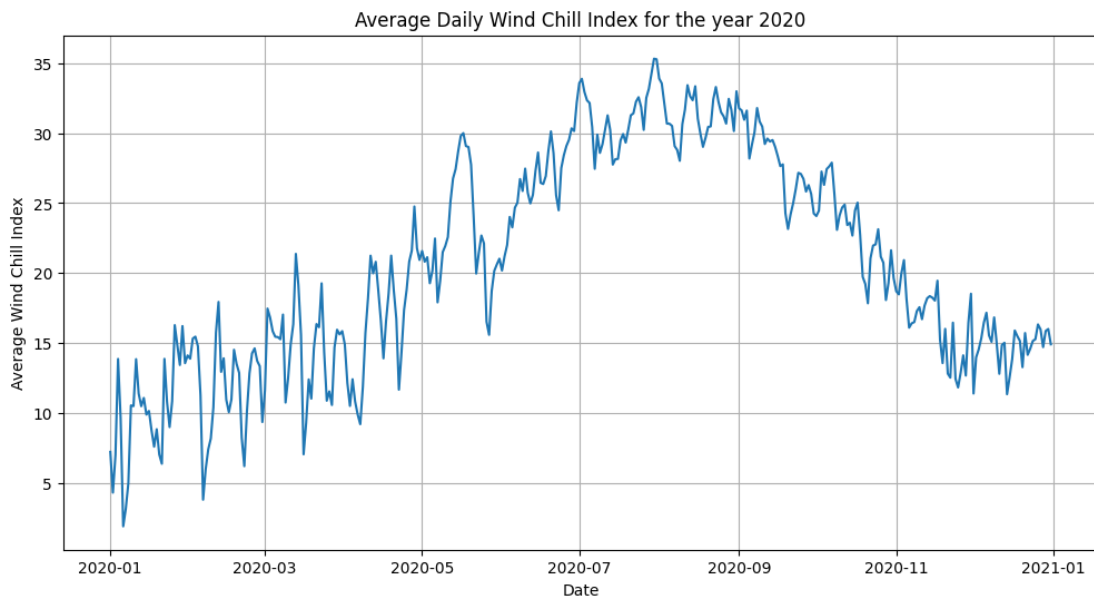
Εικόνα 19 - Ημερήσιες τιμές ταχύτητας του ανέμου για την περίοδο 2020-2022

Είναι ευδιάκριτο ότι η συγκεκριμένη χρονοσειρά δεν παρουσιάζει ούτε εποχιακότητα, ούτε κάποια τάση, πράγμα αναμενόμενο καθώς ο δυνατός άνεμος είναι ξαφνικό φαινόμενο. Όμως οι ημέρες, οι ώρες και το κλίμα της κάθε εποχής έχει αντίκτυπο στην τιμή του ανέμου, επομένως αυτές τις λίγες κενές τιμές θα τις αντικαταστήσουμε με το μέσο όρο της μεταβλητής σε ίδια ημερομηνία και ίδια ώρα.

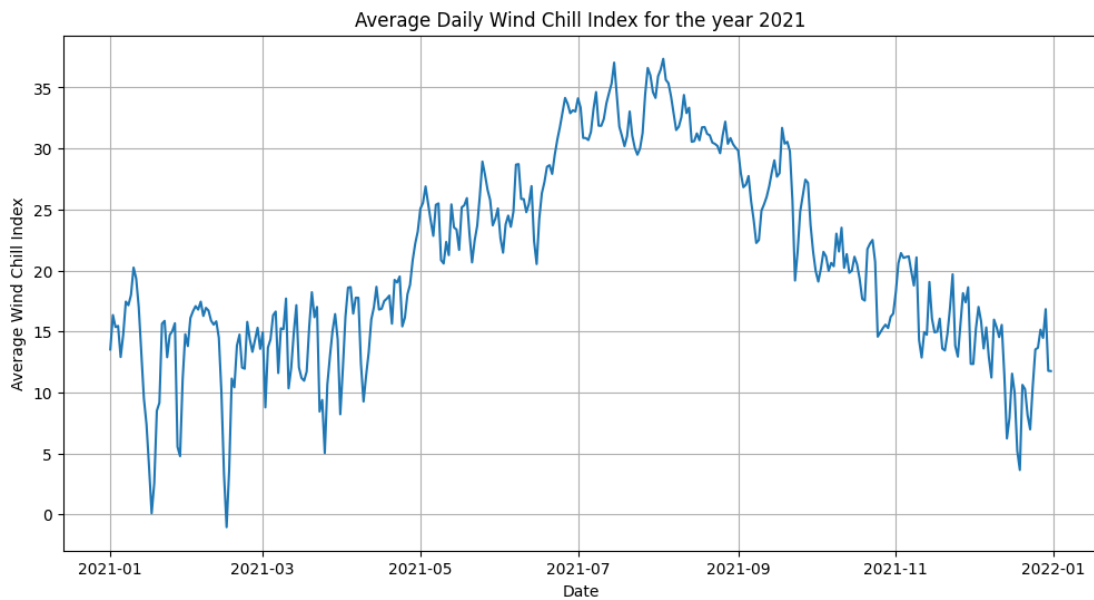
Έπειτα, υπολογίζεται ο Δείκτης Ψύξης Ανέμου και πραγματοποιείται γραφική απεικόνιση του δείκτη σε συνάρτηση με το χρόνο, για κάθε έτος ξεχωριστά. Ενδεικτικά, ακολούθως φαίνονται οι γραφικές για τα 4 τελευταία έτη:



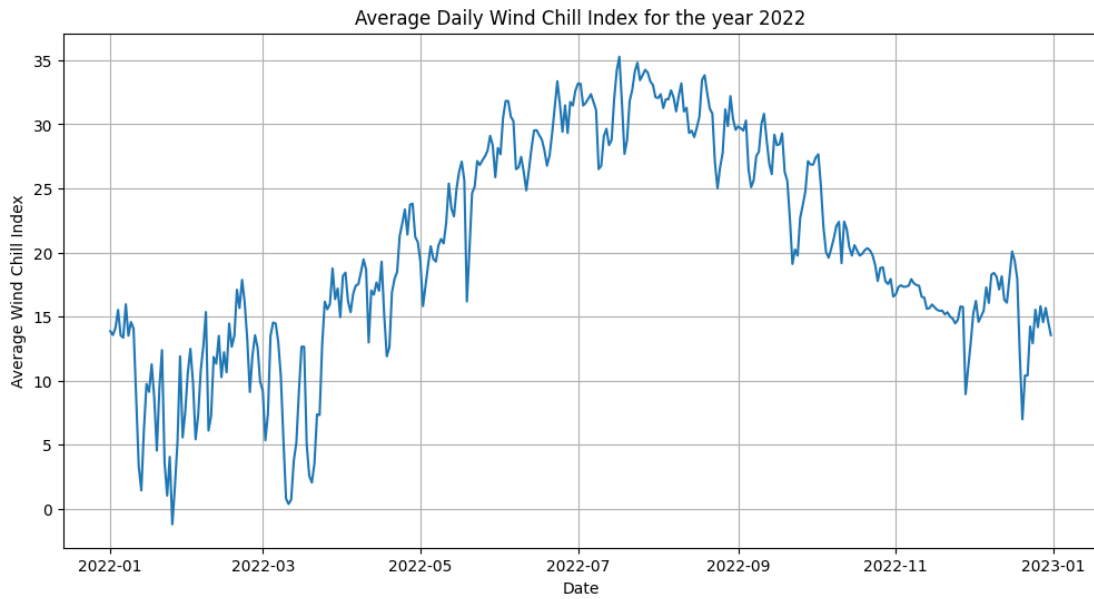
Εικόνα 20 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το έτος 2019



Εικόνα 21 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το έτος 2020

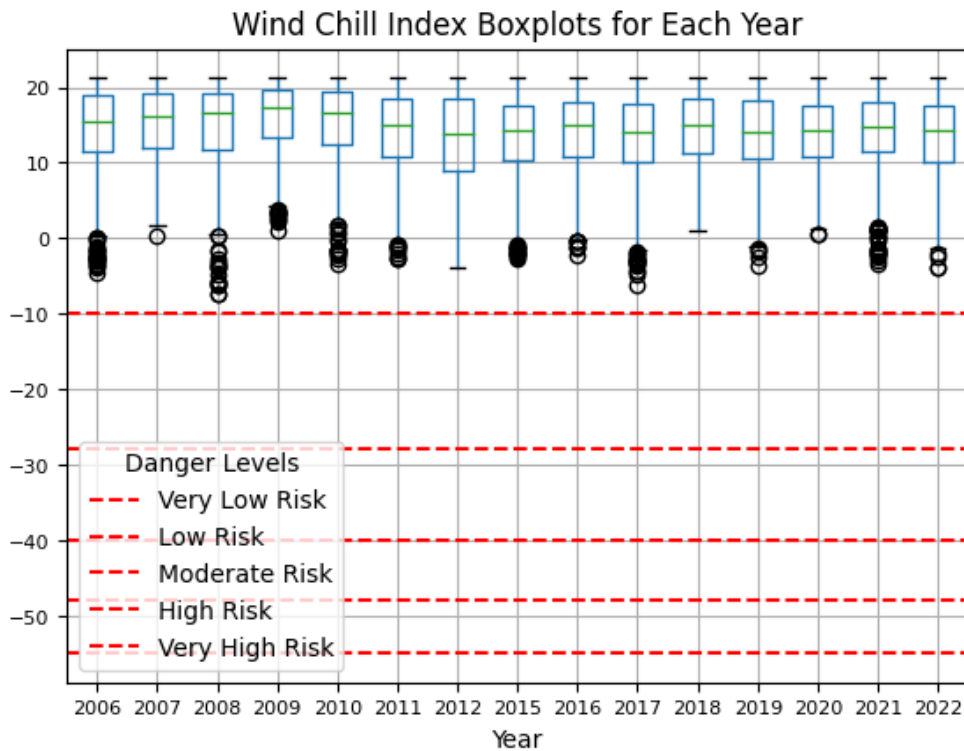


Εικόνα 22 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το έτος 2021



Εικόνα 23 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το έτος 2022

Όπως φαίνεται, οι χαμηλές τιμές εμφανίζονται κατά τους χειμερινούς μήνες. Το φιλτράρισμα που θα πραγματοποιηθεί ώστε η boxplot analysis να μην περιέχει πολλές τιμές οι οποίες βρίσκονται αρκετά εκτός του πεδίου κινδύνου, είναι να αποκοπούν από το dataframe οι τιμές που ξεπερνούν το μέσο όρο των τιμών του δείκτη, που έχει τιμή 21.269930280087827. Τα boxplots του φιλτραρισμένου δείγματος τιμών για την κάθε χρονιά φαίνονται παρακάτω:



Εικόνα 24 - Boxplots για τις τιμές του Δείκτη Ψύξης Ανέμου σε κάθε έτος ξεχωριστά

Συνεπώς, η περιοχή της Αθήνας βρίσκεται εκτός κινδύνου σύμφωνα με το 1^ο κριτήριο των ψυχρών κυμάτων. Άρα, η τιμή κλίμακας 0-4 είναι προφανώς 0.

4.1.2.2 2ο κριτήριο – Βαθμομημέρες Θέρμανσης

Για το δεύτερο κριτήριο, η μεταβλητή απόφασης είναι οι ετήσιες βαθμομημέρες θέρμανσης (HDD) οι οποίες εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του αέρα. Η συγκεκριμένη στήλη των δεδομένων είναι έτοιμη προς ανάλυση από τα προηγούμενα κριτήρια. Υπολογίζονται οι βαθμομημέρες θέρμανσης για κάθε χρόνο, με θερμοκρασία βάσης τους 15 βαθμούς Celsius και προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 30 - Ετήσιες τιμές Βαθμομημερών θέρμανσης

Έτος	Τιμή
2007	669,949762
2008	519,583571
2009	503,271429
2010	409,136190
2011	341,132058
2012	520,016548
2015	514,437361
2016	493,047143
2017	428,070595
2018	473,454524
2019	364,489286
2020	447,322619
2021	385,468690
2022	383,546429

Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο μέσος όρος με βάση τον οποίο θα γίνει η απόφαση για το επίπεδο επικινδυνότητας. Ο μέσος όρος που προκύπτει είναι: 463,74550609707757.

Συμπερασματικά, σύμφωνα και με το 2^ο κριτήριο των ψυχρών κυμάτων η Αθήνα βρίσκεται εκτός κινδύνου. Συνεπώς, και για αυτό το κριτήριο η τιμή κλίμακας 0-4 είναι μηδέν.

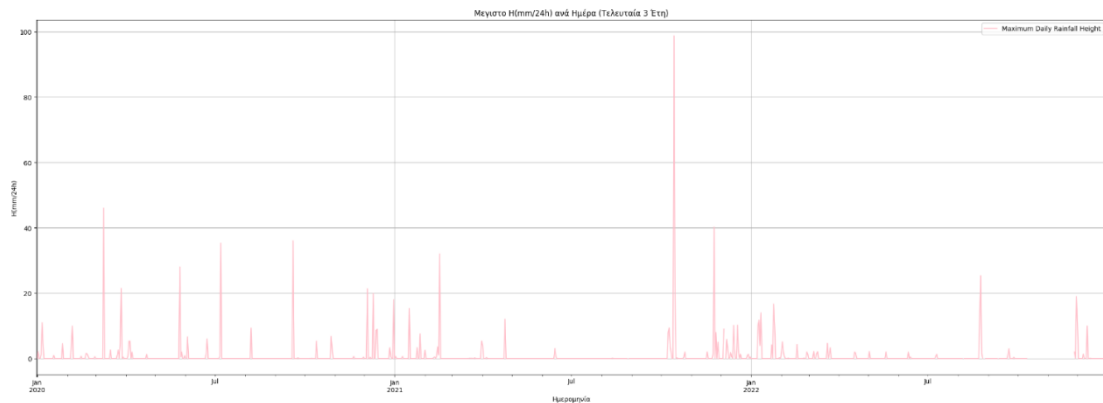
4.1.3 Ισχυρή βροχόπτωση

4.1.3.1 1ο κριτήριο – Ύψος βροχόπτωσης

Η απόφαση του επιπέδου επικινδυνότητας για την ισχυρή βροχόπτωση υλοποιείται με τη χρήση της μεταβλητής του ύψους βροχόπτωσης $H(\text{mm}/24\text{h})$. Στα διαθέσιμα δεδομένα δεν υπάρχει στήλη H με την επιθυμητή μορφή. Όμως, υπάρχουν 2 στήλες με τη χρήση των οποίων θα γίνει ο υπολογισμός του H . Η μία στήλη είναι η RRR η οποία περιέχει την ποσότητα βροχόπτωσης σε mm και η δεύτερη είναι η t_R που περιέχει την περίοδο χρόνου κατά τον οποίο διαπιστώθηκε η ποσότητα βροχόπτωσης της στήλης RRR. Πιο συγκεκριμένα, η στήλη RRR έχει τιμή μόνο όταν το t_R έχει τιμή και η t_R έχει τιμή ανά κάποιες ώρες. Επομένως, όταν η στήλη t_R έχει τιμή, ο υπολογισμός της στήλης H γίνεται με βάση τον ακόλουθο τύπο:

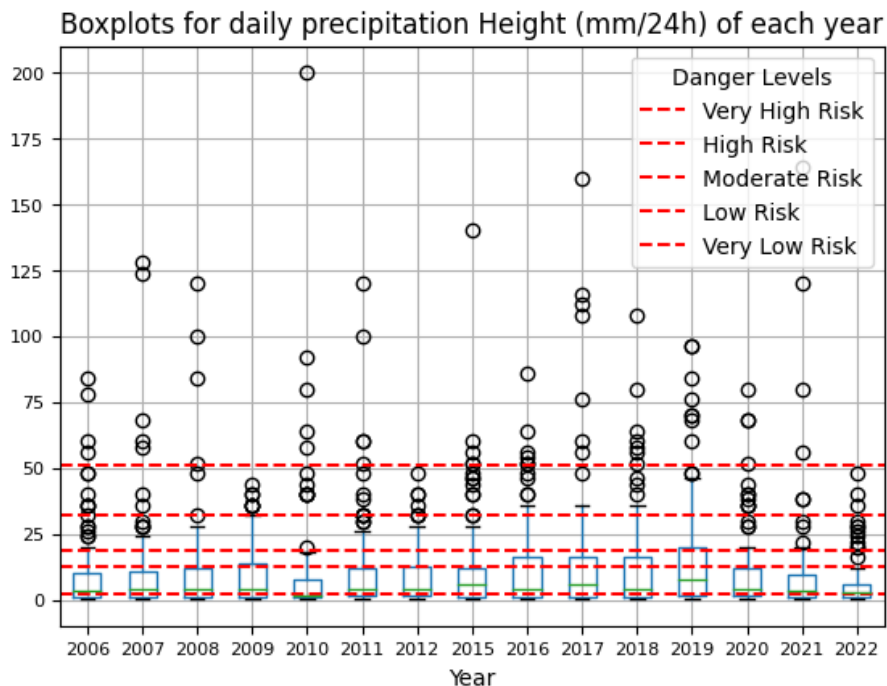
$$H = \frac{RRR * 24}{t_R}$$

Αφού δημιουργηθεί η στήλη H, θα γίνει η γραφική παράσταση της χρονοσειράς όπως και στα προηγούμενα, ώστε να παρατηρηθεί η συμπεριφορά της σε συνάρτηση με το χρόνο. Παρακάτω, η απεικόνιση της βροχόπτωσης για τα τελευταία 3 έτη των δεδομένων, ώστε να είναι πιο ευδιάκριτη:



Εικόνα 25 - Μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση για την περίοδο 2020-2022

Στην ενότητα 3.2 όπου εξηγήθηκαν οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στη μελέτη περίπτωσης, επισημάνθηκε ότι η έντονη βροχή είναι ένα φαινόμενο ξαφνικό και δύσκολα προβλέψιμο. Αυτό επιβεβαιώνεται και από την παραπάνω γραφική, καθώς δεν εμφανίζεται καμία εποχιακότητα ή τάση. Για το κριτήριο αυτό, θα γίνουν boxplots για κάθε χρόνο ξεχωριστά.



Εικόνα 26 - Boxplots για την ημερήσια βροχόπτωση κάθε έτους

Όπως διακρίνεται στο παραπάνω γράφημα, υπάρχουν κάποιες μεμονωμένες ακραίες τιμές βροχόπτωσης. Για να παραχθεί όμως ένα συμπέρασμα για το μέγεθος της συχνής έκθεσης σε δυνατές βροχές, θα χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των μέγιστων τιμών κάθε έτους από τα boxplots, χωρίς δηλαδή τα outliers. Ο μέσος όρος είναι 29.376666666666665, με αποτέλεσμα να κατατάσσεται στο επίπεδο μέτριου κινδύνου (Moderate Risk) και η τιμή κλίμακας 0-4 να προκύπτει ίση με 2.798205128205128.

