

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

---

**Μελέτη Επεισοδίων Καύσιμα στην πόλη της  
Θεσσαλονίκης**

---

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΠΑΠΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

**ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ**

**ΧΑΣΑΝΙΔΟΥ ΒΙΡΓΙΝΙΑ**

**A.M. 3019059**

**Λάρισα, 2023**

## Περίληψη

Αυτή η πτυχιακή εργασία μελετά τα επεισόδια καύσωνα που εκδηλώθηκαν στην πόλη της Θεσσαλονίκης τα καλοκαίρια της χρονικής περιόδου 2013 – 2022. Τα τελευταία χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής έχουν παρατηρηθεί υψηλότερες θερμοκρασίες, οι οποίες συχνά προκαλούν επεισόδια καύσωνα. Με βάση τον World Meteorological Organisation (WMO) ως καύσωνα ορίζεται ότι είναι μια περίοδος ασυνήθιστα θερμού καιρού που συνήθως διαρκεί δύο ή περισσότερες ημέρες. Τα κύματα καύσωνα φέρουν πολλές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την υγεία του ανθρώπου, για αυτό το λόγο αναφέρονται κάποια σημαντικά επεισόδια του καύσωνα, ο σχηματισμός, η σχέση του καύσωνα με περιβαλλοντικά ζητήματα καθώς και οι επιπτώσεις που προκαλεί.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, ο προσδιορισμός μιας ημέρας με καύσωνα βασίστηκε στο κριτήριο της IPCC, το οποίο σύμφωνα με αυτήν, μια ημέρα καύσωνα ανιχνεύεται όταν η ημερήσια μέγιστη ωριαία τιμή θερμοκρασίας υπερβαίνει το 90<sup>ο</sup> εκατοστημόριο της. Αυτό το κριτήριο θερμοκρασίας εφαρμόστηκε στα δεδομένα που καταγράφηκαν στο κέντρο της πόλης. Στη συνέχεια, η αποτίμηση των χαρακτηριστικών των ημερών με καύσωνα στηρίχθηκε σε σχετικούς στατιστικούς δείκτες όπως ο αριθμός ημερών με καύσωνα, η διάρκεια του επεισοδίου, η ημερομηνία εμφάνισης, η ώρα καθώς και η ένταση του καύσωνα. Τέλος, από την επεξεργασία των δεδομένων και την ανάλυσή τους προκύπτουν τα συμπεράσματα ότι τα επίπεδα της θερμοκρασίας από τις ημερήσιες μέγιστες ωριαίες τιμές (ΗΜΩΤ) εμφανίζουν μια μικρή αυξητική τάση κατά τη περίοδο της μελέτης.

**Λέξεις Κλειδιά:** Καύσωνα, ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία, στατιστικοί δείκτες, τάση, Θεσσαλονίκη

## Abstract

This paper studies the heatwave episodes that occurred in the city of Thessaloniki during the summers of 2013 - 2022. In recent years, due to climate change, higher temperatures have been observed, which often cause heat wave episodes. According to the World Meteorological Organization (WMO), a heat wave is defined as a period of unusually warm weather that usually lasts two or more days. Heat waves bring many impacts on the environment and human health, therefore some important heat wave episodes, their formation, the relationship of heat waves to environmental issues and the impacts they cause are mentioned.

In this regard, the definition of a heatwave day was based on the IPCC criterion, according to which a heatwave day is detected when the daily maximum hourly temperature exceeds the 90th percentile. This temperature criterion was applied to the data recorded in the city Centre. The assessment of the characteristics of heatwave days was then based on relevant statistical indicators such as the number of heatwave days, the duration of the episode, the date of occurrence, the time as well as the intensity of the heatwave. Finally, from the data processing and analysis, we conclude that the temperature levels from the daily maximum hourly values (DMA) show a slight increasing trend during the study period. Still, out of the 3 months the strong differences were in the number of days with heat wave where June, July and August.

**Key words:** Heatwave, daily maximum temperature, statistical indicators, tendency, Thessaloniki

## **Ευχαριστίες**

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Κελέση Α.Γ., Τζουμάκα Π.Ν., Τσακνιά Α., Τοτονίδη Ι., Τιμενίδου Π. και Πετρακάκη Μ.Ι. από Δήμος Θεσσαλονίκης, Τμήμα Περιβάλλοντος και Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή για τη παραχώρηση των δεδομένων θερμοκρασίας που καταγράφηκαν στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την Περίοδο 2013 – 2022. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Παπαναστασίου Κ. Δημήτριο για την εξαιρετική συνεργασία μας.

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή - Καύσωνας.....	5
1.1 Ορισμοί Καύσωνα και Επεισοδίου Καύσωνα .....	5
1.2 Κύματα καύσωνα στην Ευρώπη .....	6
1.3 Κύματα Καύσωνα στην Ελλάδα.....	8
1.4 Σχέση του καύσωνα με περιβαλλοντικά θέματα.....	10
1.5 Σχηματισμός κύματος καύσωνα .....	13
1.6 Επιπτώσεις καύσωνα .....	15
1.6.1 Επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου .....	16
1.6.2 Επιπτώσεις στο Περιβάλλον .....	17
Β' μέρος Μεθοδολογία.....	19
2.1 Δεδομένα .....	19
2.2 Προσδιορισμός ημερών με καύσωνα.....	20
2.3 Περιοχή Μελέτης.....	21
2.3.1 Γεωμορφολογία Περιοχής .....	21
2.3.2 Το κλίμα στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης.....	21
2.4 Στατιστικοί δείκτες που αξιοποιήθηκαν.....	22
Μέρος Γ' Αποτελέσματα.....	25
3.1 Επίπεδα της θερμοκρασίας.....	25
3.2 Προσδιορισμός των ημερών με καύσωνα .....	25
3.3 Αριθμός ημερών με καύσωνα ανά έτος και επίπεδα της θερμοκρασίας τις ημέρες αυτές .....	26
3.4 Αριθμός ημερών με καύσωνα τον Ιούνιο και επίπεδα θερμοκρασίας τις ημέρες αυτές .....	28
3.5 Αριθμός ημερών με Καύσωνα τον Ιούλιο και τα επίπεδα θερμοκρασίας τις ημέρες αυτές. ....	29
3.6 Αριθμός ημερών με Καύσωνα τον Αύγουστο και τα επίπεδα θερμοκρασίας τις ημέρες αυτές.....	30
3.7 Σύγκριση Αποτελεσμάτων μεταξύ των μηνών.....	32
3.8 Διάρκεια επεισοδίων καύσωνα.....	32
3.9 Ώρα έναρξης και λήξης του καύσωνα ανά ημέρα με καύσωνα.....	33
3.10 Διάρκεια του καύσωνα κατά τη διάρκεια μιας ημέρας με καύσωνα.....	35
3.11 Ένταση του καύσωνα .....	37
4. Συμπεράσματα .....	39
5. Βιβλιογραφία.....	41

## 1. Εισαγωγή - Καύσωνας

### 1.1 Ορισμοί Καύσωνα και Επεισοδίου Καύσωνα

Τα τελευταία χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής έχουν παρατηρηθεί υψηλότερες θερμοκρασίες, οι οποίες συχνά προκαλούν επεισόδια καύσωνα. Στη διεθνή ορολογία δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή της θερμοκρασίας που ορίζει τον καύσωνα, διότι αυτή διαφοροποιείται ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής και τη γεωγραφική θέση της (Hellenic Weather 2020). Ωστόσο ο World Meteorological Organisation (WMO) ορίζει ως καύσωνα ότι είναι μια περίοδος ασυνήθιστα θερμού καιρού που συνήθως διαρκεί δύο ή περισσότερες ημέρες. Για να θεωρηθεί κύμα καύσωνα, οι θερμοκρασίες πρέπει να είναι εκτός των ιστορικών μέσων όρων για μια συγκεκριμένη περιοχή. Οι όροι που χρησιμοποιούνται για το φαινόμενο αυτό από διάφορους ερευνητές είναι “θερμό κύμα” (heat wave), “θερμή εισβολή” (warm invasion), “μεγάλη θερμή μεταφορά” (large warm advection) κλπ. (Ζιακόπουλος και Φραγκούλη, 2015). Ακόμα, οι θερμοκρασίες των πιο ακραίων θερμών νυχτών, ψυχρών νυχτών και ψυχρών ημερών είναι πιθανό να έχουν αυξηθεί λόγω της ανθρωπογενούς επιρροής. Είναι πολύ πιθανό ότι η ανθρωπογενής επιρροή έχει αυξήσει τον κίνδυνο εμφάνισης κυμάτων καύσωνα (Ahrens, 2009). Όπως είναι αναμενόμενο, ένας καύσωνας παρατηρείται συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες. Ένα κύμα καύσωνα μπορεί πέρα από δυσφορία να προκαλέσει και άλλα σοβαρά προβλήματα στην υγεία ανθρώπου, στο περιβάλλον και στην κοινωνία (García-Herrera et al., 2010). Συνεπώς, ένα κύμα καύσωνα είναι ένα μετεωρολογικό γεγονός και δεν μπορεί να εκτιμηθεί χωρίς αναφορά στις ανθρώπινες επιπτώσεις (Robinson, 2000).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο ορισμός του καύσωνα διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της περιοχής όπως το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο και άλλες συνθήκες που επηρεάζουν το κλίμα της περιοχής. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται ορισμοί του καύσωνα που έχουν διατυπωθεί σε μελέτες σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Στη μελέτη των Papanastasiou et al. (2015) με βάση την μελέτη των Ματζαράκης και Νάστος, (2011), αναφέρουν πως τα κύματα καύσωνα σχετίζονται με σοβαρά περιβαλλοντικά και ιατρικά προβλήματα, προκαλώντας και σοβαρές οικονομικές συνέπειες. Μια μελέτη που διεξήχθη στην Ταϊλάνδη χρησιμοποίησε 30 διαφορετικούς ορισμούς για τον καύσωνα (Huang et al., 2018).

Σύμφωνα με την EMY (2020), για να χαρακτηριστεί μία ημέρα ως ημέρα με καύσωνα στην Ελλάδα, θα πρέπει ο μέσος όρος της θερμοκρασίας της ημέρας να είναι μεγαλύτερος ή ίσος με τους 39 °C, με την προϋπόθεση αυτό να παρατηρείται σε ευρεία γεωγραφική έκταση. Οι τιμές αυτές της θερμοκρασίας θα πρέπει να σημειώνονται το λιγότερο για τρεις συνεχόμενες μέρες (Σαραντόπουλος και Μιχελαράκη, et al., 2021).

Τέλος, τονίζεται ότι αν εξαιρεθούν οι μεμονωμένες ημέρες με καύσωνα στη περιοχή, ο καύσωνας συνδέεται με τις έντονες θερμές μεταφορές μεγάλης κλίμακας, συχνά από την Βόρεια Αφρική, και με βάση αυτό, διαρκεί περισσότερο από μια ημέρα και καλύπτει σχεδόν ολόκληρη την χώρα. (EMY 2015). Στο πλαίσιο αυτό, ως επεισόδιο καύσωνα ορίστηκε μια σειρά τουλάχιστον 3 διαδοχικών ημερών με μέγιστη Θερμοκρασία  $\geq 38^{\circ}$  C. (Ζιακόπουλος και Φραγκούλη, 2015).

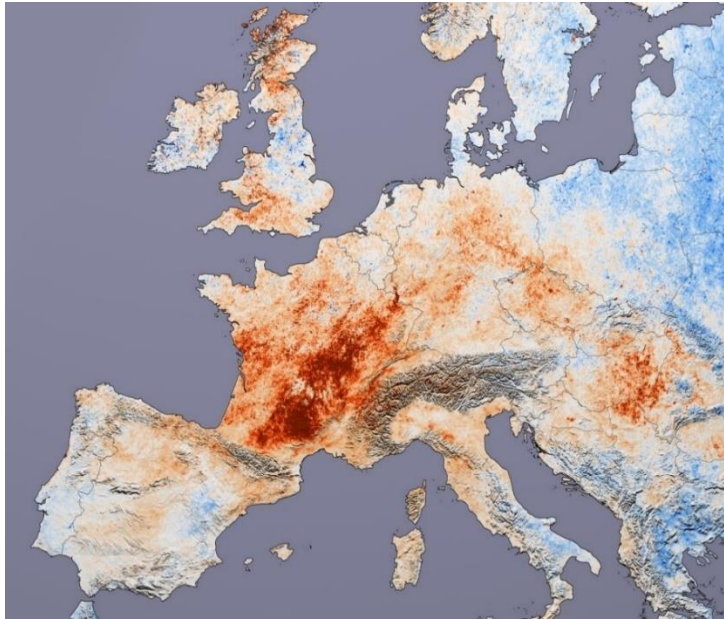
Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, στο πρώτο μέρος της αναφέρονται κάποια σημαντικά επεισόδια του καύσωνα, ο σχηματισμός, η σχέση του καύσωνα με περιβαλλοντικά ζητήματα καθώς και οι επιπτώσεις που προκαλεί είτε στην υγεία του ανθρώπου είτε στο περιβάλλον. Στο δεύτερο μέρος της γίνεται η μελέτη και η ανάλυση των επεισοδίων

καύσωνα στη περιοχή της Θεσσαλονίκης με χρονικό διάστημα 2013-2022. Τέλος, στο τρίτο μέρος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης καθώς και τα συμπεράσματα.

## 1.2 Κύματα καύσωνα στην Ευρώπη

Το 2003, η Ευρώπη υπέστη το πιο ζεστό καλοκαίρι της εδώ και τουλάχιστον 500 χρόνια, με τις θερμοκρασίες στην Ελβετία να ξεπερνούν το προηγούμενο ρεκόρ κατά 2,4 °C. Ο καύσωνας του 2003 στην Ευρώπη προκάλεσε πρωτοφανή οικολογική ζημιά και χιλιάδες υπερβολικούς ανθρώπινους θανάτους (Φούντα et al., 2009). Το παρατηρητήριο της NASA (Εικόνα 1) κατέγραψε πως η Ευρώπη βίωσε ένα ιστορικό κύμα καύσωνα που είχε προκαλέσει τουλάχιστον 3.000 θανάτους μόνο στη Γαλλία το καλοκαίρι του 2003, σε σύγκριση με τον Ιούλιο του 2001, οι θερμοκρασίες τον Ιούλιο του 2003 ήταν υψηλές. (NASA, 2022).

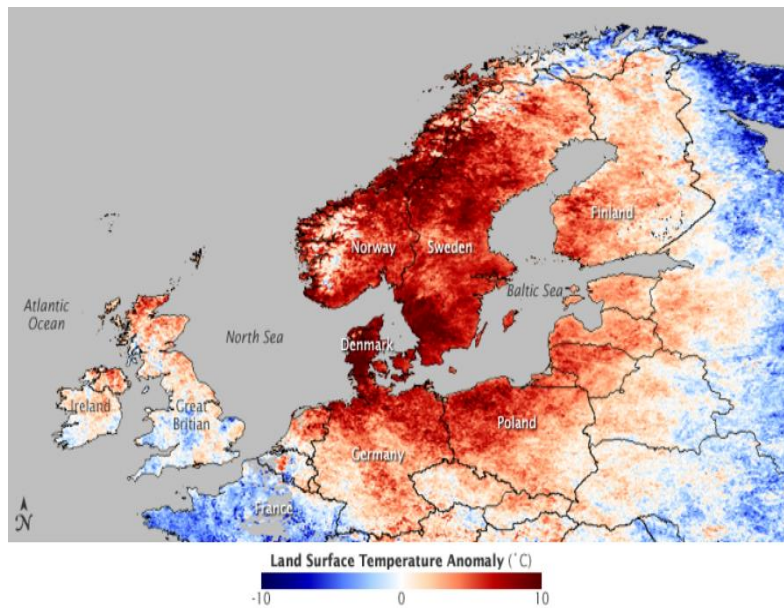
Ακόμη και οι Άλπεις, οι οποίες διασχίζουν τη νοτιοανατολική Γαλλία, την Ελβετία, την Αυστρία και τη βόρεια Ιταλία η θερμοκρασία ήταν πολύ υψηλή. Οι πάγοι λιώσανε γρήγορα με αποτέλεσμα να διογκωθούν ποτάμια και λίμνες σε επικίνδυνα υψηλά επίπεδα. Οι ορειβάτες έπρεπε να απομακρυνθούν από το διάσημο Matterhorn της Ελβετίας αφού το λιώσιμο προκάλεσε την κατάρρευση ενός βράχου. Το κύμα καύσωνα εκτεινόταν βόρεια μέχρι το Ηνωμένο Βασίλειο, ιδιαίτερα τη νότια Αγγλία και τη Σκωτία. Στο Λονδίνο, τα τρένα έκλεισαν λόγω φόβων ότι οι γραμμές θα λυγίσουν στη ζέστη, ενώ στη Σκωτία οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με την πτώση της στάθμης των υδάτων σε ποτάμια και ρέματα απείλησαν την ωτοκία και την επιβίωση του σολομού. Σε όλη τη Γαλλία, την Ισπανία, την Πορτογαλία και την Ιταλία, η έντονη ζέστη και οι ξηρές συνθήκες πυροδότησαν καταστροφικές δασικές πυρκαγιές που σκότωσαν τουλάχιστον 15 ανθρώπους. Ο συνδυασμός υψηλών θερμοκρασιών και ξηρασίας μπορεί να οδηγήσει σε δασικές πυρκαγιές, οι χειρότερες πυρκαγιές έχουν καταγραφεί στην Αυστραλία. (Aguado και Burt 2013).



Εικόνα 1: Μέση Θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης από το Φασματοραδιόμετρο MODIS στο δορυφόρο TERRA της NASA. Το βαθύ κόκκινο χρώμα σε όλη τη νότια και ανατολική Γαλλία δείχνει που η θερμοκρασία ήταν 10 οC υψηλότερη το 2003 σε σχέση με το 2001

- Τον Ιούλιο 2006 με ημερομηνίες 12-19, στη Βόρεια Ευρώπη η θερμοκρασίες ήταν πάνω από το μέσο όρο. Οι χώρες που χτύπησε το κύμα αυτό ήταν το Ηνωμένο Βασίλειο, το Βέλγιο, η Ολλανδία, η Γαλλία, η Γερμανία, η Τσεχία και η Ουγγαρία. Συγκεκριμένα, στο Βέλγιο στις 19 Ιουλίου η θερμοκρασία έφτασε μέχρι και τους 36°C καθιστώντας την πιο ζεστή ημέρα τα τελευταία 60 έτη. Ακολούθως, στο Ηνωμένο Βασίλειο οι θερμοκρασία άγγιξε τους 36,3° C και στη Γερμανία καταγράφηκαν θερμοκρασίες υψηλότερες από 40° C, με 20 θανάτους. (Konats RS, et al., 2006).
- Το 2013 στην Αυστραλία καταγράφηκε ο θερμότερος Ιανουάριος με θερμοκρασίες υψηλότερες από 39° C για 7 συνεχόμενες ημέρες σε ολόκληρη την χώρα. (Jessica Aldred, 07/03 2013).

Η εικόνα 2 δείχνει την θερμοκρασιακή ανωμαλία της επιφάνειας στη Βόρεια Ευρώπη στις 21 Ιουνίου.