4.1.3.2 2ο κριτήριο – Περίοδος Επαναφοράς

Στο πρώτο κριτήριο η απόφαση για το επίπεδο κινδύνου προκύπτει από την ένταση της βροχόπτωσης. Στο παρόν κριτήριο εξετάζεται η πιθανότητα εμφάνισης ενός ακραίου επεισοδίου βροχόπτωσης. Για να υπολογιστεί αυτή η πιθανότητα χρησιμοποιείται η περίοδος επαναφοράς, η οποία εξαρτάται από τον αριθμό των ακραίων βροχοπτώσεων και τον συνολικό αριθμό των ημερών των δεδομένων. Αφού πρώτα υπολογιστεί η μέση βροχόπτωση για κάθε ημέρα και ο αριθμός των ημερών των δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί η ανάλυση. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τις περιπτώσεις που η ημερήσια βροχόπτωση ξεπερνά το κατώφλι του ακραίου κινδύνου, για το συνολικό αριθμό των ημερών και για την περίοδο επιστροφής, είναι τα εξής:

Πίνακας 31 - Περίοδος επαναφοράς

Αριθμός ακραίων γεγονότων	7
Συνολικές ημέρες δεδομένων	5479
Περίοδος επαναφοράς	782.7142857142857

Η περίοδος επιστροφής είναι 782.7142857142857 και το επίπεδο επικινδυνότητας στο οποίο ανήκει είναι αυτό του Μέτριου κινδύνου. Επιπρόσθετα, η υπολογισμένη τιμή κλίμακας 0-4 είναι 2.572211350293542.

4.1.4 Καταιγίδα

4.1.4.1 1ο κριτήριο – Ταυτόχρονη παρουσία βροχής και ανέμου

Τα καιρικά μεγέθη που απαιτούνται για το πρώτο κριτήριο των καταιγίδων είναι το ύψος βροχόπτωσης και η ταχύτητα του ανέμου, οι οποίες είναι έτοιμες προς ανάλυση από τα κριτήρια της ισχυρής βροχόπτωσης και των ψυχρών κυμάτων αντίστοιχα. Η έκφραση μιας καταιγίδας από αυτές τις μεταβλητές απόφασης, γίνεται μέσω της ταυτόχρονης παρουσίας δυνατού αέρα και βροχόπτωσης. Για να εντοπιστεί ο πιο επικίνδυνος συνδυασμός τιμών αέρα και βροχής κατά τη διάρκεια των ετών που περιέχουν τα δεδομένα, αρχικά θα καταταχθούν η βροχή και ο άνεμος σε επίπεδα επικινδυνότητας μεμονωμένα. Δηλαδή, θα προστεθεί μία στήλη στα δεδομένα που θα ονομάζεται Level_H, η οποία για κάθε καταγεγραμμένη τιμή του ύψους βροχόπτωσης (H) θα παίρνει μία τιμή από 0 έως 5 για τα επίπεδα του παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 32 - Αριθμημένα επίπεδα για την τιμή του ύψους βροχόπτωσης

Επίπεδο επικινδυνότητας	Ύψος Βροχόπτωσης (mm/24h)	Αριθμός επιπέδου
Εκτός Κινδύνου	$H \leq 2.5$	0
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$2.5 < H \leq 12.7$	1
Χαμηλός Κίνδυνος	$12.7 < H \leq 19$	2
Μέτριος Κίνδυνος	$19 < H \leq 32$	3

Υψηλός Κίνδυνος	$32 < H \leq 50.8$	4
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$H > 50.8$	5

Αντίστοιχα, θα προστεθεί μία στήλη στα δεδομένα που θα ονομάζεται Level_Ff, η οποία για κάθε καταγεγραμμένη τιμή της ταχύτητας του ανέμου (Ff) θα παίρνει μία τιμή από 0 έως 5 για τα επίπεδα του παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 33 - Αριθμημένα επίπεδα για την τιμή της ταχύτητας του ανέμου

Επίπεδο επικινδυνότητας	Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Αριθμός επιπέδου
Εκτός Κινδύνου	$Ff \geq 12$	0
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$12 < Ff \leq 23$	1
Χαμηλός Κίνδυνος	$23 < Ff \leq 33$	2
Μέτριος Κίνδυνος	$33 < Ff \leq 42$	3
Υψηλός Κίνδυνος	$42 < Ff \leq 50$	4
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$Ff > 50$	5

Έπειτα, θα δημιουργηθεί μία ακόμη στήλη, με όνομα Final_level, η οποία σε περίπτωση που οι στήλες Level_H και Level_Ff έχουν ίδια τιμή θα παίρνει την τιμή αυτή, ενώ αν έχουν διαφορετική τιμή θα παίρνει τη μικρότερη από τις δύο.

Αφού υλοποιήθηκε ο κώδικας που πραγματοποιεί τις παραπάνω διεργασίες, το επόμενο βήμα είναι να τυπωθούν οι σειρές στις οποίες εντοπίζονται οι μέγιστες τιμές του Final_level:

Date_Time	H	Ff	Level_H	Level_Ff	Final_Level
2016-12-29 20:00:00	20.0	14.0	3	1	1

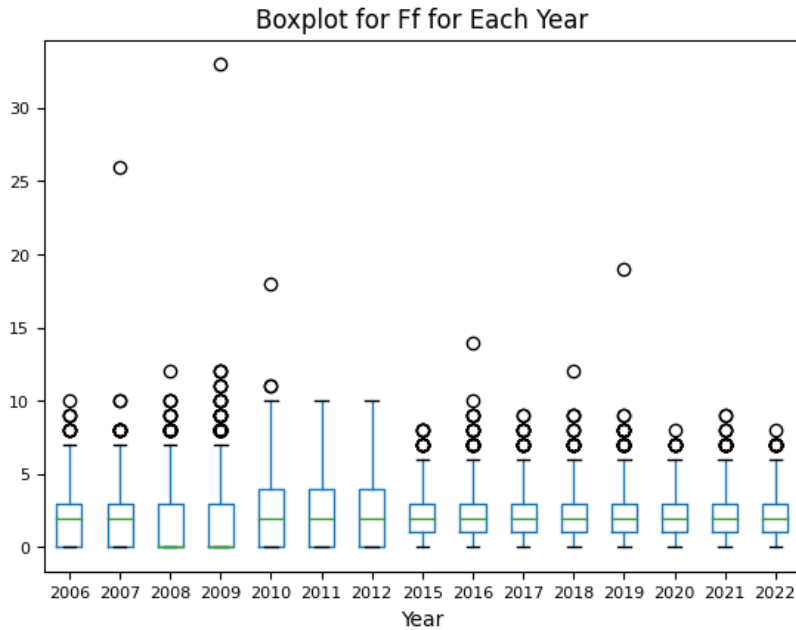
Εικόνα 27 - Σειρά δεδομένων στην οποία εντοπίζεται η μέγιστη τιμή του τελικού επιπέδου

Επομένως, εντοπίστηκε ότι η μέγιστη τιμή αντιστοιχεί στο επίπεδο 1, δηλαδή στο επίπεδο Πολύ χαμηλού κινδύνου και υπάρχει μία φορά στις 12 Σεπτεμβρίου του 2016.

Όσον αφορά την τιμή κλίμακας 0-4, εφόσον βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα οι δύο μεταβλητές μεμονωμένα, θα επιλεγεί η μέγιστη δυνατή τιμή για το επίπεδο που βρίσκονται, δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση η τιμή 1.

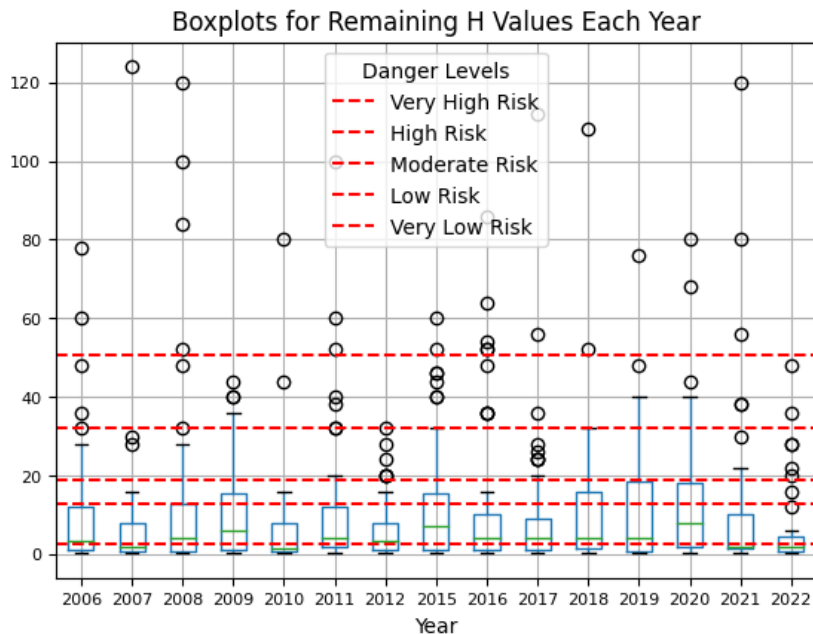
4.1.4.2 2ο κριτήριο – Εφαρμογή κατοφλίων ύψους βροχόπτωσης στις ημέρες με δυνατό άνεμο

Στο παρόν κριτήριο όπως εξηγήθηκε και στην ενότητα 3.2 το πρώτο βήμα περιλαμβάνει boxplots για κάθε έτος, σύμφωνα με την τιμή της ταχύτητας του ανέμου, τα οποία φαίνονται στο παρακάτω γράφημα:



Εικόνα 28 - Boxplots για τις τιμές της ταχύτητας του ανέμου για κάθε έτος

Το επόμενο βήμα είναι να απομονωθούν οι ημερομηνίες για τις οποίες η τιμή της ταχύτητας του ανέμου βρίσκεται ανάμεσα στη median και στο Q_3 του κάθε boxplot. Αυτές ουσιαστικά επιλέγονται ως οι πιο συνήθειες μέρες με δυνατό αέρα. Έπειτα, για τις συγκεκριμένες ημερομηνίες, πραγματοποιείται ξανά boxplot analysis, αλλά αυτή τη φορά για την ποσότητα βροχής στις βρόχινες μέρες κάθε έτους.



Εικόνα 29 - Boxplots για τις εναπομείναντες τιμές του Ύψους βροχόπτωσης για κάθε έτος

Αντίστοιχα με το 1^ο κριτήριο για την ισχυρή βροχόπτωση, η τιμή που θα χρησιμοποιηθεί για την απόφαση του επιπέδου κινδύνου θα προκύψει από το μέσο όρο των μεγίστων κάθε χρόνου, ώστε το συνολικό συμπέρασμα να είναι σφαιρικό και να

αποτελεί πόρισμα όλων των διαθέσιμων χρόνων των δεδομένων μας. Τα ακριβή μέγιστα που προκύπτουν για κάθε χρόνο είναι τα εξής:

Πίνακας 34 - Μέγιστη τιμή που προκύπτει από τα boxplots κάθε έτους

Έτος	Τιμή
2007	28.500
2008	18.800
2009	31.300
2010	37.175
2011	18.800
2012	27.225
2015	18.500
2016	37.100
2017	23.200
2018	21.000
2019	37.900
2020	45.050
2021	42.000
2022	22.900

Από αυτές τις τιμές, ο μέσος όρος που προκύπτει είναι 27.96666666666666 και κατατάσσεται στο επίπεδο του μέτριου κινδύνου (Moderate Risk). Τέλος, η τιμή κλίμακας από 0 έως 4 υπολογίστηκε 2.689743589743589.

4.1.5 Πλημμύρα

4.1.5.1 1ο κριτήριο – Ύψος βροχόπτωσης, απόσταση από σώμα νερού και υψόμετρο

Για τον κλιματικό κίνδυνο των πλημμυρών επαναχρησιμοποιείται το κριτήριο για το ύψος βροχόπτωσης, απλά με πρόσθετες δύο μεταβλητές απόφασης, την απόσταση από το κοντινότερο σώμα νερού (σε χιλιόμετρα) και το υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας (σε μέτρα). Οι δύο τελευταίες μεταβλητές απόφασης, ουσιαστικά δεν αποτελούν μεταβλητές, καθώς είναι σταθερές τιμές για τους σταθμούς των οποίων τα δεδομένα επεξεργάζονται στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία. Για το σταθμό της Αθήνας, που βρίσκεται στο νοτιοανατολικό μέρος της Αθήνας (Ελληνικό), η ιστοσελίδα που παρέχει τα καιρικά δεδομένα παρέχει επίσης την πληροφορία ότι βρίσκεται σε υψόμετρο 6 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας. Όσον αφορά την απόσταση από το κοντινότερο σώμα νερού δεν αναφέρεται ακριβής αριθμός, αλλά μία ασφαλής εκτίμηση με τη χρήση ενός εργαλείου περιήγησης σε χάρτες, είναι ότι η απόσταση είναι 1.5-2 χιλιόμετρα.

Όπως στο 1^ο κριτήριο για τις καταιγίδες θα επιλεγεί το επίπεδο επικινδυνότητας για κάθε μία από τις 3 μεταβλητές ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, για κάθε μεταβλητή θα προκύψει ένας αριθμός από 0 έως 5 που θα δηλώνει το επίπεδο κινδύνου, όπως φαίνεται στους ακόλουθους πίνακες:

Πίνακας 35 - Αριθμημένα επίπεδα για την τιμή της απόστασης από το κοντινότερο σώμα νερού

Επίπεδο επικινδυνότητας	Απόσταση από σώμα νερού (σε km)	Αριθμός επιπέδου
-------------------------	---------------------------------	------------------

Εκτός Κινδύνου	$D > 5$	0
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$5 \geq D > 3$	1
Χαμηλός Κίνδυνος	$3 \geq D > 1$	2
Μέτριος Κίνδυνος	$1 \geq D > 0.5$	3
Υψηλός Κίνδυνος	$0.5 \geq D > 0.1$	4
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$D \leq 0.1$	5

Πίνακας 36- Αριθμημένα επίπεδα για την τιμή του Υψομέτρου

Επίπεδο επικινδυνότητας	Υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας (m)	Αριθμός επιπέδου
Εκτός Κινδύνου	$E > 51$	0
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$51 \geq E > 35$	1
Χαμηλός Κίνδυνος	$35 \geq E > 22$	2
Μέτριος Κίνδυνος	$22 \geq E > 14$	3
Υψηλός Κίνδυνος	$14 \geq E > 8$	4
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$E \leq 8$	5

Για $D = 1.5$ km και $E = 6$ m, τα επίπεδα είναι 2 και 5 αντίστοιχα. Επίσης, σύμφωνα με την ανάλυση του πρώτου κριτηρίου της ισχυρής βροχόπτωσης, το επίπεδο για το ύψος βροχόπτωσης είναι το 3 (μέτριος κίνδυνος). Άρα, από τις τρεις μεταβλητές προκύπτει το επίπεδο 2, δηλαδή χαμηλός κίνδυνος και η μέγιστη δυνατή τιμή κλίμακας 0-4, η οποία είναι το 2.2ο κριτήριο – Περίοδος επαναφοράς, απόσταση από σώμα νερού και υψόμετρο

Για το δεύτερο κριτήριο των καταιγίδων χρησιμοποιείται αντίστοιχα το δεύτερο κριτήριο της ισχυρής βροχόπτωσης. Σε αυτή την περίπτωση εξετάζονται ξανά 3 μεταβλητές, εκ των οποίων οι 2 είναι και πάλι το υψόμετρο και η απόσταση από το κοντινότερο σώμα νερού. Η Τρίτη μεταβλητή απόφασης είναι η περίοδος επαναφοράς για την εμφάνιση βροχόπτωσης ακραίου κινδύνου (>50.8 mm/24h). Για το υψόμετρο και την απόσταση τα επίπεδα είναι 5 και 2 αντίστοιχα. Για τη βροχόπτωση χρησιμοποιούνται τα επίπεδα του 2^{ου} κριτηρίου της ισχυρής βροχόπτωσης.

Πίνακας 37 - Αριθμημένα επίπεδα για την τιμή της περιόδου επαναφοράς

Επίπεδο επικινδυνότητας	Περίοδος επιστροφής (χρόνια)	Αριθμός επιπέδου
Εκτός Κινδύνου	$RP \geq 10$	0
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$10 < RP \leq 5$	1
Χαμηλός Κίνδυνος	$5 < RP \leq 3$	2
Μέτριος Κίνδυνος	$3 < RP \leq 1$	3
Υψηλός Κίνδυνος	$1 < RP \leq 0.5$	4
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$RP > 0.5$	5

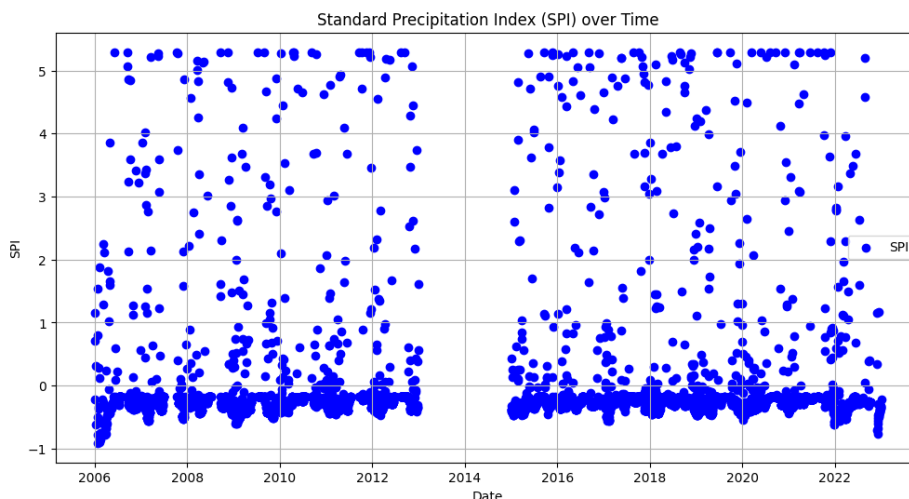
Σε επίπεδο βροχής λοιπόν, από το 2^ο κριτήριο για την ισχυρή βροχόπτωση, το επίπεδο που προέκυψε είναι αυτό του μέτριου κινδύνου, δηλαδή το επίπεδο 3. Συνεπώς, αφού οι μεταβλητές δε βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, για το παρόν κριτήριο επιλέγεται το μικρότερο των τριών, δηλαδή το επίπεδο 2, που αντιστοιχεί στον Χαμηλό κίνδυνο.

Επιπρόσθετα, η τιμή κλίμακας 0-4 που θα χρησιμοποιηθεί, είναι η μέγιστη δυνατή αυτού του επιπέδου, δηλαδή 2.