Εικόνα 2: Σύγκριση Μέσης Θερμοκρασίας 2-8 Ιουνίου 2008. Εικόνα από το δορυφόρο TERRA της NASA Πηγή: NASA.com

Η εικόνα αυτή συγκρίνει τη μέση θερμοκρασία μεταξύ 2 Ιουνίου και 8 Ιουνίου 2008, με τις μέσες θερμοκρασίες που καταγράφηκαν κατά την ίδια περίοδο τον Ιούνιο του 2000 έως το 2007. Οι περιοχές που ήταν θερμότερες από τον μέσο όρο είναι κόκκινες, ενώ οι ψυχρότερες από τις μέσες συνθήκες αντιπροσωπεύονται με μπλε χρώμα. Η ζέστη που κυριάρχησε στον καιρό στη βόρεια Ευρώπη στις αρχές Ιουνίου είναι εμφανής στο σκούρο κόκκινο που καλύπτει τη Νορβηγία, τη Σουηδία, τη Δανία και τμήματα της Γερμανίας και της Πολωνίας. Η Νότια Ευρώπη γνώρισε ψυχρότερες από τις μέσες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της περιόδου. Η έντονη ζέστη και ο ξηρός καιρός οδήγησαν σε επικίνδυνες συνθήκες πυρκαγιάς στη Σκανδιναβία. Τόσο η Νορβηγία όσο και η Σουηδία επλήγησαν από αρκετές δασικές πυρκαγιές στις αρχές Ιουνίου. Μια πυρκαγιά που έκαψε για αρκετές ημέρες στη νότια Νορβηγία ήταν η μεγαλύτερη στην ιστορία της χώρας, προκαλώντας ζημιές αξίας περίπου δέκα εκατομμυρίων δολαρίων, ανέφερε η The Norway Post στις 17 Ιουνίου 2008. (NASA, 2022)

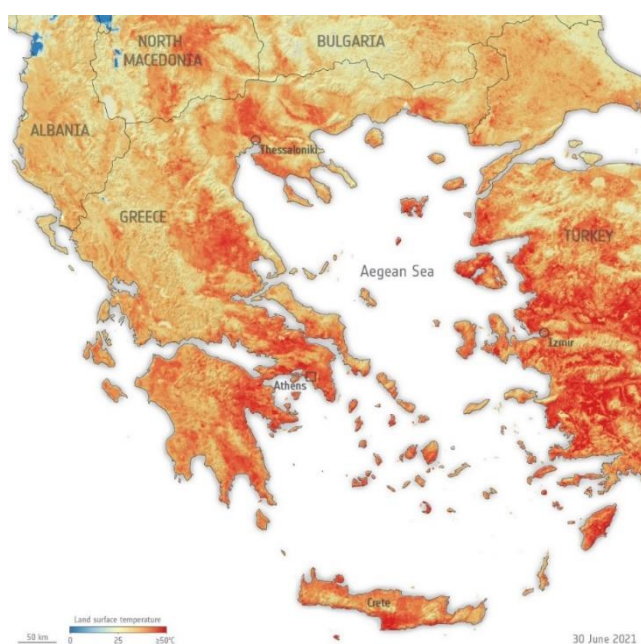
### 1.3 Κύματα Καύσιμα στην Ελλάδα

Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η Ελλάδα συνήθως βιώνει επεισόδια υψηλών θερμοκρασιών και καυσώνων λόγω της μεταφοράς θερμών αερίων μαζών, γνωστών ως "εισορές θερμού αέρα" από τη Βόρεια Αφρική. Σε ορισμένες περιπτώσεις, θερμές αέριες μάζες μεταφέρονται ακόμα και από το ηπειρωτικό τμήμα του ανατολικού τριγώνου Τουρκίας-Ιράκ-Συρίας. Ανάλογα με την πηγή της εισροής θερμού αέρα, τα ηπειρωτικά τμήματα της δυτικής Ελλάδας και της κεντρικής και νότιας Ελλάδας επηρεάζονται περισσότερο από τις υψηλές θερμοκρασίες. (Μαυράκης et al., 2012).

Η Ελλάδα γνώρισε το πιο ζεστό καλοκαίρι της το 2007, με θερμοκρασίες να φτάνουν το 44,8°C θερμοκρασίες στην Αθήνα, όπου ξεπερνούν τη μέση τιμή 1961–1990 κατά 3,3°C. (Φούντα et al., 2009) Να σημειωθεί, πως σε μια μελέτη τους για τον καύσιμα του 2007 στην Αθήνα, διευκρινίζουν πως ο κύριος λόγος για τα κύματα στην Ελλάδα το έτος αυτό,

ήταν η μεταφορά ξηρών και θερμών αέριων μαζών από τη Βόρεια Αφρική στη Μεσόγειο καθώς και στα βορειότερα Βαλκάνια.

Το καλοκαίρι του 2021, έχει αναγνωριστεί ως ένα από τα πιο ακραία φαινόμενα καλοκαιρίας παγκοσμίως, εμφανίζοντας έντονα κύματα καύσωνα που προκάλεσαν πολυάριθμους απροσδόκητους θανάτους και οικολογικές καταστροφές. (Φούντα et.al., 2022). Το κύμα καύσωνα αυτό σχετίζεται με την μεταφορά θερμών αέριων μαζών από την Αφρική, την επικράτηση ισχυρών αντικυκλώνων σε διάφορα επίπεδα και τις βυθιζόμενες αέριες μάζες, που προκάλεσαν θέρμανση με συμπίεση. (UNN 03/05/2022). Οι υψηλές θερμοκρασίες έπληξαν τόσο την Ελλάδα όσο και την Τουρκία αυτή την εβδομάδα, τις ημερομηνίες 19-28 Ιουνίου, καταγράφηκαν οι υψηλότερες θερμοκρασίες στην Αθήνα, με τιμές να κυμαίνονται 44°C έως και 46°C σε περιοχές τις αττικής, οδηγώντας στο προσωρινό κλείσιμο της Ακρόπολης - του πιο επισκέψιμου μνημείου της Ελλάδας. (ESA, 2022).



Εικόνα 3: Χάρτης Ελλάδας στις 30 Ιουνίου με τις επιφανειακές Θερμοκρασίες. Εικόνα από Copernicus Sentinel data, processed by ESA

Αυτός ο χάρτης δείχνει τη θερμοκρασία της επιφάνειας της γης της Ελλάδας και των γύρω χωρών στις 30 Ιουνίου. Τα στοιχεία δείχνουν ότι οι επιφανειακές θερμοκρασίες έφτασαν πάνω από τους 50°C σε πολλές περιοχές, συμπεριλαμβανομένων των βορειοδυτικών της Αθήνας και πολλών περιοχών της Τουρκίας. Οι μπλε κηλίδες που είναι ορατές κοντά στην Αλβανία είναι σύννεφα. Ο χάρτης έχει δημιουργηθεί με τη χρήση του ραδιομέτρου θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας και της ξηράς του Copernicus Sentinel-3. Ενώ οι μετεωρολογικές προβλέψεις χρησιμοποιούν προβλεπόμενες θερμοκρασίες αέρα, ο δορυφόρος μετρά την πραγματική ποσότητα ενέργειας που ακτινοβολεί από τη Γη - επομένως αυτός ο χάρτης αντιπροσωπεύει καλύτερα την πραγματική θερμοκρασία της επιφάνειας της γης.

Το κύμα καύσωνα που έπληξε την χώρα από τα τέλη του Ιουνίου μέχρι και τον Αύγουστο του 2021 χαρακτηρίστηκε ως ένα από τα πιο ακραία επεισόδια που είχε δει ποτέ η Ελλάδα συγκρίνοντας τα δεδομένα που αναγράφονται παρακάτω, του 1987 (Κατσουγιάννη et al.,

1988) και του 2007, καθώς υπήρχαν θανατηφόρες επιπτώσεις στον άνθρωπο, στα δάση και την γεωργική παραγωγή. (Φούντα et al., 2009).

Στη Θεσσαλονίκη το κύμα έφτασε τις ημερομηνίες 18-25 Ιουλίου, η θερμοκρασία που καταγράφηκε στο Μετεωρολογικό Σταθμό του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης ήταν 43,3°C, η μεγαλύτερη θερμοκρασία έως τώρα. Τέλος, το κύμα έφτασε στην Πελοπόννησο τις ημερομηνίες 21-26 Αυγούστου οδηγώντας σε καταστροφικές πυρκαγιές, λόγω της εκτεταμένης ξηρασίας σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες και ισχυρών ανέμων. Οι συνέπειες των κυμάτων ήταν η δυσφορία στις πόλεις καθώς και 366 περιπτώσεις θερμοπληξίας με 18 ανθρώπους από αυτούς να χάνουν την ζωή τους. Υπήρχε μεγάλη κατανάλωση ενέργειας και επιπτώσεις στη χλωρίδα και πανίδα καταστρέφοντας το 2% της ηπείρου και με απώλεια 64 ανθρώπινων ζώων (Φούντα et al., 2008).

- Τον Ιούλιο του 1987 στην Αθήνα το κύμα καύσωνα διήρκησε 11 ημέρες, από τις 20/7 – 31/7, στη χρονική περίοδο αυτήν, ο αριθμός θανάτων ξεπέρασε τους 1000 ανθρώπους. (Matzarakis et al., 1991).
- Τον Ιούνιο 2007 στη Νότια και Βαλκανική Ευρώπη υπήρχε ένα ισχυρό κύμα καύσωνα επηρεάζοντας στην αρχή την Ιταλία και την Τουρκία και στην συνέχεια την Ελλάδα, την Αλβανία, την Ουκρανία και την Ουγγαρία. Οι θερμοκρασίες στις ημερομηνίες 24-26 Ιουνίου έφτασαν μέχρι 43° C - 44° C. Στην Αθήνα η θερμοκρασία έφτασε τους 46,2° C δημιουργώντας μεγάλα ενεργειακά προβλήματα λόγω χρήσης κλιματιστικών. Εκείνη την περίοδο πάνω από 200 άνθρωποι νοσηλεύτηκαν με προβλήματα από τις υψηλές θερμοκρασίες καθώς υπήρχαν 18 θάνατοι. Τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο εξακολουθούσαν τα επίπεδα θερμοκρασίας να είναι υψηλά πάνω από 40° C. Στις 21 Ιουλίου στην Πελοπόννησο ξέσπασαν πυρκαγιές όπου καταστράφηκε σε μεγάλο βαθμό η χλωρίδα και η πανίδα της περιοχής. (Λαβή Αργυρούλα, et al., 2016)

## 1.4 Σχέση του καύσωνα με περιβαλλοντικά θέματα

### Ποιότητα Αέρα

Ο καύσωνας μπορεί να έχει άμεση επίδραση στην ποιότητα του αέρα, καθώς επηρεάζει τις συνθήκες ατμοσφαιρικής διασποράς και διασποράς των ρύπων. Οι καύσωνες συνήθως συνοδεύονται από υψηλές θερμοκρασίες, χαμηλή υγρασία και χαμηλή ταχύτητα αέρα. Αυτές οι κλιματικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του αέρα με τους εξής τρόπους: (Τριανταφύλλου Σ. et al., 2017)

- i. Υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων: Κατά τη διάρκεια ενός καύσωνα, η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να αυξήσει την παραγωγή και την απελευθέρωση ρύπων από πηγές όπως οδική κυκλοφορία, βιομηχανίες και εκπομπές από στερεά καύσιμα. Η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να συμβάλει στην επιτάχυνση χημικών αντιδράσεων που οδηγούν στη δημιουργία φωτοχημικών ρύπων του αέρα, όπως το όζον, με αποτέλεσμα την επιδείνωση της ποιότητας του αέρα.
- ii. Διασπορά ρύπων: Η χαμηλή ταχύτητα αέρα που παρατηρείται συνήθως κατά τη διάρκεια καύσωνα μπορεί να μειώσει τη διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα. Αυτό σημαίνει ότι οι ρύποι μπορεί να συγκεντρωθούν σε συγκεκριμένες περιοχές, με αποτέλεσμα την επιδείνωση της ποιότητας του αέρα σε αυτές τις περιοχές.