4.1.6 Ξηρασία

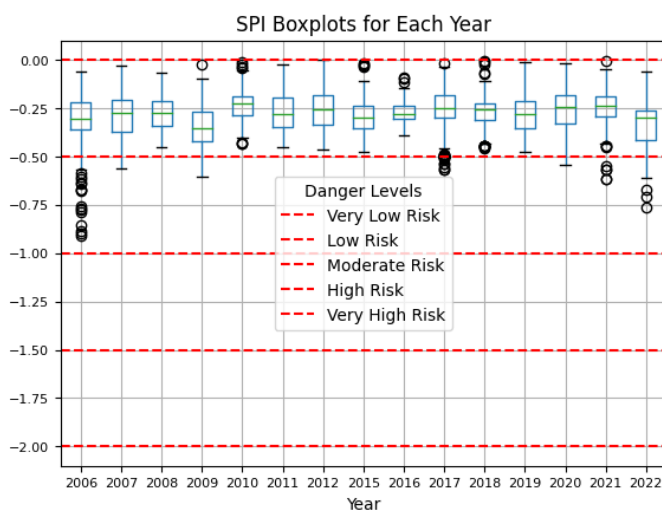
4.1.6.1 1ο κριτήριο – Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης

Η μεταβλητή απόφασης για το συγκεκριμένο κριτήριο, είναι ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης (SPI), που ο υπολογισμός του εξαρτάται από τη βροχόπτωση, δηλαδή τη στήλη Η των δεδομένων, η οποία είναι έτοιμη για επεξεργασία από τα προηγούμενα κριτήρια. Επομένως, υπολογίζεται ο δείκτης SPI και απεικονίζεται γραφικά. Παρακάτω, παρατίθεται η γραφική του SPI για όλα χρόνια των δεδομένων:



Εικόνα 30 - Τιμές του δείκτη SPI σε συνάρτηση με το χρόνο

Το παραπάνω γράφημα, υλοποιήθηκε με σημεία (κουκίδες), καθώς με τη μορφή της καμπύλης δεν ήταν ευδιάκριτο το αποτέλεσμα. Όπως παρατηρείται, οι περισσότερες τιμές βρίσκονται στο εύρος τιμών $[-1,0]$. Στην ενότητα 3.2 που εξηγούνται τα κριτήρια, οι σημαντικές τιμές σε πλαίσιο επικινδυνότητας είναι οι αρνητικές τιμές. Επομένως, θα απομονωθούν οι ημερομηνίες για τις οποίες ο SPI έχει τιμή χαμηλότερη από το 0 και έπειτα θα υλοποιηθούν τα boxplots για κάθε χρονιά των δεδομένων.



Εικόνα 31 - Boxplots για τις τιμές του SPI σε κάθε έτος

Είναι εμφανές ότι οι μέγιστες τιμές κάθε χρόνου βρίσκονται σε διαφορετικά επίπεδα κινδύνου, άρα για να παραχθεί ένα σφαιρικό συμπέρασμα θα χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των ελάχιστων τιμών των boxplots (χωρίς τα outliers) για την απόφαση της επικινδυνότητας. Τα ελάχιστα κάθε χρόνου έχουν τις ακόλουθες ακριβείς τιμές:

Πίνακας 38 - Ελάχιστες τιμές του SPI που προκύπτουν από τα Boxplots κάθε έτους

Έτος	Τιμή
2007	-0.571490
2008	-0.618641
2009	-0.534815
2010	-0.649749
2011	-0.424856
2012	-0.577905
2015	-0.572420
2016	-0.528533
2017	-0.404800
2018	-0.464374
2019	-0.438634
2020	-0.570376
2021	-0.544022
2022	-0.439046

Από αυτές τις τιμές ο μέσος όρος που προκύπτει είναι: -0.5325660547708427. Η τιμή αυτή κατατάσσεται στο επίπεδο του χαμηλού κινδύνου και η υπολογισμένη τιμή κλίμακας από 0 έως 4 είναι 1.9348678904583148.

4.1.6.2 2ο κριτήριο – Συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή

Το δεύτερο κριτήριο εστιάζει στη διάρκεια μιας άνυδρης περιόδου και απαιτεί τον υπολογισμό των περισσότερων ημερών χωρίς βροχόπτωση ($H=0$). Τα αποτελέσματα λοιπόν της ανάλυσης είναι:

Πίνακας 39 - Χρονική περίοδος στην οποία εντοπίσθηκαν οι περισσότερες ημέρες χωρίς βροχή

Περισσότερες συνεχόμενες μέρες χωρίς βροχόπτωση	130
Ημερομηνία αρχής της περιόδου χωρίς βροχή	05-06-2007
Ημερομηνία τέλους της περιόδου χωρίς βροχή	13-10-2007

Άρα, οι περισσότερες συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή που παρατηρήθηκαν είναι 130, ξεκίνησαν στις 5 Ιουνίου του 2007 και τελείωσε 13 Οκτωβρίου της ίδιας χρονιάς. Επομένως, κατατάσσεται στο επίπεδο Υψηλού κινδύνου και η τιμή κλίμακας 0-4 που υπολογίζεται είναι 3.075 .

4.2 Ελσίνκι, Φινλανδία

Παρομοίως με την Αθήνα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα σε μορφή csv αρχείου, τα οποία περιλαμβάνουν τα καιρικά δεδομένα της περιοχής του Ελσίνκι, κατά τη διάρκεια των ετών 2014 έως 2022. Επίσης, τα δεδομένα έχουν αντίστοιχη μορφή με αυτά της Αθήνας, δηλαδή η μορφή της πρώτης στήλης είναι η εξής: YY-mm-dd HH:MM:SS, όπου YY ο χρόνος (2 ψηφία), mm ο μήνας (2 ψηφία), dd η ημέρα (2 ψηφία), HH η ώρα (2 ψηφία), MM τα λεπτό (2 ψηφία) και SS το δευτερόλεπτο (2 ψηφία). Ακόμη, οι ώρες έχουν ουσιαστικά τη μορφή HH:00:00, δηλαδή τα λεπτά και τα δευτερόλεπτα είναι πάντα 00, ενώ οι ώρες στις οποίες παρέχονται τα δεδομένα του Ελσίνκι είναι οι εξής: '01:00:00', '02:00:00', '03:00:00', '04:00:00', '05:00:00', '06:00:00', '07:00:00', '08:00:00', '09:00:00', '10:00:00', '11:00:00', '12:00:00', '13:00:00', '14:00:00', '15:00:00', '16:00:00', '17:00:00', '18:00:00', '19:00:00', '20:00:00', '21:00:00', '22:00:00', '23:00:00', '24:00:00'. Δηλαδή, υπάρχουν όλες οι δυνατές ώρες, όμως στα έτη 2015 και 2016 απουσιάζουν οι ώρες: '01:00:00', '04:00:00', '07:00:00', '10:00:00', '13:00:00', '16:00:00', '19:00:00' και '22:00:00'.

Καταρχήν, διαβάστηκε το αρχείο csv και περάστηκε σε ένα dataframe με όνομα df. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε μία στήλη με όνομα 'Date_Time', στην οποία θα υπάρχει το περιεχόμενο της πρώτης στήλης, που έχει όνομα 'Local time in Helsinki', απλά θα έχει μετατραπεί το συγκεκριμένο περιεχόμενο σε μορφή δεδομένου datetime64[ns]. Μετά τη δημιουργία της στήλης 'Date_Time', εξετάζεται ο αριθμός των ημερών κάθε έτους, ώστε να εντοπιστεί κάποιο τυχόν κενό δεδομένων. Οι διαθέσιμες ημερομηνίες κάθε έτους είναι οι ακόλουθες:

- 2014: 365
- 2015: 365
- 2016: 366
- 2017: 365
- 2018: 365
- 2019: 365
- 2020: 366
- 2021: 365
- 2022: 364

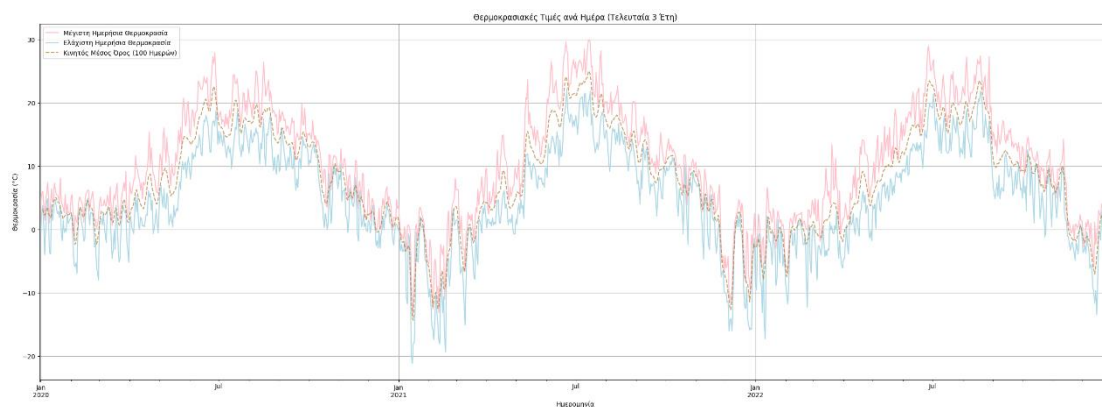
Εφόσον τα δεδομένα είναι πλήρη σε επίπεδο ημερομηνιών, πραγματοποιείται και έλεγχος για τις κενές τιμές των στηλών ανά ώρα κάθε έτους. Με τις κενές τιμές να μην ξεπερνούν τις 20 σε δεδομένα 3285 ημερών, δηλαδή αμελητέο ποσό κενών τιμών, οι οποίες θα γεμιστούν από τους μέσους όρους ίδιας ώρα και ίδιας ημερομηνίας των υπολοίπων ετών.

4.2.1 Κύμα καύσωνα

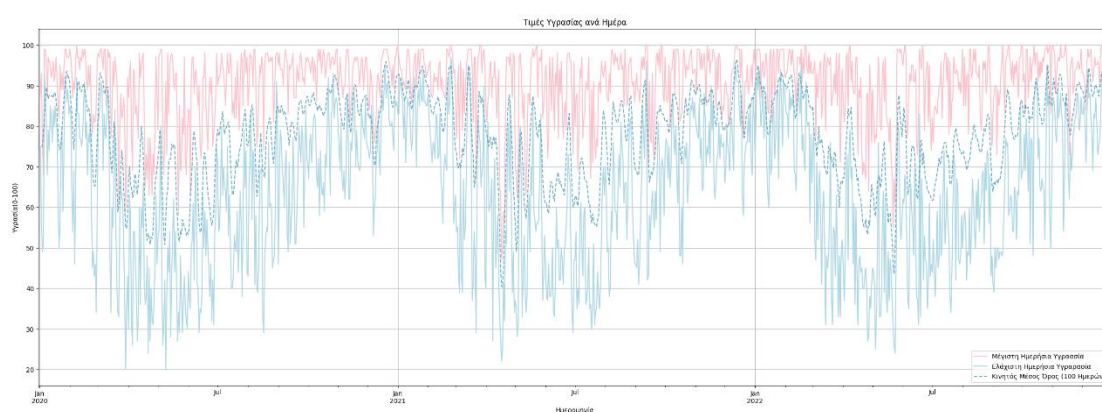
4.2.1.1 1ο κριτήριο – Δείκτης Θερμότητας

Η μεταβλητή απόφασης του 1^{ου} κεφαλαίου είναι ο δείκτης θερμότητας (Heat Index). Για τον υπολογισμό του, απαιτούνται η θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία, δηλαδή οι στήλες T και U των δεδομένων μας. Ο έλεγχος για τις κενές τιμές έχει γίνει

για όλες τις στήλες όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, επομένως για να είναι οι στήλες έτοιμες προς χρήση εκκρεμεί το γέμισμα των κενών τιμών των στηλών T και U. Πριν πραγματοποιηθεί αυτή η διαδικασία, θα παρατηρηθεί η συμπεριφορά των δύο μεταβλητών κατά την πάροδο του χρόνου μέσω της γραφικής απεικόνισής τους. Οι παραστάσεις των δύο μεταβλητών για τα 3 τελευταία έτη των δεδομένων παρατίθεται ακολούθως:



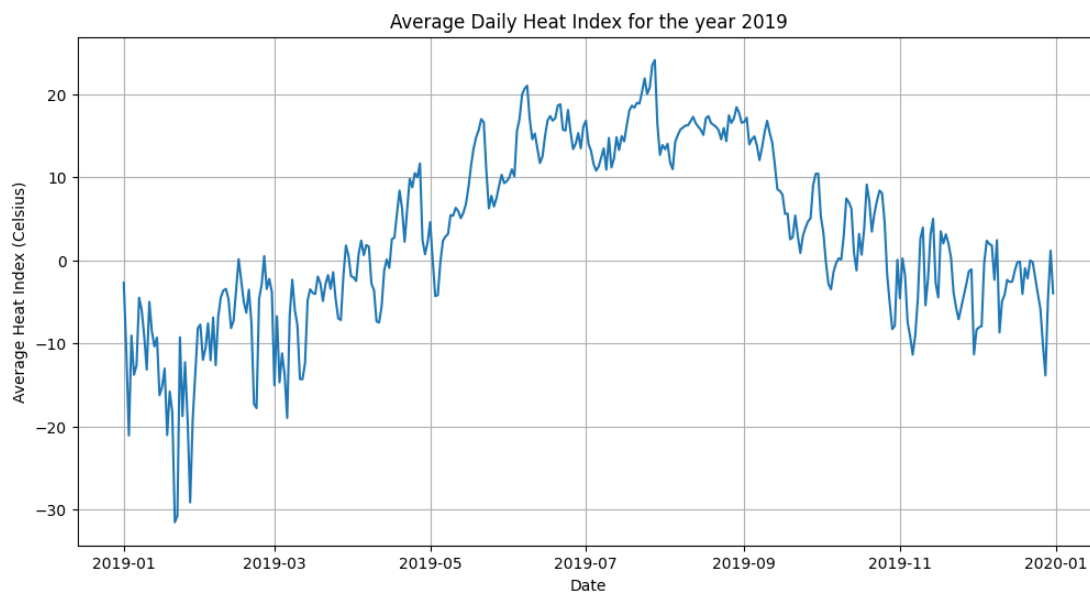
Εικόνα 32 - Ημερήσιες θερμοκρασιακές τιμές για την περίοδο 2020-2022



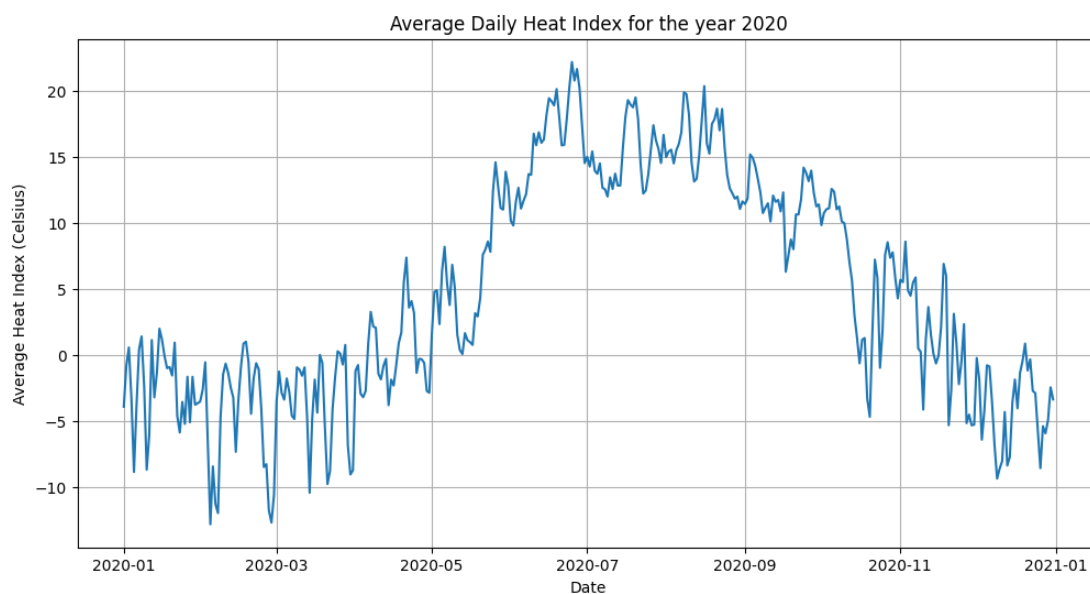
Εικόνα 33 - Ημερήσιες τιμές υγρασίας για την περίοδο 2020-2022

Και στις δύο γραφικές παραστάσεις δεν εντοπίζεται τάση, ενώ παρουσιάζεται εποχιακότητα, ιδιαίτερα στην περίπτωση της θερμοκρασίας όπου είναι ξεκάθαρο από τη γραφική παράσταση. Αναμενόμενο, καθώς και στην περίπτωση της Αθήνας τα δύο αυτά καιρικά μεγέθη παρουσιάζουν παρόμοιες συμπεριφορές. Επομένως, οι λίγες τιμές που είναι κενές θα αντικατασταθούν με το μέσο όρο των τιμών ίδιας ώρας και ημερομηνίας όλων των υπολοίπων ετών.