- iii. Διαβροχή των ρύπων: Η χαμηλή υγρασία κατά τη διάρκεια των καυσώνων μπορεί να μειώσει την πιθανότητα βροχής, η οποία συνήθως βοηθά στην αφαίρεση των ρύπων από την ατμόσφαιρα και την απόθεσή τους στο έδαφος. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων στον αέρα.

Σε μελέτη των Παπαναστασίου Δ.Κ, κ.α. το 2014, εξετάζεται η ποιότητα του αέρα κατά τις ημέρες του καύσωνα στην Αθήνα για την χρονική περίοδο 2001- 2010, όπου καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η ποιότητα του αέρα επιδεινώθηκε κατά τη διάρκεια των ημερών του καύσωνα που εντοπίστηκαν τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Συγκεκριμένα, η υψηλή συγκέντρωση του PM10 και του O3, οι συγκεντρώσεις αυτές συνδέονται άμεσα με τον αριθμό ημερών με καύσωνα οι οποίες ευνοούν την αύξηση των επιπέδων ρύπανσης.

Επιπλέον, υπάρχουν κάποιοι κύριοι ρύποι που επηρεάζονται άμεσα με την ατμοσφαιρική ρύπανση και τα επίπεδα θερμοκρασίας από ανθρωπογενής και φυσικές δραστηριότητες καθώς συνδυάζονται και με την υγεία του ανθρώπου, όπως: (Λημνιώτης, 2005)

- i. Μονοξείδιο του άνθρακα: Κύρια πηγή σε αστικές περιοχές λόγω των κινητήρων αυτοκινήτων. Έχει μεγάλη επίδραση και στην υγεία του ανθρώπου, όπου όταν εισπνέεται είναι τοξικό γιατί αλληλοεπιδρά με το οξυγόνο σε ένα από τα τέσσερα άτομα σιδήρου στην αιμοσφαιρίνη.
- ii. Διοξείδιο του Άνθρακα: Είναι προϊόν καύσης και παράγεται παγκοσμίως σε τεράστιες ποσότητες. Η παραγωγή του είναι και από ανθρωπογενής αλλά και φυσικής δραστηριότητας. Ανήκει στα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου, καθώς το φαινόμενο του θερμοκηπίου συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας. Ακόμα, δημιουργεί αναπνευστικά προβλήματα στον άνθρωπο.

### Ενέργεια

Ο καύσωνας μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στον τομέα της ενέργειας. Ορισμένες από αυτές τις επιπτώσεις περιλαμβάνουν: (CNN, Greece 2021)

- i. Αύξηση της ζήτησης ενέργειας: Κατά τη διάρκεια καύσωνα, οι άνθρωποι χρησιμοποιούν περισσότερο κλιματισμό, ανεμιστήρες και άλλες συσκευές ψύξης. Αυτό οδηγεί σε αύξηση της ηλεκτρικής ζήτησης, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο καθώς προβλήματα στο δίκτυο ηλεκτροδότησης όπως στην παροχή ενέργειας με συχνές διακοπές ρεύματος και αυξημένα κόστη ενέργειας.
- ii. Κίνδυνος υπερφόρτωσης του δικτύου: Η αυξημένη ζήτηση ενέργειας κατά τη διάρκεια του καύσωνα μπορεί να οδηγήσει σε υπερφόρτωση του ηλεκτρικού δικτύου, με δυνητικές διακοπές ρεύματος. Οι κυριότεροι λόγοι που μπορεί να προκληθεί υπερφόρτωση του δικτύου είναι και η περιορισμένη δυνατότητα μεταφοράς ενέργειας καθώς το δίκτυο έχει περιορισμένη δυνατότητα μεταφοράς από μία περιοχή σε μια άλλη. Κατά τη διάρκεια του καύσωνα, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε συμφόρηση των γραμμών μεταφοράς.
- iii. Επιπτώσεις στην παραγωγή ενέργειας: Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία ορισμένων ενεργειακών υποδομών, όπως τα ηλεκτρικά εργοστάσια και τα πυρηνικά αντιδραστήρια. Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να μειώσουν την απόδοση και την αποτελεσματικότητα των εγκαταστάσεων, προκαλώντας προβλήματα στην παραγωγή ενέργειας.

- iv. Επιπτώσεις στην υδροδότηση και την ψύξη: Η αυξημένη ζήτηση νερού για ψύξη μπορεί να επηρεάσει την υδροδότηση των πόλεων. Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν επίσης να επηρεάσουν την απόδοση των εργοστασίων ψύξης, όπως των ψυκτικών πύργων σε παραγωγικές εγκαταστάσεις.
- v. Πιθανή μείωση της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση ορισμένων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως των ηλιακών πάνελ και των ανεμογεννητριών.
- vi. Αντίκτυπος στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων: Ο καύσωνας μπορεί να αυξήσει την ανάγκη για κλιματισμό και ψύξη στα κτίρια, με αποτέλεσμα την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης και των λογαριασμών ενέργειας.

Επιπρόσθετα, στη μελέτη των Σταυρόπουλο και Μπαλκούρας για τις αστοχίες δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας το 2022, επεξηγούν των λόγω των αυξημένων θερμοκρασιών που υπήρξε, καθώς και την υψηλή κατανάλωση ενέργειας, με αποτέλεσμα συχνές διακοπές ηλεκτρισμού σε όλη την Ελλάδα. Ειδικότερα το 2007 στα μέσα του Ιουνίου, σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη υπήρχαν εκτεταμένες διακοπές ηλεκτρισμού προκειμένου να μην καταρρεύσει το σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Η βασική αιτία της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας και κατάρρευσης ηλεκτροπαραγωγής ήταν η κλιματιστικών μηχανημάτων, όπου το σύστημα υπερφορτώνεται από την αυξημένη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας. (Σταυρόπουλος και Μπαλκούρας 2022)

Οι ισχυροί καύσωνες μπορούν επίσης να προκαλέσουν προβλήματα στο δίκτυο όχι απαραίτητα άμεσα, όπως στο παραπάνω παράδειγμα. Με άλλα λόγια, τα κύματα καύσωνα μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιές, οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να καταστρέψουν κρίσιμο εξοπλισμό ηλεκτρικής ενέργειας. (Louis et al., 2016.)

### **Αστική Θερμική Νησίδα**

Η αστική θερμική νησίδα (Urban Heat Island - UHI) είναι το φαινόμενο κατά το οποίο στο κέντρο μιας αστικής περιοχής παρατηρούνται υψηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις θερμοκρασίες που παρατηρούνται στα προάστειά της. Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας συνήθως σχετίζεται με την αστική δόμηση, την αστική ανάπτυξη και τις ανθρώπινες δραστηριότητες. (Τριανταφύλλου Σ. et al., 2017).

Οι αστικές θερμικές νησίδες δημιουργούνται λόγω διαφόρων παραγόντων:

- Συσσωρευμένη Θερμότητα: Οι αστικές περιοχές συγκεντρώνουν θερμότητα λόγω της πολλαπλής σκληρής επιφάνειας, όπως δρόμοι από άσφαλτο και τσιμέντο. Μεγάλο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάτε από τα δομικά υλικά της πόλης και επανεκπέμπεται ως υπέρυθρη ακτινοβολία, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της μέρας και της νύχτας.
- Ανθρώπινες Δραστηριότητες: Οι βιομηχανικές και οι οικιστικές δραστηριότητες παράγουν θερμότητα, όπως από τις εκπομπές καυσαερίων, τον κλιματισμό, τις θερμές πηγές κ.ά.
- Φυτική Κάλυψη: Η έλλειψη φυτικής κάλυψης (πάρκα, δέντρα, γκαζόν) σε αστικές περιοχές επιτρέπει την αποθήκευση θερμότητας και τη μείωση της ψύξης μέσω της έκλυσης υδρατμών.

Επιπρόσθετα, το φαινόμενο της δυσφορίας και τα επίπεδα θερμοκρασίας είναι συνήθως πιο έντονα στις αστικές περιοχές, συγκεκριμένα στα κέντρα, λόγω της αστικής θερμικής νησίδας (ΑΘΝ). Η αστική θερμική νησίδα οφείλεται περισσότερο σε ανθρωπογενείς

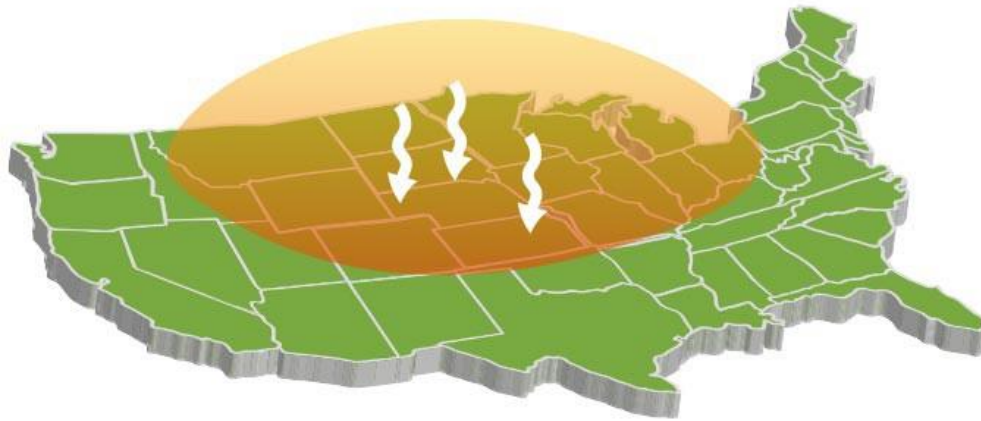
παράγοντες σε συνδυασμό με την ατμοσφαιρική ρύπανση με αποτέλεσμα η ατμόσφαιρα στα κέντρα των πόλεων να είναι αποπνικτική τις θερινές περιόδους σε σχέση με προαστιακές περιοχές. Ακόμα, έχει παρατηρηθεί ότι λόγω του καύσωνα υπάρχει μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας για την αυξημένη ανάγκη ψύξης, καθώς αυτό αυξάνει τις εκπομπές αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Σε μια μελέτη ο Parker μελέτησε τις επιπτώσεις του φαινομένου ΑΘΝ με βάση παγκόσμιων εκτιμήσεων της επιφανειακής θερμοκρασίας. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η ΑΘΝ είχε σχετικά μικρή επίδραση στην τάση της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας. (Parker et al., 2010). Επιπρόσθετα, η θερμική δυσφορία μπορεί να είναι πιο έντονη στις αστικές περιοχές, καθώς τα επίπεδα θερμοκρασίας είναι υψηλότερα στο κέντρο μιας πόλης από ό,τι σε τα προάστια της λόγω του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Papanastasiou et al., 2009). Ακόμα στην μελέτη τους αναφέρουν πως το φαινόμενο ΑΘΝ επηρεάζει καθοριστικά τις νυχτερινές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα τη διατήρηση των σχετικών υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια της νύχτας σε αστικές περιοχές. Συμπέραναν ακόμη, ότι η ανάπτυξη της θαλάσσιας αύρας σχετίζεται με σημαντική μείωση των επιπέδων θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια των κυμάτων καύσωνα, με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας έως και 8,2°C κατά τις θερμότερες ώρες της ημέρας. (Papanastasiou et al., 2009).

## 1.5 Σχηματισμός κύματος καύσωνα

Ένα από τα βασικά συστατικά που απαιτούνται για να σχηματιστούν κύματα καύσωνα είναι, φυσικά, οι υψηλές θερμοκρασίες. Μια άλλη είναι μια επίμονη περιοχή υψηλής πίεσης στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Τα συστήματα υψηλής πίεσης συνδέονται με συνθήκες καθαρισμού, αλλά και σταθερό, βυθιζόμενο αέρα. Έτσι, κάθε φορά που μια περιοχή υψηλής πίεσης κινείται πάνω από μια περιοχή, ο αέρας στην κοντινή ατμόσφαιρα βυθίζεται προς την επιφάνεια. Αυτή η δράση βύθισης λειτουργεί ως κάλυμμα θόλου, σφραγίζοντας τον αέρα κάτω από την υψηλή πίεση από τη γύρω ατμόσφαιρα.

Αυτό το "καπάκι" που σχηματίζεται πάνω από την πληγείσα περιοχή παγιδεύει θερμότητα που διαφορετικά θα ανέβαινε στον αέρα και θα ψύχεται πριν κυκλοφορήσει πίσω στην επιφάνεια. Η αδυναμία αύξησης όχι μόνο μειώνει την πιθανότητα για βροχοπτώσεις, αλλά επιτρέπει επίσης τη συνεχή συσσώρευση θερμότητας, την οποία εμείς στην επιφάνεια της Γης βιώνουμε ως κύμα καύσωνα.



Εικόνα 4: Η υψηλή πίεση στα μεσαία στρώματα της ατμόσφαιρας λειτουργεί ως "κάλυμμα", επιτρέποντας τη συσσώρευση θερμότητας στην επιφάνεια της Γης. Πηγή: <https://www.directenergy.com/learning-center/heatwave>

Με βάση την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ, 2015), ο αεροχείμαρρος, jet stream, είναι μια στενή ζώνη ταχέως κινούμενου αέρα. Ο υποτροπικός αεροχείμαρρος σχετίζεται άμεσα με την εμφάνιση των κυμάτων καύσωνα, ο οποίος παρατηρείται έντονα τους χειμερινούς μήνες. Πιο συγκεκριμένα, ο αεροχείμαρρος πνέει πάνω από το όριο μεταξύ των αερίων μαζών του μέσου γεωγραφικού πλάτους και των τροπικών μαζών αέρα.

Επίσης παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του κλίματος της Μεσογείου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όταν οι υποτροπικές αέριες μάζες κινούνται βόρεια της Μεσογείου, έχουν άμεσο αντίκτυπο στην ξηρασία, τις βροχοπτώσεις και την κλιματική αλλαγή. Έχουν γίνει κάποιες βασικές παρατηρήσεις από την ΕΜΥ το 2015 για τον υποτροπικό αεροχείμαρρο και είναι:

- Οι μέγιστες ταχύτητες ανέμου κυμαίνονται γύρω στα 200 hPa και μπορούν να φτάσουν μέχρι και τα 15 hPa, όταν ο άξονας είναι κοντά στον Ισημερινό.
- Η βαροκλιτική ζώνη που σχετίζεται με τον αεροχείμαρρο περιορίζεται στην ανώτερη τροπόσφαιρα, κάτω από 500 hPa η ατμόσφαιρα είναι σε μεγάλο βαθμό βαροτροπική.
- Υπάρχει μικρή σύνδεση μεταξύ του υποτροπικού αεροχείμαρρου με την ανάπτυξη χερσαίων συστημάτων.

Γενικά, ο υποτροπικός αεροχείμαρρος κινείται προς τον Ισημερινό τον χειμώνα και προς τους πόλους το καλοκαίρι. Κατά της διάρκεια του χειμώνα στην Ανατολική Μεσόγειο ο αεροχείμαρρος εντοπίζεται στη Μέση Ανατολή με κατευθύνσεις Νοτιοδυτικές και Βορειοανατολικές. Στα επεισόδια με καύσωνα στην Ελλάδα, συνήθως εμφανίζεται στα Βόρεια Βαλκάνια. Επιπλέον, συχνά ο καύσωνας συμπίπτει και με τα μελέτμια. (ΕΜΥ, 2015)

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο του Μετεωρολόγου της ΕΜΥ το 2015 οι μετεωρολογικοί παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για τη γένεση του καύσωνα είναι:

- Η εξαιρετικά θερμή μεταφορά σε όλη την ελεύθερη τροπόσφαιρα. Οι αέριες μάζες προερχόμενες από την Βόρεια Αφρική, είναι τροπικές - ηπειρωτικές, ωστόσο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μεταφέρονται στη χώρα από ηπειρωτικές περιοχές του τριγώνου Ανατολικής Τουρκίας - Ιράκ - Συρία θερμές αέριες μάζες.

- ii. Η αρνητική μεταφορά στροβιλισμού που οφείλεται στην έντονη αντικυκλωνική κυκλοφορία στην Κεντρική Μεσόγειο, Νότια Ιταλία και Βαλκάνια έχουν ως αποτέλεσμα κατολισθήσεις του αέρα μεγάλης κλίμακας, σε εκτεταμένη περιοχή που περιλαμβάνει και τη χώρα μας.
- iii. Εξαιτίας της μη παρατεταμένης ηλιοφάνειας παρατηρούνται φαινόμενα όπως η έντονη μη αδιαβατική θέρμανση. Η κατακόρυφη θερμό βαθμίδα στο στρώμα επιφάνεια -850 hPa είναι υπερξηροαδιαβατική και συνήθως σημειώνονται τιμές 12°C/1000μ σε πολλές περιπτώσεις καύσωνα.

Τέλος, ο υποτροπικός αεροχείμαρρος συμβάλει σημαντικά στη δημιουργία επεισοδίων καύσωνα, διότι αποτελεί το βόρειο φράγμα μεταξύ στις περιοχές νοτίως του επικρατούν οι θερμές τροπικές αέριες μάζες και η πιθανότητες για δημιουργία καύσωνα αυξάνονται (Μπρίκας, 2006).

## 1.6 Επιπτώσεις καύσωνα

Τα κύματα καύσωνα έχουν συνδυαστεί με σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, στο περιβάλλον, την κοινωνία. Ορισμένες από τις κύριες επιπτώσεις του καύσωνα περιλαμβάνουν:

### **Υγεία του ανθρώπου:**

- Θερμοπληξία: Η αυξημένη θερμοκρασία μπορεί να οδηγήσει σε θερμοπληξία, μια επικίνδυνη κατάσταση όταν η σώμα ξεπερνά την ικανότητά του να ψύξει τον εαυτό του.
- Επιδείνωση υφιστάμενων προβλημάτων υγείας: Ο καύσωνας μπορεί να επιδεινώσει καρδιαγγειακά, αναπνευστικά και άλλα χρόνια προβλήματα υγείας.
- Δυσφορία: Για να προσδιοριστεί η δυσφορία υπάρχει δείκτης. Ο δείκτης δυσφορίας ανήκει στην ομάδα των βιοκλιματικών δεικτών και είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει το επίπεδο δυσφορίας ή δυσαρέσκειας ενός ατόμου σε σχέση με διάφορες παραμέτρους, όπως η υγεία σε συνδυασμό με το περιβάλλον. Ο δείκτης δυσφορίας είναι σημαντικά χρήσιμος για τα άτομα που ανήκουν στις ευπαθείς ομάδες, όπως οι ηλικιωμένοι, τα παιδιά, τα άτομα με πνευμονοπάθειες (άσθμα) και γενικά οι ομάδες ατόμων που επηρεάζονται άμεσα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. (Ασσαέλ, 2011).

**Θνησιμότητα**: Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένο αριθμό θανάτων, ιδίως σε ευπαθείς πληθυσμιακές ομάδες όπως ηλικιωμένοι και παιδιά.

**Κοινωνικές επιπτώσεις**: Υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν κοινωνική απομόνωση, οικονομικές απώλειες (λόγω αυξημένων ενεργειακών δαπανών), και αυξημένη αστική βία.

### **Περιβαλλοντικές επιπτώσεις:**

- Καύσωνες μπορούν να προκαλέσουν ξηρασία, πυρκαγιές δασών και απώλεια βιοποικιλότητας.
- Μπορούν να επηρεάσουν τη γεωργία με αυξημένες απώλειες σε παραγωγή τροφίμων.

**Υποδομές και ενέργεια:** Υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να επηρεάσουν τις ενεργειακές ανάγκες και να προκαλέσουν προβλήματα στις ενεργειακές υποδομές, όπως διακοπές ρεύματος.

**Υδάτινος πόρος:** Επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του νερού και να προκαλέσουν προβλήματα υδατικού εφοδιασμού.