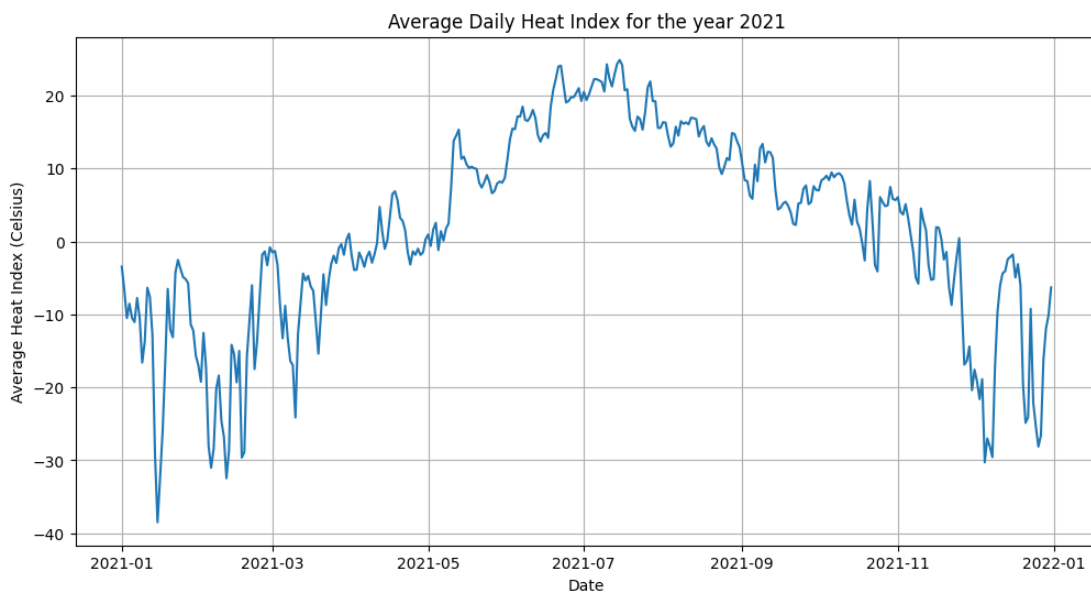
Στη συνέχεια υπολογίζεται ο δείκτης θερμότητας για κάθε διαθέσιμη ημερομηνία και ώρα και πραγματοποιείται γραφική απεικόνισή του για κάθε έτος ξεχωριστά, ώστε να παρακολουθηθεί η συμπεριφορά των τιμών κατά τη διάρκεια των εποχών του έτους. Παρακάτω φαίνονται οι γραφικές παραστάσεις για τη μέση ημερήσια τιμή του δείκτη θερμότητας, για τα τελευταία τέσσερα έτη των δεδομένων:



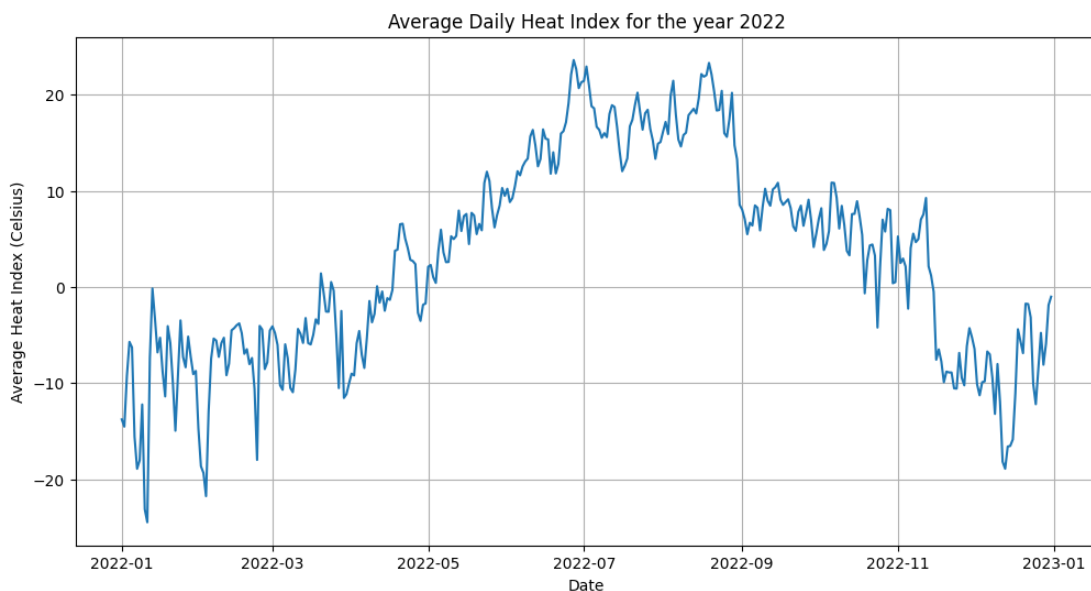
Εικόνα 34 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το 2019



Εικόνα 35 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το 2020

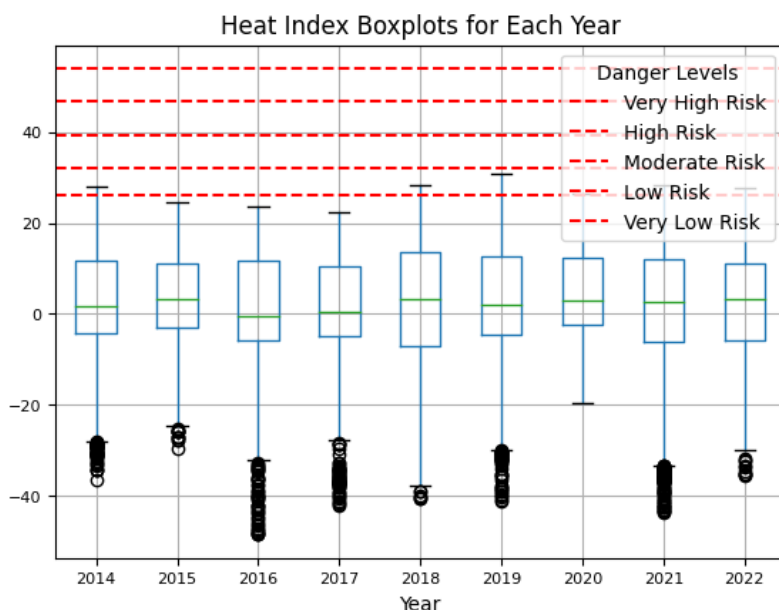


Εικόνα 36 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το 2021



Εικόνα 37 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη θερμότητας για το 2022

Είναι προφανές ότι η ευαίσθητη χρονική περίοδος για τον κίνδυνο των καυσώνων περιλαμβάνει τους καλοκαιρινούς μήνες και τους μήνες κοντά σε αυτούς. Επομένως, έχει επιλεγεί να αναλυθεί το χρονικό διάστημα από την 1^η Ιουνίου έως και την 30^η Σεπτεμβρίου, ως διάστημα υψηλής επικινδυνότητας. Για αυτή τη χρονική περίοδο κάθε χρόνου, πραγματοποιείται boxplot analysis η οποία παρουσιάζεται ακολούθως:



Εικόνα 38 - Boxplots για τις τιμές του δείκτη θερμότητας σε κάθε έτος

Όπως εύκολα διακρίνεται, τα μέγιστα των χρονιών 2015, 2016 και 2017 βρίσκονται σε επίπεδο εκτός κινδύνου και τα έτη 2014, 2018, 2019, 2020, 2021 και 2022 βρίσκονται στο επίπεδο πολύ χαμηλού κινδύνου. Για να προχωρήσει η ανάλυση στην απόφαση του επιπέδου, θα χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των μέγιστων τιμών του κάθε boxplot, οι οποίες είναι ίδιες με τις μέγιστες τιμές κάθε έτους καθώς δεν υπάρχουν outliers στις ψηλές τιμές. Οι ακριβείς μέγιστες τιμές για όλα τα έτη είναι οι εξής:

Πίνακας 40 - Μέγιστες τιμές του δείκτη θερμότητας που προκύπτουν από τα boxplots κάθε έτους

Έτος	Τιμή
2014	27.886185091311336
2015	24.459945615849232
2016	23.727780295815233
2017	22.363249177431246
2018	28.309949526073634
2019	30.74748741350245
2020	26.60496090968042
2021	28.418210343382277
2022	27.615856296175004

Η μέση τιμή των παραπάνω μέγιστων τιμών κάθε έτους είναι: 26.681513852135645. Με αποτέλεσμα, να κατατάσσεται στο επίπεδο πολύ χαμηλού κινδύνου (Very Low Risk) και η υπολογισμένη τιμή κλίμακας από 0 έως 4 να προκύπτει ίση με 0.10992158905413607.

4.2.1.2 2ο κριτήριο – Συνεχόμενες ημέρες καύσωνα

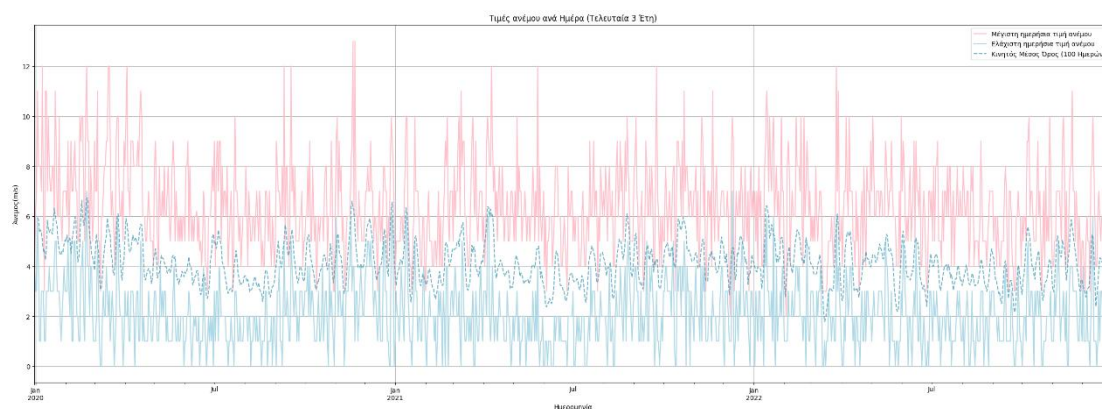
Το δεύτερο κριτήριο χρειάζεται τον υπολογισμό του μέγιστου αριθμού συνεχόμενων ημερών με μέση ημερήσια θερμοκρασία μεγαλύτερη από τους 32 °C. Η γραφική απεικόνιση και το γέμισμα τιμών για τη μεταβλητή της θερμοκρασίας έγινε στο 1^ο κριτήριο, άρα τα δεδομένα είναι έτοιμα προς ανάλυση. Ο αριθμός των περισσότερων

συνεχόμενων ημερών με μέση θερμοκρασία άνω των 32°C είναι 0. Με βάση αυτό το αποτέλεσμα εντοπίστηκε η μέγιστη τιμή μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και ήταν 26,145833333333332. Έτσι, εντοπίστηκε και η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας σε οποιαδήποτε στιγμή καταγραφής κατά τη διάρκεια της ημέρας και ήταν ίση με 32,7. Επομένως, το κατώφλι των 32 βαθμών Celsius ξεπερνιέται μεμονωμένα σε κάποιες υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια κάποιων ημερών αλλά η ημερήσια θερμοκρασία δεν το ξεπερνά ποτέ. Έτσι, η περιοχή του Ελσίνκι κατατάσσεται στο επίπεδο εκτός κινδύνου και η τιμή κλίμακας 0-4 είναι 0.

4.2.2 Ψυχρό κύμα

4.2.2.1 1ο κριτήριο – Δείκτης Ψύξης Ανέμου

Για το παρόν κριτήριο, απαιτείται ο υπολογισμός του Δείκτη Ψύξης Ανέμου (WCI), ο οποίος εξαρτάται από τις παραμέτρους της θερμοκρασία του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου. Επομένως, αρκεί να παρατηρηθεί η συμπεριφορά της χρονοσειράς της ταχύτητας του ανέμου. Η γραφική παράσταση για τη μέγιστη ημερήσια τιμή, την ελάχιστη ημερήσια τιμή και τον Κινητό Μέσο Όρο (100 ημερών) είναι η παρακάτω:

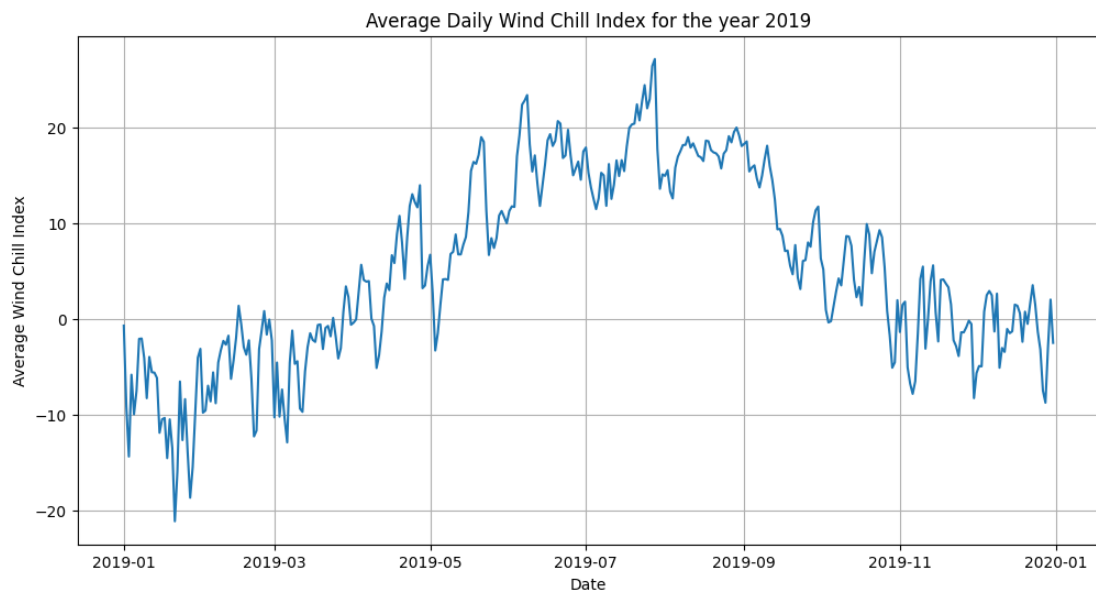


Εικόνα 39 - Ημερήσιες τιμές της ταχύτητας του ανέμου για την περίοδο 2020-2022

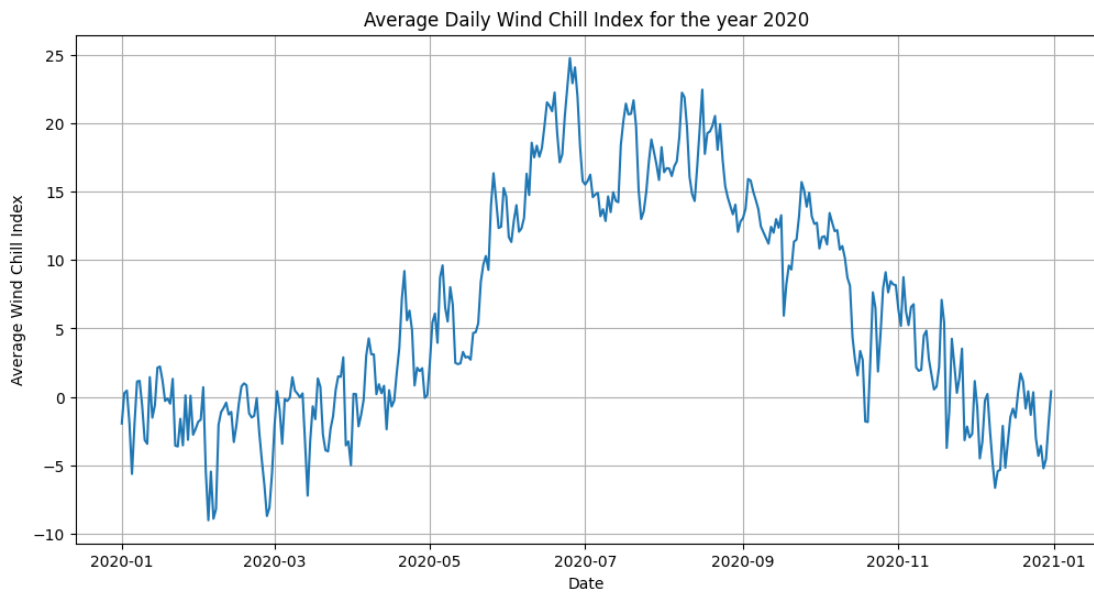
Είναι εμφανές ότι η συγκεκριμένη χρονοσειρά δεν παρουσιάζει ούτε εποχιακότητα, ούτε κάποια τάση, όπως ήταν αναμενόμενο, διότι το φαινόμενο του δυνατού ανέμου χαρακτηρίζεται ως ξαφνικό και τυχαίο. Όμως οι ημέρες, οι ώρες και το κλίμα της κάθε εποχής έχει αντίκτυπο στην τιμή του ανέμου, επομένως αυτές τις λίγες κενές τιμές θα τις αντικαταστήσουμε με το μέσο όρο της μεταβλητής σε ίδια ημερομηνία και ίδια ώρα.

Έπειτα, υπολογίζεται ο Δείκτης Ψύξης Ανέμου και πραγματοποιείται γραφική απεικόνιση του δείκτη σε συνάρτηση με το χρόνο, για κάθε έτος ξεχωριστά.

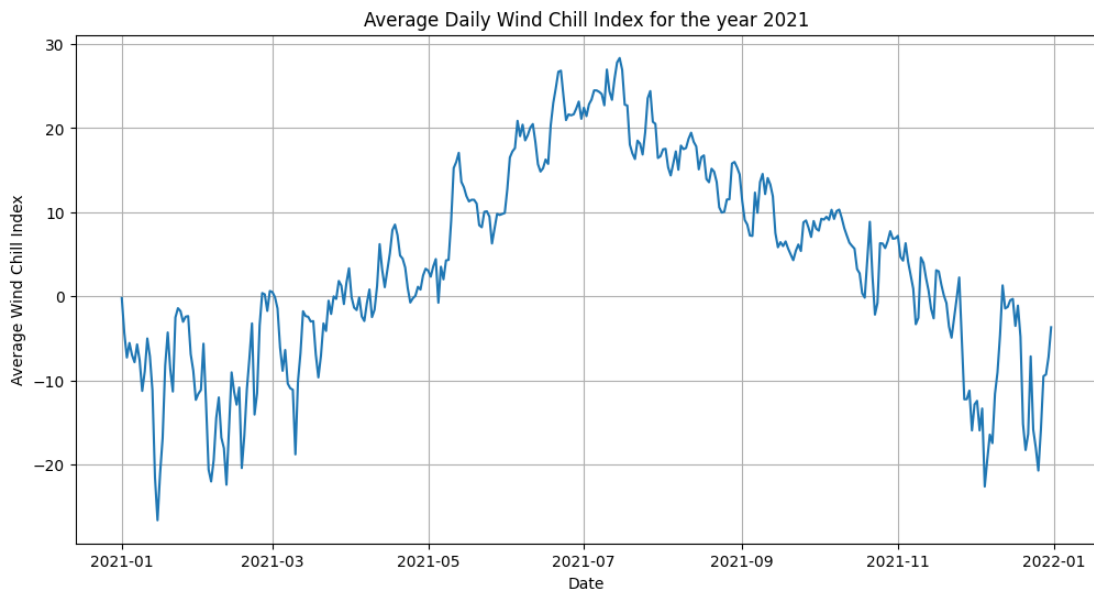
Ενδεικτικά, ακολούθως φαίνονται οι γραφικές για τα 4 τελευταία έτη:



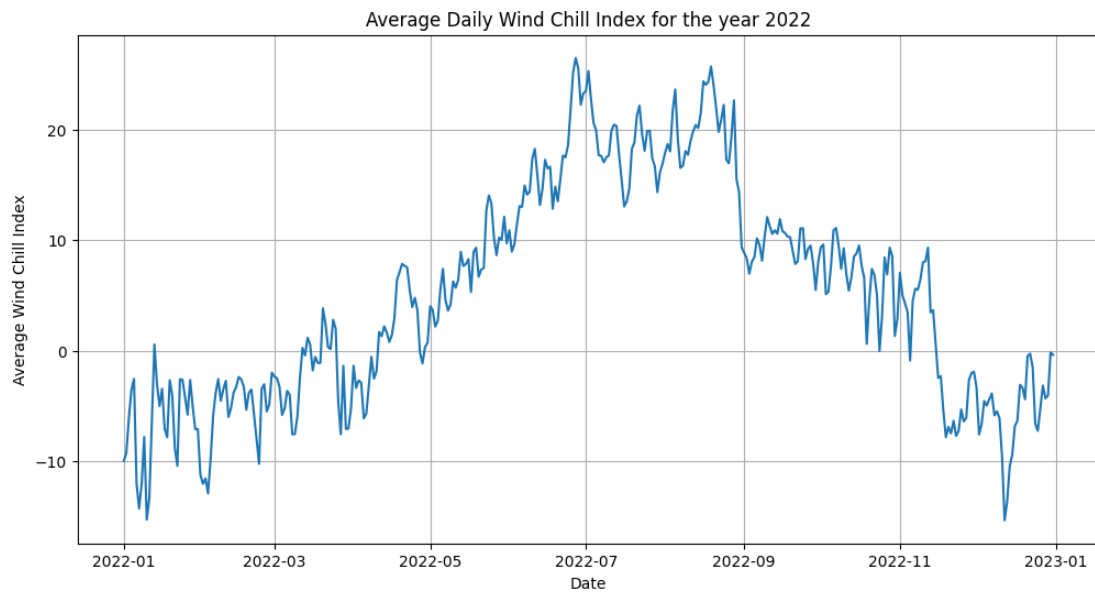
Εικόνα 40 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το 2019