Έχουν διεξαχθεί αρκετές έρευνες παγκοσμίως, όπου μελετώνται ασυνήθιστα κύματα καύσωνα και τις επιπτώσεις που έχει στην ανθρώπινη υγεία αλλά και καταστροφές στο περιβάλλον. Ένα από τα έντονα κύματα καύσωνα, με μικρή διάρκεια, σημειώθηκε στα μέσα του Ιουλίου 1995 και έπληξε τις βόρειες και κεντρικές πολιτείες των ΗΠΑ (Aguado et. al., 2013). Σε όλη την έκταση της κεντρικής Αμερικής σημειώθηκαν υψηλές θερμοκρασίες. Τα σημαντικότερα όμως προβλήματα τα αντιμετώπισε το Σικάγο καθώς 525 άνθρωποι έχασαν την ζωή τους, εξαιτίας του καύσωνα. Αυτό ήταν αποτέλεσμα από τον συνδυασμό των υψηλών θερμοκρασιών με την έντονη υγρασία. Η συνύπαρξη υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας έχει ως αποτέλεσμα αισθητή θερμοκρασία, η θερμοκρασία που αντιλαμβάνεται ο οργανισμός να είναι υψηλότερη της μετρούμενης. Οι συνθήκες αυτές ήταν ο κύριος λόγος που σημειώθηκαν τόσοι θάνατοι, αδιάκοπτα για δύο ημέρες.

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά κάποιες από τις παραπάνω επιπτώσεις.

### 1.6.1 Επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου

Τα κύματα καύσωνα είναι περίοδοι ασυνήθιστα θερμού καιρού που επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία μέσω της θερμικής καταπόνησης και επιδεινώνουν τις υποκείμενες παθήσεις, όπως οι καρδιαγγειακές, εγκεφαλοαγγειακές και αναπνευστικές παθήσεις (Kyzely 2004). Ακόμα, οι ευπαθείς ομάδες είναι πιο πιθανόν να τραυματιστούν κατά τη διάρκεια υψηλών θερμοκρασιών. Οι καύσωνες, μπορεί να βλάψουν θερμορύθμιση του ανθρώπου και να επηρεάσουν πολλαπλά όργανα, συμπεριλαμβανομένης της καρδιάς, των πνευμόνων, του νεφρικού συστήματος, του κεντρικού νευρικού συστήματος καθώς και του πεπτικού. (Beker et.al., 2018). Συγκεκριμένα, η διαταραγμένη θερμορύθμιση, για παράδειγμα, μπορεί να προκαλέσει αφυδάτωση, αυξημένο ιξώδες του αίματος και να επιβαρύνει την καρδιακή λειτουργία, οδηγώντας τελικά σε καρδιακή ανεπάρκεια (Crandall et. al., 2014). Επιπλέον, τα κύματα καύσωνα επηρεάζουν τις ψυχικές ασθένειες (Bouchama et.al., 2007).

Οι καύσωνες έχουν σημαντικό αντίκτυπο και στην ψυχική υγεία του ανθρώπου. Μελέτες έχουν δείξει πως με τις αυξημένες θερμοκρασίες αυξάνεται και το οικολογικό άγχος στον άνθρωπο, το οποίο επιδεινώνει και άλλα συμπτώματα όπως το στρες, άγχος, κατάθλιψη ή ακόμα και συμπτώματα διαταραχής μετατραυματικού στρες που σχετίζονται με καταστροφές. Ένας σημαντικός ρυθμιστής της διάθεσης ενός ανθρώπου στον εγκέφαλο είναι η σεροτονίνη, η οποία επηρεάζεται από την θερμότητα. Η σεροτονίνη συμβάλλει στη μετάδοση πληροφοριών σχετικά με την θερμοκρασία του σώματος στον υποθάλαμο του εγκεφάλου, ο οποίος όταν είναι απαραίτητο ελέγχει τις αντιδράσεις του ρίγους και της εφίδρωσης. Συχνά οι ασθενείς με κατάθλιψη αντιμετωπίζουν δυσκολίες με αυτή τη διαδικασία θερμορύθμισης. Αυτά τα προβλήματα βελτιώνονται μόνο όταν ο ασθενής λάβει φαρμακευτική αγωγή, αντικαταθλιπτικά. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει μια σχέση μεταξύ της έκθεσης στη θερμότητα και της παραγωγής σεροτονίνης. (Βαθής, 2022). Σε άλλες

περιπτώσεις οι επιπτώσεις στη ψυχολογία ενός ατόμου έχουν βρεθεί να υπάρχουν: (Βαθής, 2022)

- *Αρνητική διάθεση*: Οι καυσωνες μπορεί να οδηγήσουν σε αρνητικά συναισθήματα όπως θυμό, απογοήτευση.
- *Διαταραχές ύπνου*: Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν αυπνία η οποία προκαλεί κόπωση και δυσκολία συγκέντρωσης.
- *Μειωμένη γνωστική λειτουργία*: Τα κύματα καύσωνα μπορούν να βλάψουν τη γνωστική λειτουργία, συμπεριλαμβανομένης της μνήμης, της προσοχής και της λήψης αποφάσεων. Μελέτες έχουν δείξει ότι το θερμικό στρες μπορεί να διαταράξει τα τμήματα του εγκεφάλου που είναι υπεύθυνα για την θέσπιση ορίων κι την επίλυση πολύπλοκων νοητικών διεργασιών. (Τσουλέα, 2022).

Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι μια από τις κυρίαρχες αιτίες νοσηλείας που σχετίζονται με τις ακραίες θερμοκρασίες είναι οι καρδιαγγειακές παθήσεις (Bayentin et al., 2010) οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν μεγάλη επιβάρυνση στο σύστημα υγείας.

Η διακύμανση της ημερήσιας θερμοκρασίας βρέθηκε να επηρεάζει σημαντικά τον κίνδυνο καρδιαγγειακής νοσηλείας. Αυτό ήταν σύμφωνο με τα στοιχεία που παρείχαν οι αρχικές μελέτες με διαφορετικούς πληθυσμούς και περιβάλλοντα. Οι μελέτες από Qiu et al 2013- Wang et al 2013 έδειξαν ότι η αύξηση της ημερήσιας θερμοκρασίας κατά έναν βαθμό προκαλεί αύξηση κατά 0,35-3,8% του κινδύνου καρδιαγγειακής νοσηλείας. Ο κίνδυνος μπορεί να αυξηθεί εάν η ημερήσια θερμοκρασία αυξηθεί περισσότερο από 5%. Συγκεκριμένα, μια μεγάλη μεταβολή της θερμοκρασίας μέσα σε μία ημέρα μπορεί να προκαλέσει ξαφνική μεταβολή τους καρδιακού ρυθμού και της κυκλοφορίας των ηλικιωμένων και το φαινόμενο αυτό μπορεί να δράσει αυξάνοντας τον κίνδυνο εμφάνισης καρδιοπνευμονικών και άλλων ασθενειών με αποτέλεσμα τον θάνατο. (Kenney, et al., 1987).

Στη ανασκόπηση των Fradly et al., το 2022 για τον αντίκτυπο των κυμάτων καύσωνα στην θνησιμότητα και τους σχετικούς παράγοντες τρωτότητας, αναφέρετε πως τα άτομα που ανήκουν σε χαμηλή κοινωνικοοικονομική κατάσταση είναι πιο ευάλωτοι. Η κοινωνικοοικονομική κατάσταση σχετίζεται άμεσα με τις επιπτώσεις του καύσωνα στην υγεία. Η ομάδα αυτή έχει λιγότερη πρόσβαση σε οικιακές ανέσεις όπως ανεμιστήρες, κλιματιστικά, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη ταχύτερη μείωση της θερμοκρασίας του σώματος. Επίσης, τα άτομα με ειδικές ιατρικές παθήσεις είναι ευάλωτα στους καύσωνες. Για παράδειγμα, τα άτομα με καρδιαγγειακή νόσο επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό όπως και τα άτομα με αναπνευστικές παθήσεις. Η ανθρώπινη θερμική ρύθμιση προσπαθεί να διατηρήσει μια ασφαλή θερμοκρασία σώματος κατά τη διάρκεια του καύσωνα, με αποτέλεσμα την αύξηση της καρδιακής παροχής και τον υπεραερισμό. Κατά συνέπεια ο αναπνευστικός ρυθμός και όγκος να αυξάνονται, επιδεινώνοντας τις αναπνευστικές παθήσεις όπως άσθμα. (White M.D. 2006)

### 1.6.2 Επιπτώσεις στο Περιβάλλον

Ο καύσωνας έχει σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Οι επιπτώσεις αυτές ποικίλουν ανάλογα με τη διάρκεια, την ένταση και τη συχνότητα των καυσώνων, αλλά επίσης και ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή. Ορισμένες από τις κύριες επιπτώσεις περιλαμβάνουν:

**Εκδηλώσεις πυρκαγιών:** Οι υψηλές θερμοκρασίες και η ξηρασία που συνοδεύουν τους καύσωνες δημιουργούν ιδανικές συνθήκες για την εκδήλωση πυρκαγιών σε δάση και αγρούς. Αυτές οι πυρκαγιές μπορούν να έχουν καταστροφικές συνέπειες για την οικοσυστημική ισορροπία. Κάποια σημαντικά επεισόδια πυρκαγιών που αξίζει να σημειωθούν είναι:

- Τον Φεβρουάριο του 2009, η Βικτώρια της Αυστραλίας βίωσε τη χειρότερη φυσική καταστροφή εδώ και 100 χρόνια όπου οι πυρκαγιές σκότωσαν πάνω από 200 ανθρώπους και κατέστρεψαν 1800 σπίτια στη περιοχή. Οι πυρκαγιές αυτές εκδηλώθηκαν σε μια ημέρα πρωτοφανών υψηλών θερμοκρασιών στη νοτιοανατολική Αυστραλία, μέρος ενός καύσωνα που ξεκίνησε 10 ημέρες νωρίτερα. (Aguado et al., 2013).
- Το 1999 στην πολιτεία της Δυτικής Virginia, στις Η.Π.Α, το κύμα καύσωνα άφησε πίσω του περίπου 500 θανάτους σε εθνικό επίπεδο καθώς εκδηλώθηκαν καταστροφικές πυρκαγιές. (Palecki et. al., 1999)

**Επιβάρυνση της ατμοσφαιρικής ποιότητας:** Οι καύσωνες συνήθως συνοδεύονται από αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων, όπως το οζόν, τα ηλεκτροστατικά σωματίδια και το διοξείδιο του άνθρακα. Αυτά, μπορούν να επιβαρύνουν την ποιότητα του αέρα, προκαλώντας ανθρώπινες ασθένειες και βλάβες στο φυσικό περιβάλλον.

**Επιπτώσεις στο νερό:** Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να οδηγήσουν στη θέρμανση των υδάτων σε ποτάμια και λίμνες, προκαλώντας προβλήματα για τα ενδιαφερόμενα είδη. Επιπλέον, η αύξηση της ζήτησης για νερό κατά τη διάρκεια των καυσώνων μπορεί να οδηγήσει σε εξάντληση των υδατικών πόρων.

Ο θαλάσσιος καύσωνας ορίζεται όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας ξεπεράσει τους 30°C στη Μεσόγειο. Μπορεί να φέρει δραματικές αλλαγές στην πανίδα και την χλωρίδα, προκαλώντας «μετανάστευση ειδών» προς λιγότερα θερμά ύδατα, μαζική θνητότητα ειδών ή μείωση ορισμένων και εμφάνιση νέων ειδών, προειδοποιεί η Καρίνα φον Σούκμαν που είναι επίσης μία από τους συντάκτες των εκθέσεων της Διακυβερνητικής Επιτροπής των Εμπειρογνομώνων του ΟΗΕ για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC, GIEC).

Στην Μεσόγειο, έπειτα από επεισόδια ωκεάνιων καυσώνων το 1999, το 2003 και το 2006, παρατηρήθηκαν πλήθος περιπτώσεων μαζικής θνητότητας ειδών όπως η ποσειδωνία σύμφωνα με έκθεση του Centre national de la recherche scientifique (CNRS) που δημοσιεύθηκε το 2020. Ψάρια όπως το πολύχρωμο μπαρακούντα, που έχουν αρχίσει να ανεβαίνουν από τον νότο προς τον βορρά της Μεσογείου, κινδυνεύουν επίσης με αύξηση των πληθυσμών τους στην δυτική Μεσόγειο.

Ανάμεσα στο 2015 και το 2019, «η Μεσόγειος έχει γνωρίσει πέντε συνεχή χρόνια μαζικού θανάτου ειδών» εξαιτίας των θαλάσσιων καυσώνων, τονίζεται επίσης σε άρθρο της επιστημονικής επιθεώρησης Global Change Biology (18 Ιουλίου).

**Επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα:** Οι καύσωνες μπορούν να επηρεάσουν τα οικοσυστήματα και τα είδη που εξαρτώνται από τις τοπικές κλιματικές συνθήκες. Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν μετατοπίσεις στις ενδιαιτήσεις ειδών, προκαλώντας αναταραχές στην οικολογική ισορροπία.

**Επιδείνωση της αντοχής των οικοσυστημάτων:** Οι συνεχόμενοι καύσωνες μπορούν να υπονομεύσουν την ανθεκτικότητα των οικοσυστημάτων σε ακραίες θερμοκρασίες. Αυτό

μπορεί να οδηγήσει σε μακροπρόθεσμες αλλαγές στη φυσική και βιολογική δομή των οικοσυστημάτων.

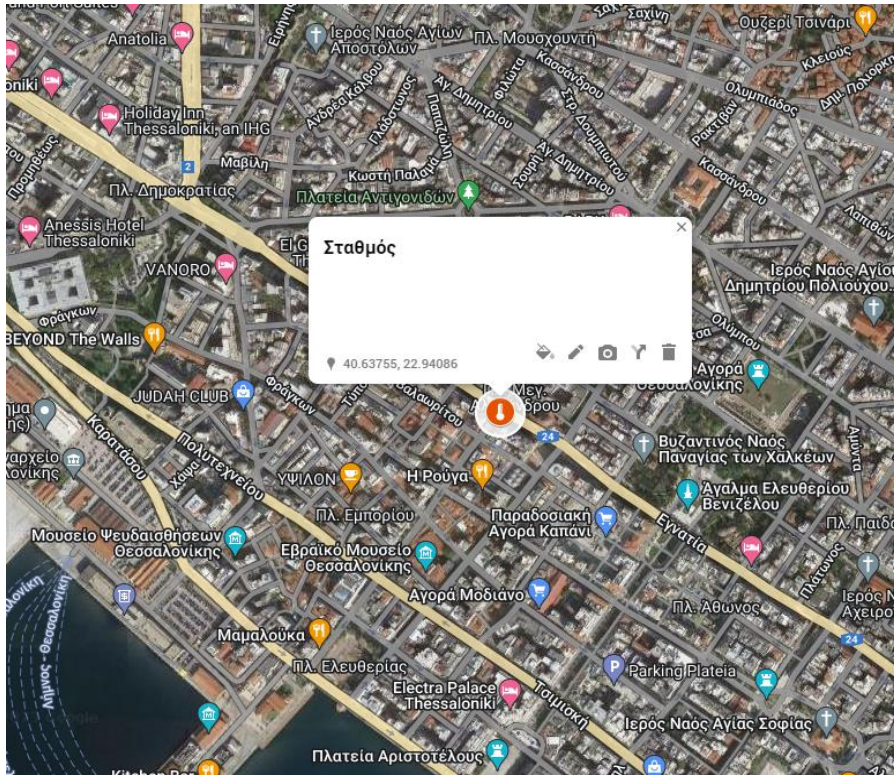
**Επιπτώσεις στη γεωργία:** Οι υψηλές θερμοκρασίες και η ξηρασία κατά τη διάρκεια των καυσώνων μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στις καλλιέργειες και την παραγωγή τροφίμων, όπως καταστροφή σοδιάς, επηρεάζοντας την παγκόσμια τροφική ασφάλεια.

## **Β' μέρος Μεθοδολογία**

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη των επεισοδίων καύσωνα που εκδηλώθηκαν στην πόλη της Θεσσαλονίκης τα καλοκαίρια της χρονικής περιόδου 2013 – 2022. Αρχικά εφαρμόστηκε ένα κριτήριο θερμοκρασίας για τον εντοπισμό των ημερών με καύσωνα και στη συνέχεια προσδιορίστηκαν και αποτιμήθηκαν χαρακτηριστικά των ημερών με καύσωνα.

### **2.1 Δεδομένα**

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκαν ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα που καταγράφηκαν στο κέντρο της πόλης της Θεσσαλονίκης τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο την περίοδο 2013 – 2022. Οι τιμές της θερμοκρασίας καταγράφηκαν από μετεωρολογικό σταθμό που είναι εγκατεστημένος στη συμβολή των οδών Εγνατίας και Ι. Δραγούμη και λειτουργεί από το Τμήμα Περιβάλλοντος & Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή, της Διεύθυνσης Διαχείρισης Πρασίνου και Περιβάλλοντος, του Δήμου Θεσσαλονίκης (εικόνα 2.1).



Εικόνα 2.5 Χάρτης του κέντρου της Θεσσαλονίκης με την τοποθεσία του σταθμού Πηγή: Google Maps

Η ανάλυση βασίστηκε στις ωριαίες τιμές (ΩΤ) και στις ημερήσιες μέγιστες ωριαίες τιμές (ΗΜΩΤ) της θερμοκρασίας που υπολογίστηκαν. Η επεξεργασία και η στατιστική ανάλυση των δεδομένων, καθώς και η παραγωγή των σχημάτων έγινε με τη χρήση του λογισμικού Microsoft Excel.

Στην χρονική περίοδο που εξετάστηκε υπήρχαν κενές και μηδενικές τιμές στις σειρές των δεδομένων, οι οποίες δεν ελήφθησαν υπόψη στην ανάλυση. Οι Collins et al. (2000) θεώρησαν ότι ανομοιογένειες στις καταγραφές μπορεί να οφείλονται σε πολλούς παράγοντες, όπως αλλαγές στα όργανα και στην πρακτική της παρατήρησης. Η πληρότητα των ωριαίων τιμών της θερμοκρασίας την περίοδο 2013 – 2022 ήταν 94%.

## 2.2 Προσδιορισμός ημερών με καύσινα

Ο προσδιορισμός μιας ημέρας με καύσινα βασίστηκε στην εφαρμογή ενός κριτηρίου θερμοκρασίας. Το κριτήριο βασίζεται στον ορισμό της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) για ένα ακραίο καιρικό φαινόμενο. Σύμφωνα με την IPCC, «ένα ακραίο καιρικό συμβάν κανονικά θα ήταν τόσο σπάνιο όσο ή πιο σπάνιο από το 10<sup>ο</sup> ή 90<sup>ο</sup> εκατοστημόριο μιας συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας που εκτιμάται» (IPCC,2007; IPCC, 2013). Ο καύσινας θεωρείται ακραίο καιρικό φαινόμενο, συνεπώς, ακολουθώντας αυτόν τον ορισμό, το κριτήριο θερμοκρασίας που εφαρμόστηκε σε αυτή τη μελέτη είναι το 90<sup>ο</sup> εκατοστημόριο των ωριαίων τιμών της θερμοκρασίας σε όλη τη χρονική περίοδο μελέτης. Σύμφωνα με αυτό, όταν η μέγιστη ΩΤ της θερμοκρασίας μια ημέρα ξεπεράσει το 90<sup>ο</sup> εκατοστημόριο, αυτή η

ημέρα θεωρείται ως μια ημέρα καύσωνα. Αυτό το κριτήριο θερμοκρασίας εφαρμόστηκε για κάθε ημέρα της περιόδου μελέτης. Το κριτήριο αυτό έχει εφαρμοστεί και σε άλλες ανάλογες μελέτες (Cueto et al., 2010; Papanastasiou et al., 2015; Wang et al., 2017).

## 2.3 Περιοχή Μελέτης

### 2.3.1 Γεωμορφολογία Περιοχής

Στο πλαίσιο της γεωγραφίας η Θεσσαλονίκη βρίσκεται στη κεντρική Μακεδονία κατά μήκος της βορειοανατολικής ακτής του Θερμαϊκού κόλπου. Η Θεσσαλονίκη είναι αμφιθεατρικά χτισμένη στις πλαγιές του Κέδρινου λόφου και περιβάλλεται ανατολικά από το δάσος του Σείχ Σου, ενώ νοτιοανατολικά βρίσκεται και το βουνό του Χορτιάτη με υψόμετρο 1.200μ. Στα δυτικά βρίσκεται η περιοχή της Σίνδου όπου σε τμήμα της περιοχής, βρίσκεται η βιομηχανική περιοχή σε απόσταση 10 χλμ από την πόλη.