Εικόνα 41 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το 2020

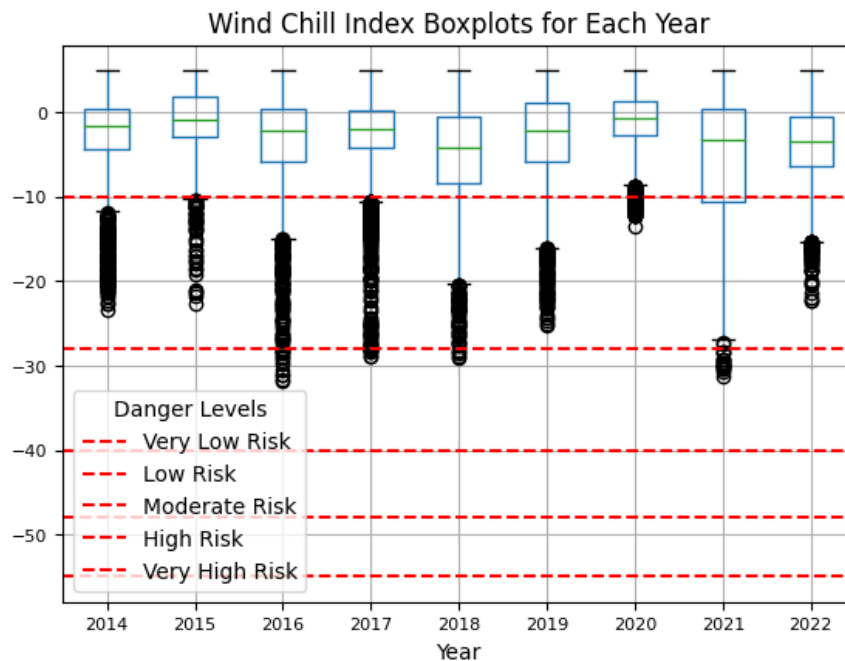


Εικόνα 42 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το 2021



Εικόνα 43 - Μέση ημερήσια τιμή του Δείκτη Ψύξης Ανέμου για το 2022

Στις συγκεκριμένες γραφικές αποτυπώνεται ότι στη χειμερινή περίοδο και στους μήνες κοντά σε αυτήν παρατηρούνται οι χαμηλότερες τιμές του δείκτη, όπως εύλογα αναμενόταν. Για να αποκλειστούν οι θερμές τιμές του δείκτη και να είναι το αποτέλεσμα της ανάλυσης πιο στοχασμένο στις επικίνδυνες τιμές, θα απομονωθούν οι ημερομηνίες του dataframe για τις οποίες η τιμή του δείκτη είναι χαμηλότερη από μέσο όρο των τιμών του δείκτη, ο οποίος είναι ίσος με 4.986834629250099. Έπειτα, θα πραγματοποιηθεί boxplot ανάλυση για κάθε έτος του φιλτραρισμένου δείγματος τιμών, η οποία φαίνεται ακολούθως:



Εικόνα 44 - Boxplots για τις τιμές του Δείκτη Ψύξης Ανέμου σε κάθε έτος

Στην περίπτωση αυτή, διαπιστώνεται ότι τα outliers δεν αποτελούν τυχαία ακανόνιστα ακραία περιστατικά και αντιθέτως αποτελούν συνέχεια των τιμών των μέγιστων των boxplots και έχουν μεγάλη πυκνότητα. Επομένως θα χρησιμοποιηθούν οι ελάχιστες τιμές κάθε έτους και όχι οι ελάχιστες από κάθε boxplot, οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 41 - Ελάχιστες τιμές Δείκτη Ψύξης Ανέμου για κάθε έτος

Έτος	Τιμή
2014	-23.466788
2015	-22.729259
2016	-31.878812
2017	-28.952571
2018	-29.082121
2019	-25.312463
2020	-13.568084
2021	-31.209045
2022	-22.399285

Ο μέσος όρος αυτών των τιμών είναι -25.39982526990124, κατατάσσεται στο επίπεδο πολύ χαμηλού κινδύνου (Very Low Risk) και η τιμή κλίμακας 0-4 είναι ίση με 0.14445415167215336.

4.2.2.2 2ο κριτήριο – Βαθμομημέρες Θέρμανσης

Για το παρόν κριτήριο, η μεταβλητή απόφασης είναι οι ετήσιες βαθμομημέρες θέρμανσης (HDD) οι οποίες εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του αέρα. Η συγκεκριμένη στήλη των δεδομένων είναι έτοιμη προς ανάλυση από τα προηγούμενα κριτήρια. Επομένως, υπολογίζονται οι βαθμομημέρες θέρμανσης για κάθε χρόνο, με θερμοκρασία βάσης τους 15 βαθμούς Celsius και προκύπτουν τα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 42 - Ετήσιες Βαθμομημέρες θέρμανσης

Έτος	Τιμή
2014	3113,803770
2015	2759,330754
2016	3260,653175
2017	3159,536934
2018	3188,351767
2019	3018,450729
2020	2554,538371
2021	3441,597969
2022	3093,499198

Η απόφαση για το επίπεδο κινδύνου θα γίνει με την τιμή του μέσου όρου των παραπάνω, ο οποίος υπολογίζεται ίσος με 3065.5291852194587. Έτσι, ανήκει στο επίπεδο Χαμηλού κινδύνου και η τιμή κλίμακας 0-4 υπολογίζεται ίση με 1.3770194568129726.

4.2.3 Ισχυρή βροχόπτωση

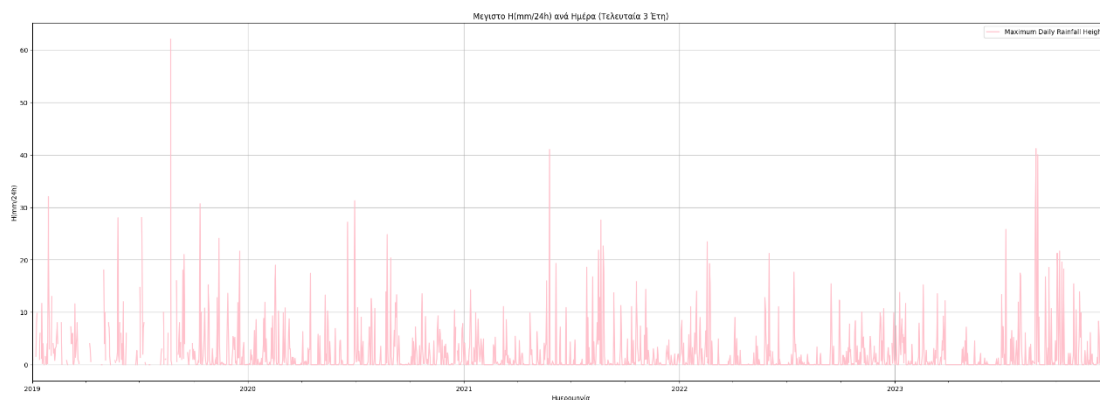
4.2.3.1 1ο κριτήριο – Ύψος βροχόπτωσης

Η απόφαση του επιπέδου επικινδυνότητας για την ισχυρή βροχόπτωση θα παρθεί με βάση την τιμή του ύψους βροχόπτωσης $H(\text{mm}/24\text{h})$. Στα διαθέσιμα δεδομένα δεν υπάρχει στήλη H με την επιθυμητή μορφή. Όμως, υπάρχουν 2 στήλες με τη χρήση των οποίων θα γίνει ο υπολογισμός του H . Η μία στήλη είναι η RRR η οποία περιέχει την ποσότητα βροχόπτωσης σε mm και η δεύτερη είναι η t_R που περιέχει την περίοδο χρόνου κατά τον οποίο διαπιστώθηκε η ποσότητα βροχόπτωσης της στήλης RRR. Πιο συγκεκριμένα, η στήλη RRR έχει τιμή μόνο όταν το t_R έχει τιμή. Επομένως, όταν η στήλη t_R έχει τιμή, ο υπολογισμός της στήλης H γίνεται με βάση τον ακόλουθο τύπο:

Εξίσωση 10 - Τύπος υπολογισμού της στήλης δεδομένων για το ύψος βροχόπτωσης

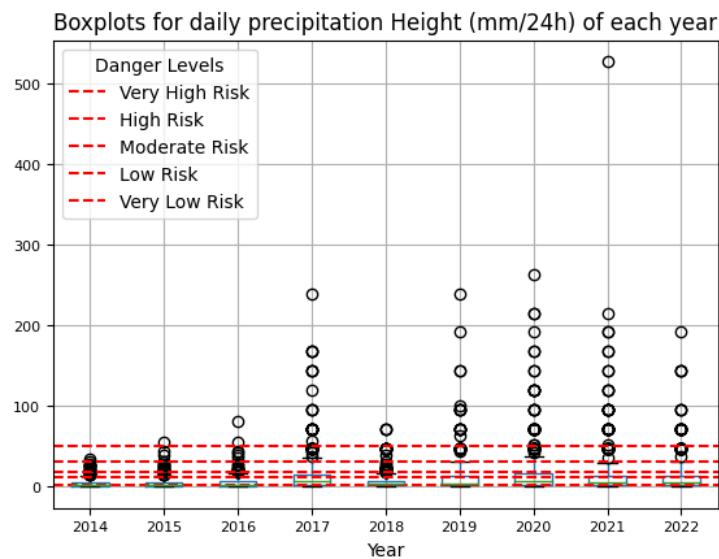
$$H = \frac{RRR * 24}{t_R}$$

Αφού δημιουργηθεί η στήλη H , θα γίνει η γραφική παράσταση της χρονοσειράς όπως και στα προηγούμενα, ώστε να παρατηρηθεί η συμπεριφορά της σε συνάρτηση με το χρόνο. Παρακάτω, η απεικόνιση της βροχόπτωσης για τα τελευταία 3 έτη των δεδομένων, ώστε να είναι πιο ευδιάκριτη:



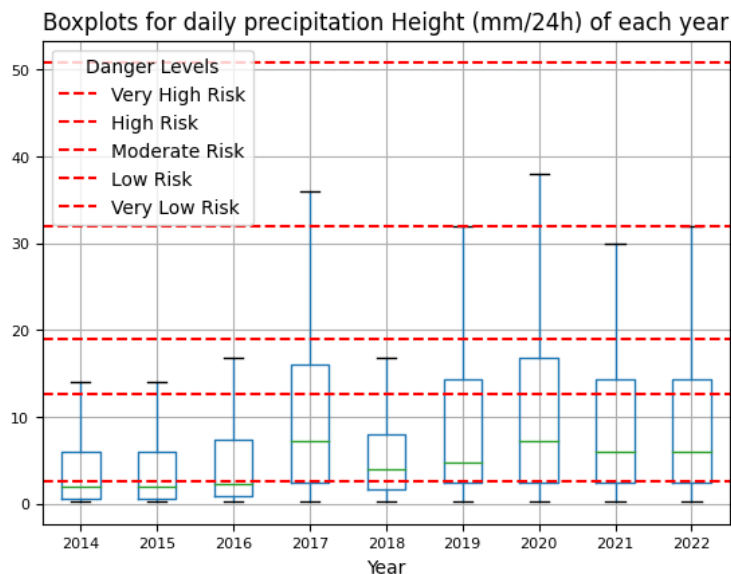
Εικόνα 45 - Μέγιστο ημερήσιο Ύψος βροχόπτωσης για την περίοδο 2020-2022

Στην παραπάνω γραφική παράσταση αποτυπώνεται η τυχαιότητα της βροχόπτωσης, καθώς δεν παρουσιάζει κάποια εποχιακότητα ή τάση. Το επόμενο βήμα της ανάλυσης είναι να γίνουν boxplots για κάθε έτος ξεχωριστά, όπως φαίνεται στη συνέχεια:



Εικόνα 46 - Boxplots για τις τιμές του Ύψους βροχόπτωσης κάθε έτους (με τα outliers)

Όπως φαίνεται υπάρχουν στα outliers κάποιες ακραίες ακανόνιστες τιμές. Για να παραχθεί ένα συμπέρασμα για τις συνήθεις δυνατές βροχές θα χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος των μέγιστων τιμών που προκύπτουν από τα boxplots. Παρακάτω παρατίθεται το ίδιο γράφημα των boxplots απλά χωρίς τα outliers για να είναι πιο ορατές οι τιμές:



Εικόνα 47 - Boxplots για τις τιμές του Ύψους βροχόπτωσης κάθε έτους (χωρίς τα outliers)

Τα μέγιστα του κάθε έτους είναι τα εξής:

Πίνακας 43 - Μέγιστες τιμές ύψους βροχόπτωσης που προκύπτουν από τα boxplots κάθε έτους

Έτος	Τιμή
2014	14.1

2015	14.1
2016	17.3
2017	36.4
2018	17.6
2019	32.4
2020	38.4
2021	32.4
2022	32.4

Έτσι, ο μέσος όρος τους υπολογίζεται ίσος με 26.12222222222213, ανήκει στο επίπεδο μέτριου κινδύνου (Moderate Risk) και η τιμή κλίμακας 0-4 που υπολογίζεται είναι 2.5478632478632472.

4.2.3.2 2ο κριτήριο – Περίοδος επαναφοράς

Για το δεύτερο κριτήριο χρειάζεται ο υπολογισμός των ημερών κατά τις οποίες η βροχόπτωση ξεπερνά το κατώφλι του ακραίου κινδύνου, τα 50.8 mm/24h. Αρχικά, υπολογίζεται η μέση ημερήσια βροχόπτωση και έπειτα εντοπίζονται οι ακραία βροχερές ημέρες και ο συνολικός αριθμός των ημερών του δείγματος δεδομένων. Έτσι, μπορεί να υπολογιστεί η περίοδος επαναφοράς:

Πίνακας 44 - Υπολογισμός περιόδου επαναφοράς

Αριθμός ακραίων γεγονότων	1
Συνολικές μέρες δεδομένων	3286
Περίοδος επαναφοράς	3286.0

Η περίοδος επαναφοράς που προκύπτει κατατάσσεται στο επίπεδο Πολύ Χαμηλού κινδύνου και υπολογισμένη τιμή κλίμακας από 0 έως 4 που αντιστοιχεί σε αυτή είναι 0.8005479452054796.

4.2.4 Καταιγίδα

4.2.4.1 1ο κριτήριο – Ταυτόχρονη παρουσία βροχής και ανέμου

Τα καιρικά μεγέθη που απαιτούνται για το πρώτο κριτήριο των καταιγίδων είναι το ύψος βροχόπτωσης και η ταχύτητα του ανέμου, οι οποίες είναι έτοιμες προς ανάλυση από τα προηγούμενα κριτήρια. Το κάθε επίπεδο έχει αντίστοιχα κατώφλια για κάθε μία μεταβλητή απόφασης, όμως απαιτείται η ταυτόχρονη παρουσία τους. Έτσι, όπως εξηγήθηκε και στην μελέτη περίπτωσης της Αθήνας, αρχικά θα καταταχθούν η βροχή και ο άνεμος σε επίπεδα επικινδυνότητας μεμονωμένα. Δηλαδή, θα προστεθούν οι στήλες Level_H και Level_Ff οι οποίες θα παίρνουν μία τιμή από 0 έως 5 για τα επίπεδα των παρακάτω πινάκων:

Πίνακας 45 - Αριθμημένα επίπεδα για τις τιμές του ύψους βροχόπτωσης

Επίπεδο επικινδυνότητας	Ύψος Βροχόπτωσης (mm/24h)	Αριθμός επιπέδου
Εκτός Κινδύνου	$H \leq 2.5$	0
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$2.5 < H \leq 12.7$	1
Χαμηλός Κίνδυνος	$12.7 < H \leq 19$	2
Μέτριος Κίνδυνος	$19 < H \leq 32$	3
Υψηλός Κίνδυνος	$32 < H \leq 50.8$	4

Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$H > 50.8$	5
----------------------	------------	---

Πίνακας 46 - Αριθμημένα επίπεδα για τις τιμές της ταχύτητας του ανέμου

Επίπεδο επικινδυνότητας	Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Αριθμός επιπέδου
Εκτός Κινδύνου	$Ff \geq 12$	0
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$12 < Ff \leq 23$	1
Χαμηλός Κίνδυνος	$23 < Ff \leq 33$	2
Μέτριος Κίνδυνος	$33 < Ff \leq 42$	3
Υψηλός Κίνδυνος	$42 < Ff \leq 50$	4
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$Ff > 50$	5

Στη συνέχεια, θα δημιουργηθεί μία ακόμη στήλη, με όνομα Final_level, η οποία σε περίπτωση που οι στήλες Level_H και Level_Ff έχουν ίδια τιμή θα παίρνει την τιμή αυτή, ενώ αν έχουν διαφορετική τιμή θα παίρνει τη μικρότερη από τις δύο. Το μέγιστο της στήλης αυτής θα είναι ο πιο επικίνδυνος συνδυασμός αέρα και βροχής.

Οι γραμμές στις οποίες εντοπίζονται οι μέγιστες τιμές της στήλης του τελικού επιπέδου είναι οι παρακάτω:

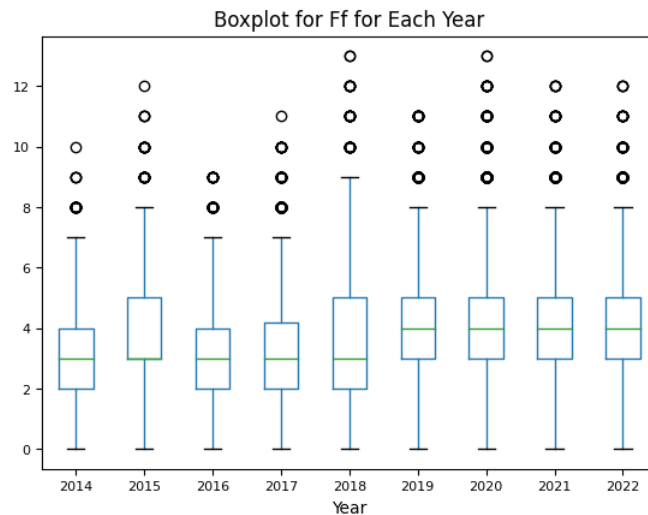
Date_Time	H	Ff	Level_H	Level_Ff	Final_Level
2020-02-22 15:00:00	24.0	12.0	3	1	1
2020-02-22 17:00:00	9.6	12.0	1	1	1
2020-04-03 00:00:00	24.0	12.0	3	1	1
2020-11-19 13:00:00	16.8	13.0	2	1	1
2020-11-21 21:00:00	48.0	13.0	4	1	1
2020-11-21 22:00:00	24.0	12.0	3	1	1
2021-04-09 21:00:00	4.0	12.0	1	1	1
2021-05-26 16:00:00	192.0	12.0	5	1	1
2021-09-24 04:00:00	24.0	12.0	3	1	1

Εικόνα 48 – Σειρές των δεδομένων στις οποίες εντοπίζονται οι μέγιστες τιμές του τελικού επιπέδου

Στις περισσότερες παραπάνω περιπτώσεις, το επίπεδο του ανέμου καθορίζει το επίπεδο, καθώς το επίπεδο της βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το επίπεδο κινδύνου να είναι το 1, δηλαδή Πολύ χαμηλός κίνδυνος και η τιμή κλίμακας 0-4 να είναι η μέγιστη δυνατή για αυτό το επίπεδο, δηλαδή 1.

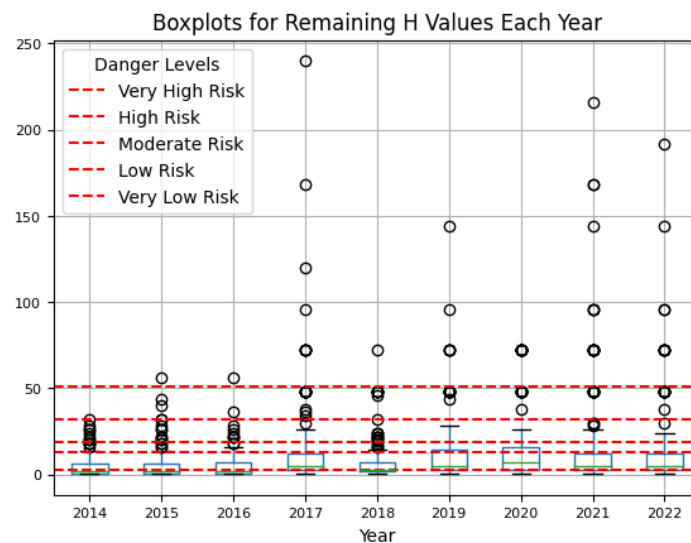
4.2.4.2 2ο κριτήριο – Εφαρμογή κατοφλίων ύψους βροχόπτωσης στις ημέρες με δυνατό άνεμο

Σε πρώτη φάση πραγματοποιούνται τα boxplots για την ταχύτητα του ανέμου κάθε έτους των δεδομένων, όπως παρουσιάζονται ακολούθως:



Εικόνα 49 - Βοχplots για τις τιμές της ταχύτητας του ανέμου σε κάθε έτος

Σε δεύτερη φάση, φιλτράρεται το δείγμα τιμών και απομονώνονται οι τιμές ανάμεσα στη διάμεσο και το Q_3 του κάθε Βοχplot. Έπειτα, στις εναπομείναντες ημερομηνίες γίνονται εκ νέου βοχplots για την τιμή του ύψους βροχόπτωσης H και εφαρμόζονται τα κατώφλια του 1^{ου} κριτηρίου για την ισχυρή βροχόπτωση. Έτσι, εξετάζεται ουσιαστικά η επικινδυνότητα της βροχής στις πιο συνήθεις ημέρες με αρκετό αέρα.



Εικόνα 50 - Βοχplots για τις εναπομείναντες τιμές του Ύψους βροχόπτωσης σε κάθε έτος

Τα παραπάνω κατώφλια θα εφαρμοστούν στο μέσο όρο των τιμών των μέγιστων από τα βοχplots κάθε έτους, χωρίς δηλαδή τα outliers. Οι τιμές αυτές είναι οι εξής:

Πίνακας 47 - Μέγιστες τιμές Ύψους βροχόπτωσης που προκύπτουν από τα βοχplots κάθε έτους

Έτος	Τιμή
2014	14.10
2015	14.10
2016	17.10
2017	26.40

2018	15.60
2019	32.40
2020	35.40
2021	27.65
2022	26.40

Ο μέσος όρος τους είναι ίσος με 23.23888888888887, βρίσκεται στο επίπεδο μέτριου ρίσκου (Moderate Risk) και η τιμή κλίμακας 0-4 που του αντιστοιχεί είναι 2.326068376068376.

4.2.5 Πλημμύρα

4.2.5.1 1ο κριτήριο – Ύψος βροχόπτωσης, απόσταση από σώμα νερού και υψόμετρο

Για τον κλιματικό κίνδυνο των πλημμυρών, όπως εξηγήθηκε και στη μελέτη περίπτωσης της Αθήνας, χρησιμοποιείται και πάλι το κριτήριο για το ύψος βροχόπτωσης, σε συνδυασμό με δύο επιπλέον μεταβλητές απόφασης, την απόσταση από το κοντινότερο σώμα νερού (σε χιλιόμετρα) και το υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας (σε μέτρα). Η απόσταση και το υψόμετρο έχουν σταθερές τιμές και για την περίπτωση του Ελσίνκι, η ιστοσελίδα που παρέχει τα καιρικά δεδομένα παρέχει επίσης την πληροφορία ότι βρίσκεται σε υψόμετρο 25 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ μία ασφαλής εκτίμηση με τη χρήση ενός εργαλείου περιήγησης σε χάρτες, είναι ότι η απόσταση από το κοντινότερο σώμα νερού (θάλασσα) είναι 1.5-2 χιλιόμετρα.

Αντίστοιχα με το 1^ο κριτήριο των καταιγίδων, θα εξεταστεί αρχικά το επίπεδο της κάθε μεταβλητής ξεχωριστά και θα πάρει μία τιμή από 0 έως 5 όπως στους ακόλουθους πίνακες:

Πίνακας 48 - Αριθμημένα επίπεδα για την απόσταση από το κοντινότερο σώμα νερού

Επίπεδο επικινδυνότητας	Απόσταση από σώμα νερού (σε km)	Αριθμός επιπέδου
Εκτός Κινδύνου	$D > 5$	0
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$5 \geq D > 3$	1
Χαμηλός Κίνδυνος	$3 \geq D > 1$	2
Μέτριος Κίνδυνος	$1 \geq D > 0.5$	3
Υψηλός Κίνδυνος	$0.5 \geq D > 0.1$	4
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$D \leq 0.1$	5

Πίνακας 49 - Αριθμημένα επίπεδα για το Υψόμετρο

Επίπεδο επικινδυνότητας	Υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας (m)	Αριθμός επιπέδου
Εκτός Κινδύνου	$E > 51$	0
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$51 \geq E > 35$	1
Χαμηλός Κίνδυνος	$35 \geq E > 22$	2
Μέτριος Κίνδυνος	$22 \geq E > 14$	3
Υψηλός Κίνδυνος	$14 \geq E > 8$	4

Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$E \leq 8$	5
----------------------	------------	---

Για $D = 1.5$ km και $E = 25$ m, τα επίπεδα είναι 2 και 2 αντίστοιχα. Επίσης, σύμφωνα με την ανάλυση του πρώτου κριτηρίου της ισχυρής βροχόπτωσης, το επίπεδο για το ύψος βροχόπτωσης είναι το 3 (Μέτριος κίνδυνος). Άρα, από τις τρεις μεταβλητές προκύπτει το επίπεδο 2, δηλαδή Χαμηλός κίνδυνος και η μέγιστη δυνατή τιμή κλίμακας 0-4, η οποία είναι το 2.

4.2.5.2 2ο κριτήριο – Περίοδος επαναφοράς, απόσταση από σώμα νερού και υψόμετρο

Για το δεύτερο κριτήριο των καταιγίδων χρησιμοποιούνται η απόσταση και το υψόμετρο με τα ίδια κατώφλια με το 1^ο κριτήριο, μαζί με τη μεταβλητή του 2^{ου} κριτηρίου της ισχυρής βροχόπτωσης. Η συγκεκριμένη μεταβλητή απόφασης είναι η περίοδος επαναφοράς για την εμφάνιση βροχόπτωσης ακραίου κινδύνου (>50.8 mm/24h). Για το υψόμετρο και την απόσταση τα επίπεδα είναι 2 και 2 αντίστοιχα, όπως προέκυψαν από το 1^ο κριτήριο. Για τη βροχόπτωση χρησιμοποιούνται τα επίπεδα του 2^{ου} κριτηρίου της ισχυρής βροχόπτωσης.

Πίνακας 50 - Αριθμημένα επίπεδα για την περίοδο επιστροφής

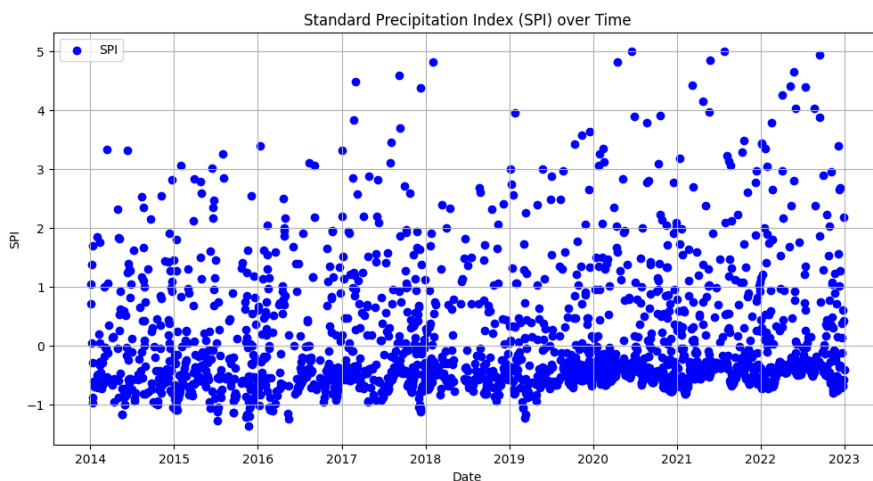
Επίπεδο επικινδυνότητας	Περίοδος επιστροφής (χρόνια)	Αριθμός επιπέδου
Εκτός Κινδύνου	$RP \geq 10$	0
Πολύ Χαμηλός Κίνδυνος	$10 < RP \leq 5$	1
Χαμηλός Κίνδυνος	$5 < RP \leq 3$	2
Μέτριος Κίνδυνος	$3 < RP \leq 1$	3
Υψηλός Κίνδυνος	$1 < RP \leq 0.5$	4
Πολύ Υψηλός Κίνδυνος	$RP > 0.5$	5

Σε επίπεδο βροχής λοιπόν, από το 2^ο κριτήριο για την ισχυρή βροχόπτωση, το επίπεδο που προέκυψε είναι αυτό του πολύ χαμηλού κινδύνου, δηλαδή το επίπεδο 1. Άρα, οι μεταβλητές δε βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο και για επιλέγεται το μικρότερο των τριών, δηλαδή το επίπεδο 1, που αντιστοιχεί στον Πολύ χαμηλό κίνδυνο. Επιπρόσθετα, η τιμή κλίμακας 0-4 που θα χρησιμοποιηθεί, είναι η μέγιστη δυνατή αυτού του επιπέδου, δηλαδή 1.

4.2.6 Ξηρασία

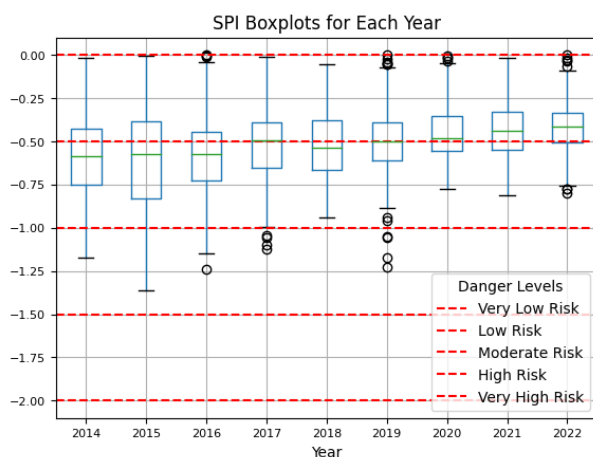
4.2.6.1 1ο κριτήριο – Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης

Η μεταβλητή απόφασης για το 2^ο κριτήριο, είναι ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βροχόπτωσης (SPI), του οποίου ο υπολογισμός απαιτεί την τιμή της βροχόπτωσης, δηλαδή τη στήλη Η των δεδομένων, η οποία είναι έτοιμη για επεξεργασία από τα προηγούμενα κριτήρια. Επομένως, υπολογίζεται ο δείκτης SPI και απεικονίζεται γραφικά. Παρακάτω, παρατίθεται η γραφική του SPI για όλα χρόνια των δεδομένων:



Εικόνα 51 - Ημερήσιες τιμές δείκτη SPI σε συνάρτηση με το χρόνο

Παρομοίως και με την περίπτωση της Αθήνας, το παραπάνω γράφημα, υλοποιήθηκε με σημεία (κουκίδες), καθώς με τη μορφή της καμπύλης δεν ήταν ευδιάκριτο το αποτέλεσμα. Όπως φαίνεται, η μεγαλύτερη πυκνότητα κουκίδων εμφανίζεται στις αρνητικές τιμές, οι οποίες είναι οι πιο σημαντικές σε πλαίσιο επικινδυνότητας. Επομένως, θα απομονωθούν οι ημερομηνίες για τις οποίες ο SPI έχει τιμή χαμηλότερη από το 0 και έπειτα θα υλοποιηθούν τα boxplots για κάθε χρονιά των δεδομένων.



Εικόνα 52 - Boxplots για τις τιμές του SPI σε κάθε έτος

Οι ελάχιστες τιμές των boxplots διαφέρουν ως προς το επίπεδο κινδύνου και είναι οι εξής:

Πίνακας 51 - Ελάχιστες τιμές του δείκτη SPI Που προκύπτουν από τα boxplots κάθε έτους

Έτος	Τιμή
2014	-1.237811
2015	-1.496409
2016	-1.158088
2017	-1.045184
2018	-1.098778
2019	-0.939220
2020	-0.860084

2021	-0.884182
2022	-0.766453

Για την απόφαση επιπέδου υπολογίζεται ο μέσος όρος τους, ο οποίος προκύπτει ίσος με -1.0540230698392181 και κατατάσσεται στο επίπεδο μέτριου κινδύνου (Moderate Risk) και του αντιστοιχεί η τιμή 2.8919538603215638 για την κλίμακα 0-4.

4.2.6.2 2ο κριτήριο – Συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή

Για το δεύτερο κριτήριο αρκεί ο υπολογισμός των περισσότερων ημερών χωρίς βροχόπτωση ($H=0$). Τα αποτελέσματα λοιπόν της ανάλυσης είναι:

Πίνακας 52 - Χρονική περίοδος στις οποίες εντοπίστηκαν οι περισσότερες συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή

Περισσότερες συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή	16
Ημερομηνία αρχής περιόδου χωρίς βροχής	03-02-2021
Ημερομηνία τέλους περιόδου χωρίς βροχή	19-02-2021

Άρα, οι περισσότερες συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή που παρατηρήθηκαν είναι 16, ξεκίνησαν στις 3 Φεβρουαρίου του 2021 και τελείωσε στις 19 του ίδιου μήνα. Επομένως, κατατάσσεται στο επίπεδο Χαμηλού κινδύνου και η τιμή κλίμακας 0-4 που υπολογίζεται είναι 1.15.

4.3 Υπολογισμός βαρών περιοχών μελέτης

4.3.1 Υπολογισμός βαρών για την Αθήνα

Για την περιοχή μελέτης της Αθήνας, τα αποτελέσματα για τη μελέτη περίπτωσης της Αθήνας θα συνοψιστούν στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 53 - Συνοψισμός αποτελεσμάτων όλων των κινδύνων για την περίπτωση της Αθήνας

Κλιματικός κίνδυνος	Κύμα καύσωνα	Ψυχρά κύματα	Ισχυρή βροχόπτωση	Καταιγίδα	Πλημμύρες	Ξηρασία
1 ^ο κριτήριο	1,39968427	0	2,79820513	1	2	1,93486789
2 ^ο κριτήριο	3	0	2,57221135	2,68974359	2	3,075
Μέσος όρος κριτηρίων	2,199842135	0	2,68520824	1,84487179	2	2,50493395

Τα χρώματα στα κελιά του παραπάνω πίνακα αντιστοιχούν στα επίπεδα επικινδυνότητας σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα χρωμάτων:

Πίνακας 54 - Επεξήγηση χρωματισμού για κάθε επίπεδο κινδύνου

Επίπεδο	Χρώμα	Τιμή (0-4)
Εκτός κινδύνου		0
Πολύ χαμηλός κίνδυνος		(0,1]
Χαμηλός κίνδυνος		(1,2]
Μέτριος κίνδυνος		(2,3]
Υψηλός κίνδυνος		(3,4]
Πολύ υψηλός κίνδυνος		4

Επομένως, με βάση με τους μέσους όρους, γίνεται η μετατροπή σε κλίμακα 0-1 και έπειτα με πολλαπλασιασμό με τη σημαντικότητα κινδύνου προκύπτει μία τιμή για κάθε κίνδυνο που φαίνεται στην τελευταία σειρά του ακόλουθου πίνακα:

Πίνακας 55 - Υπολογισμός απαραίτητων ενδιάμεσων τιμών πριν τον υπολογισμό των τελικών βαρών

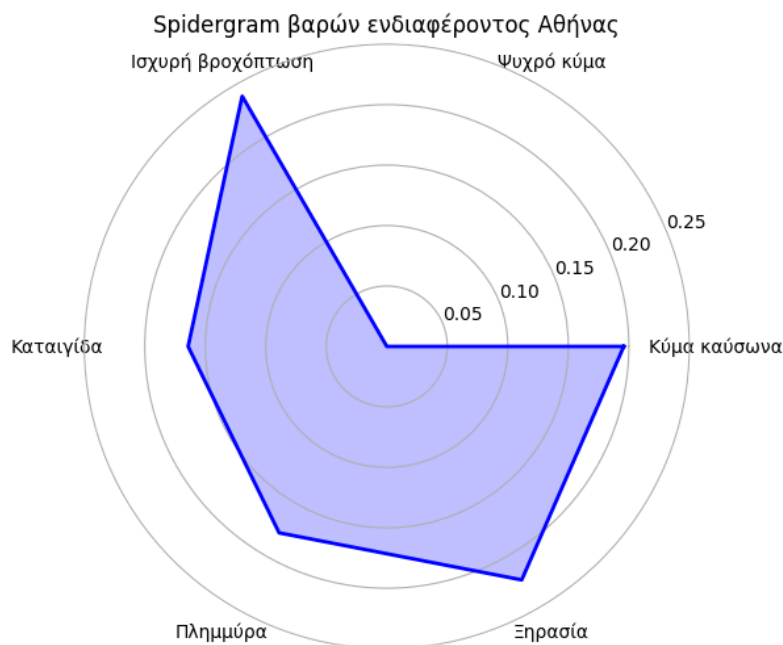
Κλιματικός κίνδυνος	Κύμα καύσωνα	Ψυχρά κύματα	Ισχυρή βροχόπτωση	Καταιγίδα	Πλημμύρες	Ξηρασία
Μετατρέπόμενη τιμή σε κλίμακα 0-1	0,549960534	0	0,67130206	0,46121795	0,5	0,62623349
Σημαντικότητα κινδύνου	0,166666667	0,166666667	0,166666667	0,166666667	0,166666667	0,166666667
Τιμή * Σημαντικότητα	0,091660089	0	0,11188368	0,07686966	0,083333333	0,10437225

Το τελικό κανονικοποιημένο βάρος κάθε κινδύνου προκύπτει από τη διαίρεση της τιμής της τελευταίας σειράς που αντιστοιχεί στον κίνδυνο, με το άθροισμα της τελευταίας σειράς. Έτσι, τα τελικά βάρη για την περιοχή της Αθήνας είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 56 - Τελικά βάρη για τη μελέτη περίπτωσης της Αθήνας

Κλιματικός κίνδυνος	Κύμα καύσωνα	Ψυχρά κύματα	Ισχυρή βροχόπτωση	Καταιγίδα	Πλημμύρες	Ξηρασία
Βάρος	0,195805101	0	0,23900691	0,16420965	0,17801741	0,22296093

Ακολούθως, παρατίθεται ένα spidergram για τα βάρη που υπολογίστηκαν:



Εικόνα 53 - Spidergram για τις τιμές των βαρών για την περιοχή της Αθήνας

4.3.2 Υπολογισμός βαρών για το Ελσίνκι

Συνοψίζοντας, τοποθετούνται τα αποτελέσματα για την περιοχή μελέτης του Ελσίνκι και υπολογίζεται ο μέσος όρος για κάθε κλιματικό κίνδυνο στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 57 - Συνοψισμός αποτελεσμάτων όλων των κινδύνων για την περίπτωση του Ελσίνκι

Κλιματικός κίνδυνος	Κύμα καύσωνα	Ψυχρά κύματα	Ισχυρή βροχόπτωση	Καταιγίδα	Πλημμύρες	Ξηρασία
1 ^ο κριτήριο	0,109922	0,144454	2,54786325	1	2	2,89195386
2 ^ο κριτήριο	0	1,377019457	0,80054795	2,326068376	1	1,15
Μέσος όρος κριτηρίων	0,05496079	0,760736804	1,6742056	1,663034188	1,5	2,02097693

Τα χρώματα στα κελιά του παραπάνω πίνακα αντιστοιχούν στα επίπεδα επικινδυνότητας σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα χρωμάτων:

Πίνακας 58 - Επεξήγηση χρωματισμού για κάθε επίπεδο κινδύνου

Επίπεδο	Χρώμα	Τιμή (0-4)

Εκτός κινδύνου		0
Πολύ χαμηλός κίνδυνος		(0,1]
Χαμηλός κίνδυνος		(1,2]
Μέτριος κίνδυνος		(2,3]
Υψηλός κίνδυνος		(3,4]
Πολύ υψηλός κίνδυνος		4

Επομένως, με βάση με τους μέσους όρους, γίνεται η μετατροπή σε κλίμακα 0-1 και έπειτα με πολλαπλασιασμό με τη σημαντικότητα κινδύνου προκύπτει μία τιμή για κάθε κίνδυνο που φαίνεται στην τελευταία σειρά του ακόλουθου πίνακα:

Πίνακας 59 - Υπολογισμός απαραίτητων ενδιάμεσων τιμών πριν τον υπολογισμό των τελικών βαρών

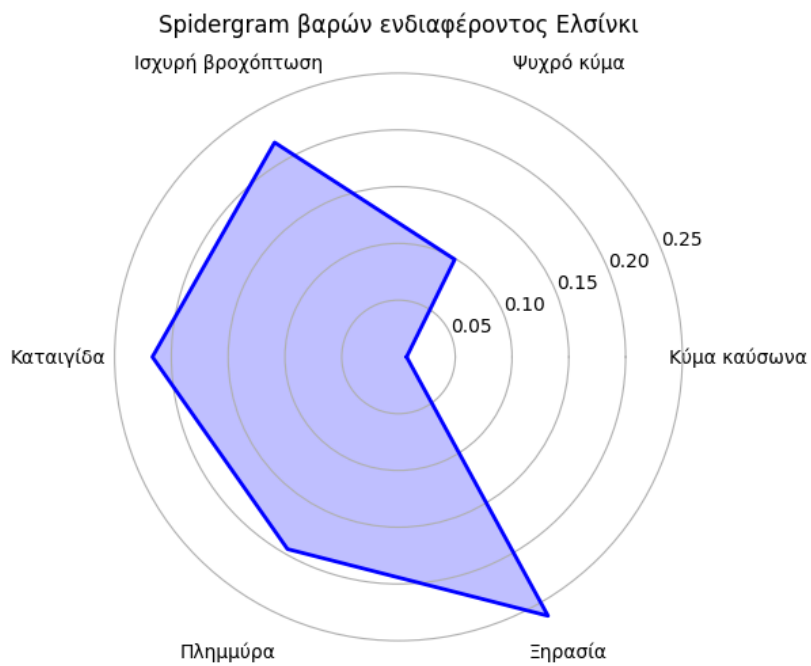
Κλιματικός κίνδυνος	Κύμα καύσωνα	Ψυχρά κύματα	Ισχυρή βροχόπτωση	Καταιγίδα	Πλημμύρες	Ξηρασία
Μετατρέπόμενη τιμή σε κλίμακα 0-1	0,0137402	0,190184201	0,4185514	0,415758547	0,375	0,50524423
Σημαντικότητα κινδύνου	0,16666667	0,166666667	0,16666667	0,166666667	0,16666667	0,16666667
Τιμή * Σημαντικότητα	0,00229003	0,031697367	0,06975857	0,069293091	0,0625	0,08420737

Το τελικό κανονικοποιημένο βάρος κάθε κινδύνου προκύπτει από τη διαίρεση της τιμής της τελευταίας σειράς που αντιστοιχεί στον κίνδυνο, με το άθροισμα της τελευταίας σειράς. Έτσι, τα τελικά βάρη για την περιοχή του Ελσίνκι είναι τα ακόλουθα:

Πίνακας 60 - Τελικά βάρη για τη μελέτη περίπτωσης του Ελσίνκι

Κλιματικός κίνδυνος	Κύμα καύσωνα	Ψυχρά κύματα	Ισχυρή βροχόπτωση	Καταιγίδα	Πλημμύρες	Ξηρασία
Βάρος	0,00716203	0,099132825	0,2181684	0,216712635	0,19546739	0,26335672

Ακολούθως, παρατίθεται ένα spidergram για τις τιμές των βαρών:



Εικόνα 54 - Spidergram για τις τιμές των βαρών για την περιοχή της Αθήνας

5 Συμπεράσματα και συζήτηση

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται συζήτηση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που προέκυψαν κατά την μελέτη περίπτωσης. Αρχικά, αναλύονται πιθανοί τρόποι αξιοποίησης της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε. Έπειτα, παρατίθενται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθοδολογίας, καθώς και οι περιορισμοί που εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια της δημιουργίας της. Τέλος, γίνονται προτάσεις μελλοντικής εξέλιξης για τη μεθοδολογία.

5.1 Τρόποι αξιοποίησης των αποτελεσμάτων της ανάλυσης

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο τη δημιουργία μιας μεθοδολογίας η οποία θα εξετάζει την έκθεση ενός κτιρίου σε διάφορους κλιματικούς κινδύνους και θα παράγει βάρη ενδιαφέροντος για τον καθένα από αυτούς. Η μεθοδολογία βασίστηκε στο πρότυπο της ΕΕ[63] στο οποίο η ανάλυση έκθεσης πραγματοποιείται για τον κάθε κίνδυνο ξεχωριστά. Σημαντική επιθυμία κατά την υλοποίηση της μεθοδολογίας ήταν η αξιολόγηση της κλιματικής έκθεσης σε συγκεκριμένους κλιματικούς κινδύνους και για κάθε πιθανή τοποθεσία, χρησιμοποιώντας αριθμητικά δεδομένα καιρού για την εκάστοτε περιοχή μελέτης. Όπως παρατηρήθηκε, υπήρχαν έρευνες που αφορούσαν την έκθεση σε μεμονωμένους κινδύνους, οι οποίες εστίαζαν κυρίως σε συγκεκριμένες περιοχές. Έτσι, η προϋπόθεση για δημιουργία ενιαίας μεθοδολογίας ικανοποιήθηκε με την ανάπτυξη κριτηρίων για κάθε κλιματικό κίνδυνο μέσω βιβλιογραφικής έρευνας, τα οποία θα εφαρμόζονται σε καιρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης. Συνεπώς, με τη χρήση δεδομένων από την ιστοσελίδα[64] από την οποία διατέθηκαν τα δεδομένα για Αθήνα και Ελσίνκι, είναι ελεύθερη η πρόσβαση σε δεδομένα για αρκετές πόλεις της Ευρώπης, στα οποία μπορεί να εφαρμοστεί η μεθοδολογία που κατασκευάστηκε. Αντίστοιχα, όποιος ερευνητής επιθυμεί να πραγματοποιήσει ανάλυση δεδομένων με διαφορετικά δεδομένα και εργαλεία μπορεί να τα προσαρμόσει στις ανάγκες της μεθοδολογίας.

Όπως αναφέρθηκε, τα τελικά αποτελέσματα της ανάλυσης των περιοχών μελέτης είναι τα βάρη ενδιαφέροντος για κάθε έναν από τους κινδύνους: κύμα καύσωνα, ψυχρό κύμα, ισχυρή βροχόπτωση, καταιγίδα, πλημμύρα, ξηρασία. Τα βάρη αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη στρατηγικών μείωσης κινδύνων, καθώς μέσω των βαρών διαπιστώνεται ποιοι κίνδυνοι μπορούν να χαρακτηριστούν ως κίνδυνοι υψηλής σημασίας και ως εκ τούτου να τεθούν σε προτεραιότητα για λήψη μέτρων αντιμετώπισης, όπως για παράδειγμα αντιπλημμυρικά έργα σε περιοχές με ευαισθησία σε πλημμύρες και έργα αύξησης της αστικής βλάστησης σε περιοχές με ευαισθησία στους καύσωνες. Επιπρόσθετα, είναι σημαντικό εφόσον γίνει ο διαχωρισμός της σημαντικότητας των κινδύνων, να υιοθετηθούν στοχευμένες πολιτικές βελτίωσης της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, οι οποίες θα περιλαμβάνουν την εκπαίδευση και την ευαισθητοποίηση της τοπικής κοινωνίας για τους κλιματικούς παράγοντες που απειλούν την περιοχή τους και τα σπίτια τους.

Όσον αφορά το οικονομικό πλαίσιο, τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης μπορούν να αξιοποιηθούν σε μελέτες για τη χρηματοδότηση έργων που δυναμώνουν

τη θωράκιση απέναντι στην έκθεση στην κλιματική αλλαγή, όπως έργα διαχείρισης των υδάτων για παράδειγμα. Δηλαδή, να αποτελέσουν παράμετρο για τη διαχείριση του προϋπολογισμού των έργων αυτών από την αρμόδια αρχή. Ακόμη, η βαροδότηση ενδεχομένως χρησιμεύσει ώστε οι ασφαλιστικές εταιρείες να προσαρμόσουν τα ασφάλιστρά τους βάσει της σημαντικότητας του κινδύνου, καθώς και να δοθούν οικονομικά κίνητρα από την πολιτεία για επενδύσεις σε έργα που ενισχύουν την ανθεκτικότητα σε κινδύνους υψηλού βάρους.

5.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε διαθέτει σημαντικά πλεονεκτήματα κατά τη χρήση της, τα οποία διαπιστώθηκαν κατά την υλοποίησή της και την εφαρμογή της στις περιοχές μελέτης. Τα πλεονεκτήματα αυτά παρατίθενται ακολούθως:

- Η μεθοδολογία βασίζεται στα πρότυπα που έχει ορίσει η Ευρωπαϊκή Ένωση για τη εκτίμησης κλιματικής τρωτότητας και κινδύνου και μπορεί να συμβάλλει στην συνολική προσπάθεια της ΕΕ για την αναβάθμιση της ανθεκτικότητας στην κλιματική αλλαγή.
- Η διαδικασία ανάλυσης έκθεσης είναι καινοτόμα, καθώς δεν υπάρχει κάποια αντίστοιχη μεθοδολογία με αυτά τα χαρακτηριστικά για την ανάλυση έκθεσης στην κλιματική αλλαγή. Συνήθως, πραγματοποιούνταν έρευνες στοχευμένες μεμονωμένα κτίρια και περιοχές που βασίζονταν σε πειραματικά δεδομένα. Η παρούσα μεθοδολογία προκύπτει από βιβλιογραφική έρευνα και εξάγει συμπεράσματα χωρίς να απαιτείται η μελέτη του κτιρίου με φυσική παρουσία.
- Σε αντίθεση με τις υπάρχουσες μεθοδολογίες που αφορούν σε συγκεκριμένες περιοχές, αυτή που υλοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι ενιαία για όλες τις Ευρωπαϊκές πόλεις. Συνεπώς, ο κάθε χρήστης της μπορεί να επιλέξει την περιοχή μελέτης της επιθυμίας του, να εξάγει τα αντίστοιχα συμπεράσματα και αν επιθυμεί να τα συγκρίνει και με αποτελέσματα άλλων πόλεων.
- Η μεθοδολογία χρησιμοποιεί καιρικά δεδομένα, τα οποία στη σύγχρονη εποχή είναι ελεύθερα και εύκολα προσβάσιμα, επομένως οποιοσδήποτε αναλυτής μπορεί να χρησιμοποιήσει τα δεδομένα που χρειάζεται είτε από την ιστοσελίδα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα, είτε από άλλη πηγή προσαρμόζοντας την ανάλυση του αναλόγως.
- Για την ανάλυση έκθεσης κάθε κινδύνου χρησιμοποιούνται δύο κριτήρια απόφασης διαφορετικής λογικής κι έτσι τα αποτελέσματα που προκύπτουν σχηματίζουν μια σφαιρική και αξιόπιστη εικόνα για τον εκάστοτε κίνδυνο.
- Τα συμπεράσματα συνδυάζουν τη θεωρητική μορφή, δηλαδή το επίπεδο επικινδυνότητας για κάθε κλιματικό κίνδυνο, αλλά και τη μαθηματική μορφή με τον υπολογισμό βαρών ενδιαφέροντος.
- Η μεθοδολογία είναι εύκολα κατανοητή και έχει περιθώρια τροποποίησης ανάλογα με την κρίση και τις ανάγκες κάποιου ερευνητή. Για παράδειγμα, μπορεί κάποιος χρήστης να αντικαταστήσει κάποιο κριτήριο, εάν το βασίσει επιστημονικά και το κρίνει καταλληλότερο από τα υπάρχοντα.

Φυσικά, όπως σε κάθε μεθοδολογία θα ήταν αδύνατο να μην υπήρχαν και κάποια μειονεκτήματα, τα οποία αναλύονται παρακάτω:

- Η μεθοδολογία αφορά τα μέσα αστικά Ευρωπαϊκά κτίρια που χρησιμοποιούνται για στέγαση, υπηρεσίες και καταστήματα. Οπότε, για κτίρια που βρίσκονται εκτός αυτής της γενίκευσης, όπως εργοστάσια, κατοικίες σε αγροκτήματα και κατοικίες σε πολικά χωριά της βόρειας Ευρώπης, ίσως δεν είναι τόσο αξιόπιστα τα αποτελέσματα της μελέτης.
- Η μεθοδολογία δεν είναι εξατομικευμένη στην κάθε περιοχή και ενδεχομένως να μην συμπεριλαμβάνει στη λογική της κάποιες τοπικές ιδιαιτερότητες που ενδεχομένως επηρεάζουν την έκθεση, όπως για παράδειγμα τη βλάστηση της περιοχής.
- Η μελέτη περίπτωσης πραγματοποιείται με καιρικά δεδομένα της περιοχής, ωστόσο σε σχέση με μία πειραματική ανάλυση με φυσική παρουσία δεν μπορεί να διαθέτει ιστορικό κάποιων παρατηρήσεων και συμβάντων.

5.3 Περιορισμοί

5.3.1 Περιορισμοί μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία που κατασκευάστηκε βασίζεται σε κριτήρια με τα οποία αποφαινεται το επίπεδο επικινδυνότητας της έκθεσης στον εκάστοτε κλιματικό κίνδυνο. Είναι προφανές πως ο κάθε κίνδυνος χαρακτηρίζεται από διαφορετικές παραμέτρους και μπορεί να εκφραστεί με αρκετούς τρόπους και κατά επέκταση μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιπλέον κριτήρια που να καλύπτουν διαφορετικά επίπεδα των κινδύνων. Ο λόγος που δεν αξιοποιήθηκαν περισσότερα κριτήρια είναι ότι η παρούσα διπλωματική υλοποιήθηκε από ένα άτομο το οποίο δεν ήταν εξειδικευμένο στην ανάλυση καιρικών δεδομένων. Επομένως, με το συνδυασμό περισσότερων και πιο εξειδικευμένων ειδικοτήτων υπάρχει δυνατότητα επέκτασης της μεθοδολογίας, διότι θα βοηθηθεί η εισαγωγή επιπλέον κριτηρίων για τους κλιματικούς κινδύνους.

5.3.2 Περιορισμός ιστορικού δεδομένων

Τα κλιματικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη περίπτωσης έχουν ιστορικό 17 χρόνων για την Αθήνα (τα 2 αποκλείστηκαν λόγω πολλών κενών τιμών) και 9 για το Ελσίνκι. Γενικά, στην ιστοσελίδα που χρησιμοποιήθηκε τα δεδομένα έχουν ιστορικό παρόμοιου εύρους με τις δύο αυτές πόλεις, το οποίο ικανοποιεί τις ανάγκες της έρευνας, αλλά σε κάθε περίπτωση όσο πιο μεγάλο είναι το αρχείο τόσο πιο ολοκληρωμένη εικόνα μπορεί να σχηματιστεί για τα κλιματικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Αυτός ο περιορισμός δεν επηρεάζει σημαντικά την έρευνα διότι έτσι κι αλλιώς θα χρησιμοποιούνταν τα τελευταία έτη στη μελέτη, ώστε τα αποτελέσματα να ανταποκρίνονται στις παρόν κλίμα.

5.3.3 Περιορισμοί πειραματικής επαλήθευσης

Η μελέτη περίπτωσης ουσιαστικά πραγματοποιείται σε θεωρητικό επίπεδο αναλύοντας παρελθοντικά καιρικά δεδομένα. Συνεπώς, είναι μία διαδικασία η οποία δεν περιλαμβάνει παρατηρήσεις που θα υπήρχαν σε μία μελέτη ενός κτιρίου, όπως για παράδειγμα κάποιες υλικές φθορές εξαιτίας των καιρικών συνθηκών. Θα ήταν χρήσιμο

λοιπόν να συνδυαστεί η μεθοδολογία με κάποιες μελέτες για να γίνει μία μορφή αξιολόγησης. Επιπλέον, μπορεί τα πολυετή καιρικά δεδομένα που αναλύονται να παρέχουν αξιοπιστία, όμως απαιτείται συχνή παρακολούθηση και ενημέρωση της μελέτης, καθώς το κλίμα μεταβάλλεται με όλο και μεγαλύτερο ρυθμό και έτσι τα αποτελέσματα θα ανταποκρίνονται καλύτερα στις παρούσες συνθήκες κλίματος.

5.4 Προτάσεις εξέλιξης

Στην παρούσα διπλωματική δημιουργήθηκε μία καινοτόμα μεθοδολογία η οποία παράγει ολοκληρωμένα συμπεράσματα και αποτελέσματα που αφορούν στην έκθεση στην κλιματική αλλαγή. Ωστόσο, υπάρχουν περιθώρια εξέλιξής της, τα οποία εντοπίστηκαν και μέσω της υλοποίησης και θα βοηθούσαν στην αναβάθμιση των δυνατοτήτων της.

5.4.1 Προτάσεις σχετικά με τη μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που υλοποιήθηκε είναι σχηματισμένη με τέτοιο τρόπο που η επέκτασή της, με σκοπό την κάλυψη περισσότερων πλευρών της κλιματικής έκθεσης, είναι εφικτή διαδικασία. Επιπρόσθετα, η παρούσα διπλωματική είναι διαθέσιμη προς οποιονδήποτε επιθυμεί να τη χρησιμοποιήσει και να την επεκτείνει. Κάποιες προτεινόμενες επεκτάσεις είναι οι ακόλουθες:

- Με την προθήκη επιπλέον κριτηρίων για κάθε κίνδυνο, θα μπορούσε να ενισχυθεί η ακρίβεια της μεθοδολογίας, διότι με πρόσθετα κριτήρια καλύπτεται πολύπλευρα ο εκάστοτε κίνδυνος. Για το κριτήριο των κυμάτων καύσωνα για παράδειγμα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως μεταβλητή απόφασης ο δείκτης Humidex (Ref).
- Σημαντική επέκταση της μεθοδολογίας θα ήταν η προσθήκη επιπλέον κλιματικών κινδύνων ως δευτερεύοντες, οι οποίοι θα χαρακτηρίζονταν ως δευτερεύοντες. Για παράδειγμα θα μπορούσε η Ευρώπη να χωριστεί σε ζώνες (π.χ. Μεσόγειο, Σκανδιναβία, Κεντρική Ευρώπη) και για κάθε ζώνη να χρησιμοποιούνταν δύο επιπλέον κλιματικοί κίνδυνοι οι οποίοι στον υπολογισμό των βαρών θα είχαν μικρότερο βάρος σημαντικότητας από τους πρωτεύοντες.
- Αντίστοιχα με την προηγούμενη κουκίδα, με τη χρήση κάποιων ζωνών θα μπορούσαν κάποιοι από τους πρωτεύοντες κινδύνους να είχαν λίγο μεγαλύτερο βάρος σημαντικότητας από άλλους ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της ζώνης. Έτσι, η μεθοδολογία θα αύξανε το στοιχείο της εξατομικευμένης μελέτης.

5.4.2 Προτάσεις σχετικά με τα δεδομένα και τις μελλοντικές εκτιμήσεις

Η παρούσα διπλωματική πετυχαίνει πλήρως τον στόχο για τον οποίο υλοποιήθηκε, όμως έχει προδιαγραφές και περιθώρια εξέλιξης. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2, η ΕΕ εκτός από τη ανάλυση του παρόντος κλίματος, προτείνει και την εκτίμηση της πιθανής μελλοντικής έκθεσης στην κλιματική αλλαγή. Για να επιτευχθεί η συγκεκριμένη επέκταση προτείνονται οι παρακάτω ενέργειες:

- Η διεύρυνση των δεδομένων σε συνεργασία με κρατικές μετεωρολογικές υπηρεσίες, οι οποίες θα διαθέτουν αρχείο καιρικών δεδομένων ενδεχομένως για πάνω από 50 χρόνια από τη σημερινή εποχή.

- Ανάλυση των πολυετών δεδομένων από το νέο διευρυμένο αρχείο και χρήση μοντέλων όπως Κινητών Μέσων Όρων και συνδυαστικά μοντέλα ARMA και ARIMA για πρόβλεψη χρονοσειρών ώστε να γίνει μία εκτίμηση για τις μελλοντικές τιμές των μεγεθών. Έτσι, η μελέτη περίπτωσης θα παράγει και μία εκτίμηση για τα μελλοντικά επίπεδα επικινδυνότητας και τα μελλοντικά βάρη της περιοχής που αναλύεται.
- Στο πλαίσιο της εκτίμησης που προτάθηκε παραπάνω, θα μπορούσε να γίνει ανάλυση δεδομένων για τις 4 εποχές του κάθε έτους για να προκύψουν πιο στοχευμένα συμπεράσματα για τη μεταβολή των καιρικών συνθηκών ανά εποχή διαχρονικά και να πραγματοποιείται και εκτίμηση για κάθε εποχή ξεχωριστά.
- Η εφαρμογή της μεθοδολογίας για όλα πιθανά σημεία της Ευρώπης και η απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε χαρτογραφημένη μορφή, με τη χρήση των κατάλληλων εργαλείων GIS.

Προϋπόθεση για να εφαρμοστούν τα παραπάνω είναι η συγκέντρωση μεγάλου όγκου δεδομένων ώστε τα αποτελέσματα των αναλύσεων και των εκτιμήσεων να έχουν υψηλή αξιοπιστία.

6 Βιβλιογραφία

- [1] “United Nations.” [Online]. Available: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>
- [2] “Climate adapt.” [Online]. Available: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/eu-adaptation-policy/strategy>
- [3] “Commission Notice — Technical guidance on the climate proofing of infrastructure in the period 2021-2027.” pp. 1–92, 2021.
- [4] C. Folke, “Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses,” *Global Environmental Change*, vol. 16, no. 3, pp. 253–267, Aug. 2006, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002.
- [5] R. S., “Building resilience in the built environment,” 2018, pp. 143–157. doi: 10.4324/9781315159478-11.
- [6] OECD, “Climate-resilient infrastructure,” 2018. Accessed: Jun. 05, 2024. [Online]. Available: <https://www.oecd-ilibrary.org/content/paper/4fdf9eaf-en>
- [7] Comisión Europea. Dirección General de Acción por el Clima., *EU-level technical guidance on adapting buildings to climate change*. Publications Office of the European Union, 2023.
- [8] A. Monterroso and C. Conde, “Exposure to climate and climate change in Mexico,” *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 6, no. 4, pp. 272–288, May 2015, doi: 10.1080/19475705.2013.847867.
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, 2023. doi: 10.1017/9781009325844.
- [10] E. Commission and D.-G. for C. Action, *EU-level technical guidance on adapting buildings to climate change – Best practice guidance*. Publications Office of the European Union, 2023. doi: doi/10.2834/585141.
- [11] M. Demircan *et al.*, *A REVIEW OF THE TURKEY FEBRUARY HEAT WAVE OF 2016*. 2017.
- [12] J. Zuo, S. Pullen, J. Palmer, H. Bennetts, N. Chileshe, and T. Ma, “Impacts of heat waves and corresponding measures: a review,” *J Clean Prod*, vol. 92, pp. 1–12, Apr. 2015, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2014.12.078.
- [13] P. Robinson, “On the Definition of a Heat Wave,” *Journal of Applied Meteorology*, vol. 40, pp. 762–775, Apr. 2001, doi: 10.1175/1520-0450(2001)040<0762:OTDOAH>2.0.CO;2.
- [14] Λουδοβίκος Κ. Βασενχόβεν, “Ο ΣΥΣΤΗΜΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ ΤΟΥ ΚΑΥΣΩΝΑ ΚΑΙ ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΠΡΟΛΗΨΗ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ,” *Γεωγραφίες, Τεύχος 27*, 2016.

- [15] A. M. Tomczyk, M. Pólrolniczak, and L. Kolendowicz, "Cold Waves in Poznań (Poland) and Thermal Conditions in the City during Selected Cold Waves," *Atmosphere 2018*, Vol. 9, Page 208, vol. 9, no. 6, p. 208, May 2018, doi: 10.3390/ATMOS9060208.
- [16] J. A. López-Bueno *et al.*, "The effect of cold waves on mortality in urban and rural areas of Madrid," *Environ Sci Eur*, vol. 33, no. 1, pp. 1–14, Dec. 2021, doi: 10.1186/S12302-021-00512-Z/TABLES/5.
- [17] G. R. Roshan, A. A. Ghanghermeh, and Q. Kong, "Spatial and temporal analysis of outdoor human thermal comfort during heat and cold waves in Iran," *Weather Clim Extrem*, vol. 19, pp. 58–67, Mar. 2018, doi: 10.1016/J.WACE.2018.01.005.
- [18] J. A. Añel, M. Fernández-González, X. Labandeira, X. López-Otero, and L. de la Torre, "Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector," *Atmosphere 2017*, Vol. 8, Page 209, vol. 8, no. 11, p. 209, Oct. 2017, doi: 10.3390/ATMOS8110209.
- [19] B. V. Weißer, A. Jamshed, J. Birkmann, and J. M. McMillan, "Building Resilience After Climate-Related Extreme Events: Lessons Learned from Extreme Precipitation in Schwäbisch Gmünd," <https://doi.org/10.1142/S2345737620500104>, vol. 07, no. 01n02, p. 2050010, Dec. 2020, doi: 10.1142/S2345737620500104.
- [20] J. Kyselý, L. Gaál, and J. Pícek, "Comparison of regional and at-site approaches to modelling probabilities of heavy precipitation," *International Journal of Climatology*, vol. 31, no. 10, pp. 1457–1472, Aug. 2011, doi: 10.1002/JOC.2182.
- [21] K. M. Nissen and U. Ulbrich, "Increasing frequencies and changing characteristics of heavy precipitation events threatening infrastructure in Europe under climate change," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 17, no. 7, pp. 1177–1190, Jul. 2017, doi: 10.5194/NHESS-17-1177-2017.
- [22] N. T. Martzikos, P. E. Prinos, C. D. Memos, and V. K. Tsoukala, "Key research issues of coastal storm analysis," *Ocean Coast Manag*, vol. 199, p. 105389, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.OCECOAMAN.2020.105389.
- [23] A. C. Khanduri and G. C. Morrow, "Vulnerability of buildings to windstorms and insurance loss estimation," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 91, no. 4, pp. 455–467, Mar. 2003, doi: 10.1016/S0167-6105(02)00408-7.
- [24] K. S. Lee, J. M. Caffey, and D. M. Killian, "Structural Evaluation Procedures and Case Studies of Damage Related to Wind Storms, Tornadoes, and Hurricanes," *Forensic Engineering, Proceedings of the Congress*, pp. 749–758, 2009, doi: 10.1061/41082(362)76.
- [25] P. Heneka and T. Hofherr, "Probabilistic winter storm risk assessment for residential buildings in Germany," *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, vol. 56, no. 3, pp. 815–831, Mar. 2011, doi: 10.1007/S11069-010-9593-7.
- [26] D. Woolf and J. Coll, "Impacts of climate change on storms and waves," 2006.
- [27] F. Johnson *et al.*, "Natural hazards in Australia: floods," *Clim Change*, vol. 139, no. 1, pp. 21–35, Nov. 2016, doi: 10.1007/S10584-016-1689-Y/METRICS.

- [28] V. Yevjevich, "Floods and society," in *Coping with Floods*, G. Rossi, N. Harmancioglu, and V. Yevjevich, Eds., Dordrecht: Springer Netherlands, 1994, pp. 3–9. doi: 10.1007/978-94-011-1098-3_1.
- [29] R. M. Ashley, D. J. Balmfort, A. J. Saul, and J. D. Blanskby, "Flooding in the future – predicting climate change, risks and responses in urban areas," *Water Science and Technology*, vol. 52, no. 5, pp. 265–273, Sep. 2005, doi: 10.2166/WST.2005.0142.
- [30] W. Du, G. J. FitzGerald, M. Clark, and X.-Y. Hou, "Health Impacts of Floods," *Prehosp Disaster Med*, vol. 25, no. 3, pp. 265–272, 2010, doi: DOI: 10.1017/S1049023X00008141.
- [31] S. Garvin, J. Reid, and M. Scott, "Standards for the repair of buildings following flooding," Jan. 2005.
- [32] P. Wordsworth and D. Bithell, "Flooding in buildings: assessment, limitation and rehabilitation," *Structural Survey*, vol. 22, no. 2, pp. 105–109, Jan. 2004, doi: 10.1108/02630800410538631.
- [33] C. Ropelewski and C. Folland, *Prospects for the Prediction of Meteorological Drought*. 1999.
- [34] M. Hanel *et al.*, "Revisiting the recent European droughts from a long-term perspective," *Sci Rep*, vol. 8, no. 1, p. 9499, 2018, doi: 10.1038/s41598-018-27464-4.
- [35] S. Mukherjee, A. Mishra, and K. E. Trenberth, "Climate Change and Drought: a Perspective on Drought Indices," *Curr Clim Change Rep*, vol. 4, no. 2, pp. 145–163, 2018, doi: 10.1007/s40641-018-0098-x.
- [36] T. A. Alpino, A. R. M. de Sena, and C. M. de Freitas, "Desastres relacionados à seca e saúde coletiva – uma revisão da literatura científica," *Cien Saude Colet*, vol. 21, no. 3, pp. 809–820, Mar. 2016, doi: 10.1590/1413-81232015213.21392015.
- [37] T. Corti, M. Wüest, D. Bresch, and S. I. Seneviratne, "Drought-induced building damages from simulations at regional scale," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 11, no. 12, pp. 3335–3342, Dec. 2011, doi: 10.5194/nhess-11-3335-2011.
- [38] S. Gillner, J. Vogt, A. Tharang, S. Dettmann, and A. Roloff, "Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites," *Landsc Urban Plan*, vol. 143, pp. 33–42, Nov. 2015, doi: 10.1016/J.LANDURBPLAN.2015.06.005.
- [39] O. Sen, *THE ANALYSIS OF THE HEAT INDEX AND WIND CHILL IN MARMARA REGION*. 2017.
- [40] K. Blazejczyk, Y. Epstein, G. Jendritzky, H. Staiger, and B. Tinz, "Comparison of UTCI to selected thermal indices," *Int J Biometeorol*, vol. 56, no. 3, pp. 515–535, 2012, doi: 10.1007/s00484-011-0453-2.
- [41] Y.-C. Lu and D. M. Romps, "Extending the Heat Index," *J Appl Meteorol Climatol*, vol. 61, no. 10, pp. 1367–1383, 2022, doi: <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-22-0021.1>.
- [42] "NATIONAL WEATHER SERVICE." Accessed: Jun. 27, 2024. [Online]. Available: <https://www.weather.gov/>

- [43] Q. Yin and J. Wang, "The association between consecutive days' heat wave and cardiovascular disease mortality in Beijing, China," *BMC Public Health*, vol. 17, no. 1, p. 223, 2017, doi: 10.1186/s12889-017-4129-7.
- [44] R. Oszcewski and M. Bluestein, "THE NEW WIND CHILL EQUIVALENT TEMPERATURE CHART," *Bull Am Meteorol Soc*, vol. 86, no. 10, pp. 1453–1458, 2005, doi: <https://doi.org/10.1175/BAMS-86-10-1453>.
- [45] H. Lankford and L. Fox, "The Wind-Chill Index: Lessons from History," *Wilderness Environ Med*, vol. 32, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.wem.2021.04.005.
- [46] M. De Rosa, V. Bianco, F. Scarpa, and L. A. Tagliafico, "Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach," *Appl Energy*, vol. 128, pp. 217–229, Sep. 2014, doi: 10.1016/J.APENERGY.2014.04.067.
- [47] Ε. και Κ. Α. Υπουργείο Περιβάλλοντος, "ΦΕΚ Β 407/9.4.2010, «Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων – KENAK»,» Sep. 2010.
- [48] "Eurostat." Accessed: Jun. 22, 2024. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Main_Page
- [49] A. Young, B. Bhattacharya, and C. Zevenbergen, "A rainfall threshold-based approach to early warnings in urban data-scarce regions: A case study of pluvial flooding in Alexandria, Egypt," *J Flood Risk Manag*, vol. 14, no. 2, p. e12702, Jun. 2021, doi: 10.1111/JFR3.12702.
- [50] S. C. Chou, J. Bustamante, and J. Gomes, "Evaluation of ETA Model seasonal precipitation forecasts over South America," *Nonlinear Process Geophys*, vol. 12, Jun. 2005, doi: 10.5194/npg-12-537-2005.
- [51] E. Koliokosta, "Return Periods in Assessing Climate Change Risks: Uses and Misuses," *Environmental Sciences Proceedings*, vol. 26, no. 1, 2023, doi: 10.3390/environsciproc2023026075.
- [52] J. Camelo and T. Mayo, "The lasting impacts of the Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale on storm surge risk communication: The need for multidisciplinary research in addressing a multidisciplinary challenge," *Weather Clim Extrem*, vol. 33, p. 100335, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.WACE.2021.100335.
- [53] J. Mård, G. Di Baldassarre, and M. Mazzoleni, "Nighttime light data reveal how flood protection shapes human proximity to rivers," *Sci Adv*, vol. 4, no. 8, p. eaar5779, May 2024, doi: 10.1126/sciadv.aar5779.
- [54] E. Oriola and C. Chibuike, "Flood risk analysis of Edu local government area (Kwara state, Nigeria)," *GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY*, vol. 9, pp. 106–116, Sep. 2016, doi: 10.15356/2071-9388_03v09_2016_07.
- [55] V. Ramesh and S. S. Iqbal, "Urban flood susceptibility zonation mapping using evidential belief function, frequency ratio and fuzzy gamma operator models in GIS: a case study of Greater Mumbai, Maharashtra, India," *Geocarto Int*, vol. 37, no. 2, pp. 581–606, Jan. 2022, doi: 10.1080/10106049.2020.1730448.

- [56] T. B. Mckee, N. J. Doesken, and J. R. Kleist, "THE RELATIONSHIP OF DROUGHT FREQUENCY AND DURATION TO TIME SCALES," 1993. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:129950974>
- [57] A. Zargar, R. Sadiq, B. Naser, and F. I. Khan, "A review of drought indices," *Environmental Reviews*, vol. 19, no. NA, pp. 333–349, Sep. 2011, doi: 10.1139/a11-013.
- [58] F. Chen, Z. Fan, S. Niu, and J. Zheng, "The Influence of Precipitation and Consecutive Dry Days on Burned Areas in Yunnan Province, Southwestern China," *Advances in Meteorology*, vol. 2014, p. 748923, 2014, doi: 10.1155/2014/748923.
- [59] B. Ehrlich and E. Vanderpool, "Athens," *Encyclopedia Britannica*. Accessed: Mar. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/place/Athens>
- [60] "Ελληνική Στατιστική Αρχή." Accessed: Mar. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.statistics.gr/el/home>
- [61] "Statistics Finland." Accessed: Mar. 19, 2024. [Online]. Available: https://www2.stat.fi/index_en.html,StatisticsFinland,Helsinki
- [62] "Helsinki.com." Accessed: Mar. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.helsinki.com/v/geography/>
- [63] E. Commission and D.-G. for C. Action, *EU-level technical guidance on adapting buildings to climate change*. Publications Office of the European Union, 2023. doi: doi/10.2834/558395.
- [64] "rp5.ru." Accessed: Jun. 27, 2024. [Online]. Available: https://rp5.ru/Weather_in_the_world