Ο Θερμαϊκός κόλπος είναι τυπική δελταϊκή πλατφόρμα και σχηματίζει τη βορειοδυτική ηπειρωτική εξέδρα του Αιγαίου. Στο εσωτερικό του κόλπου όπου συνδέεται με την Θεσσαλονίκη, υπάρχουν εμφανή προβλήματα που προέρχονται από τη ρύπανση. Οι βροχές επηρεάζουν έμμεσα τον Θερμαϊκό διότι είναι δυνατόν να μεταφέρουν τοξικά απόβλητα που διοχετεύονται στον κόλπο προκαλώντας σοβαρά προβλήματα στους οργανισμούς. Επίσης, άνεμος είναι ένας βασικός παράγοντας στον καθορισμό των υδροδυναμικών συνθηκών στη θαλάσσια αυτή περιοχή. Γενικά στην περιοχή επικρατούν βόρειοι άνεμοι με συχνότητα 40% ενώ οι νότιοι έχουν συχνότητα 20% (Karageorgis et al. 2001).

Ο σταθμός στον οποίο καταγράφηκαν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα πτυχιακή εργασία βρίσκεται στο ιστορικό κέντρο της Θεσσαλονίκης το οποίο είναι αρκετά εκτεταμένο. Η αρχή του κέντρου έχει οριστεί στα βορειοδυτικά από την Πλατεία Δημοκρατίας, γνωστή και ως Πλατεία Βαρδαρίου, μέχρι και ανατολικά που βρίσκονται τα πανεπιστήμια και το Δημαρχείο.

### 2.3.2 Το κλίμα στο πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης

Το κλίμα της Θεσσαλονίκης είναι εύκρατο μεσογειακό, παρόλα αυτά λόγω της τοπογραφίας της περιοχής έχει και αρκετά ηπειρωτικά χαρακτηριστικά καθώς επηρεάζεται έντονα από τον Θερμαϊκό κόλπο. Ο Ιούλιος έχει χαρακτηριστεί ως ο θερμότερος μήνας, ενώ στις 25 Ιουλίου του 2007 σημειώθηκε η μέγιστη θερμοκρασία που έχει σημειωθεί στην πόλη, καταγράφηκε από τον μετεωρολογικό σταθμό του αεροδρομίου και η τιμή της ήταν 44°C. Αντίστοιχα, ο ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος και η χαμηλότερη θερμοκρασία που έχει καταγραφεί είναι -14°C στον ίδιο σταθμό στις 26 Ιανουαρίου 1963 (Ζιακόπουλος και Φραγκούλη EMY, 2015).

Στο Θερμαϊκό Κόλπο η μέση ετήσια θερμοκρασία την θερινή περίοδο υπερβαίνει τους 20°C σε σχέση με την χειμερινή, αυτό γίνεται γιατί την χειμερινή περίοδο εισχωρούν κρύες αέριες μάζες με αποτέλεσμα να παρατηρείται πάγωμα και ψύξη στη παράκτια ζώνη του. Συχνά, οι υψηλές θερμοκρασίες του νερού της θαλάσσιας περιοχής του Θερμαϊκού, σε συνδυασμό με τις συνθήκες άπνοιας που επικρατούν, εμπλουτίζουν την θερμή αέρια μάζα

που διασχίζει τα νερά με άφθονη υγρασία, με αποτέλεσμα η υγρασία να σχηματίζει νέφωση, όπου μπλοκάρει την ηλιακή ακτινοβολία με συνέπεια να μην παρατηρείται κάποια επίδραση στην επιφανειακή θερμοκρασία της περιοχής. (Metecology.gr 2020)

Η παρουσία της υγρασίας είναι ένας συχνός και έντονος παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά τόσο το κλίμα όσο και τις καιρικές συνθήκες στη πόλη. Η μέση υγρασία σε όλους τους μήνες είναι πάνω από 50%. Το φθινόπωρο είναι η χρονική περίοδος που εμφανίζονται τα μεγαλύτερα ποσοστά, κυρίως τον Οκτώβριο, μέχρι και τον Μάρτιο, με το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας να κυμαίνεται στο 78% τον Δεκέμβριο. Με βάση αυτό, το αποτέλεσμα είναι η αισθητή θερμοκρασία του κρύου να είναι μεγαλύτερη από την πραγματική. Αντιθέτως την χρονική περίοδο από Απρίλιο μέχρι και Σεπτέμβρη, η μέση μηνιαία υγρασία μειώνεται και φτάνει με μέσο όρο τον Ιούλιο στους 55% (ΕΜΥ, 2021).

Σχετικά με τους ανέμους, επικρατούν 3 διευθύνσεων άνεμοι. Την θερμή περίοδο είναι κυρίως Νότιοι- Νοτιοδυτικοί, Βορειοδυτικοί και Βορειοανατολικοί. Οι Νότιοι – Νοτιοδυτικοί άνεμοι είναι χαμηλών ταχυτήτων και έχουν μεγάλη διάρκεια και κυρίως αφορούν κυρίως την Θαλάσσια αύρα. Ο πιο διάσημος άνεμος στη Θεσσαλονίκη είναι ο Βαρδάρης, ένας ισχυρός βορειοδυτικός ξηρός άνεμος που πνέει από την κοιλάδα τους ποταμού Αξιού, με μέση ταχύτητα 10 m/s. Η συχνότητα αυτού του ανέμου είναι κατά μέσο όρο 35 ημέρες το χρόνο και εμφανίζεται πιο συχνά κατά τη χειμερινή περίοδο. Κατά τη διάρκεια και μετά το πέρασμα του ανέμου, η διασπορά των νεφών και η υγρασία μειώνονται, γεγονός που έχει επίδραση στην ατμόσφαιρα της Θεσσαλονίκης (φλόκας, 1997). Οι βορειοανατολικοί άνεμοι ονομάζονται Ετήσιες και πνέουν από Μάιο μέχρι και Οκτώβριο. Οι άνεμοι αυτοί αποκτούν τη μέγιστη ένταση τους κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, από Ιούνιο μέχρι Σεπτέμβριο, όπου γίνονται και πιο αισθητοί.

Σε μία μελέτη που έγινε από τον Λεονταρίδη το 2019 στα πλαίσια του ΠΜΣ στο Τμήμα φυσικής, όπου μελέτησε για την συχνότητα εμφάνισης και τα χαρακτηριστικά της Θαλάσσιας Αύρας στη Θεσσαλονίκη, ανέφερε πως η θαλάσσια αύρα στη Θεσσαλονίκη αναπτύσσεται κυρίως κατά τη θερινή περίοδο και υπάρχει αύξηση των νότιων ανέμων λόγω της θαλάσσιας αύρας. Στο έναν σταθμό όπου έκανε την μελέτη του, στο ΑΠΘ, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι έχει μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης τη θερινή περίοδο με 57,4% μέσο όρο των ημερών της. Η διάρκεια είναι περισσότερο από 10 ώρες την θερινή περίοδο με σταθερή διεύθυνση νότια-νοτιοδυτική.

## 2.4 Στατιστικοί δείκτες που αξιοποιήθηκαν

Ο προσδιορισμός και η αποτίμηση των χαρακτηριστικών των ημερών με καύσωνα στηρίχθηκε σε σχετικούς στατιστικούς δείκτες οι οποίοι υπολογίστηκαν. Οι στατιστικοί

δείκτες επιλέχθηκαν ύστερα από βιβλιογραφική ανασκόπηση. Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση επιλέχθηκαν οι παρακάτω 3 εργασίες.

Οι Cueto et al. (2010) στη μελέτη τους για τα χαρακτηριστικά των καυσώνων και των ημερών με καύσωνα σε μια ξηρή πόλη στο βορειοδυτικό Μεξικό χρησιμοποίησαν τον αριθμό των ημερών με καύσωνα ανά μήνα, τη διάρκεια του καύσωνα, τον αριθμό των καυσώνων ανά επταετία, τη μέγιστη ένταση ενός επεισοδίου καύσωνα η οποία ορίστηκε ως η μέγιστη τιμή της υπέρβασης της ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας πάνω από το επιλεγμένο όριο για τον εντοπισμό του καύσωνα, και τη μέση ένταση ενός επεισοδίου καύσωνα η οποία ορίστηκε από τη σχέση 1.

$$I_{mean} = \frac{\sum \Delta T}{Days} \quad (\text{σχέση 1})$$

Όπου:

- $I_{mean}$ : Η μέση ένταση ενός επεισοδίου καύσωνα
- $\Delta T$ : Η διαφορά της ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας μια ημέρα με καύσωνα από το επιλεγμένο όριο
- $\Sigma \Delta T$ : Το άθροισμα του  $\Delta T$  για τις διαδοχικές ημέρες με καύσωνα κατά τη διάρκεια του επεισοδίου
- $Days$ : Ο αριθμός των ημερών με καύσωνα κατά τη διάρκεια του επεισοδίου

Οι Papanastasiou et al. (2014) στη μελέτη τους για τα χαρακτηριστικά των καυσώνων στην Αθήνα χρησιμοποίησαν τον αριθμό των ημερών με καύσωνα και τον αριθμό των επεισοδίων καύσωνα ανά έτος, η ένταση του καύσωνα η οποία ορίστηκε ως η μέγιστη  $\Omega T$  σε  $^{\circ}C$  που καταγράφηκε κατά τη διάρκεια μιας ημέρας με καύσωνα, τη διάρκεια του καύσωνα, και την ημερομηνία εμφάνισης ημέρας με καύσωνα.

Οι Wang et al. (2016) στη μελέτη τους για την αλλαγή στα γεγονότα εμφάνισης ακραίων θερμοκρασιών στην Βορειοανατολική Κίνα και στην Ιαπωνία χρησιμοποίησαν τον αριθμό των ημερών με καύσωνα, και την ένταση του καύσωνα η οποία ορίστηκε από τη σχέση 2 .

$$I = \frac{T_{max} - T_s}{T_s} \cdot 100\% \quad (\text{σχέση 2})$$

- Όπου:
- $I$ : Η ένταση του καύσωνα
- $T_{max}$ : η ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας
- $T_s$ : Το επιλεγμένο όριο για τον εντοπισμό του καύσωνα

Οι Wang et al. (2017) στη μελέτη τους για την spatial and temporal variation of summer hot days and heat waves στην Northeast China χρησιμοποίησαν την πρώτη και την τελευταία ημερομηνία εμφάνισης ημέρας με καύσωνα το καλοκαίρι, τον αριθμό των ημερών με καύσωνα το καλοκαίρι, την ένταση του καύσωνα η οποία ορίστηκε από σχέση παρόμοια με την σχέση 2, τα επεισόδια καύσωνα με διάρκεια τουλάχιστον 3 ημέρες, τη διάρκεια του καύσωνα για επεισόδια που διήρκεσαν τουλάχιστον 3 ημέρες, και το άθροισμα της έντασης των καυσώνων με διάρκεια τουλάχιστον 3 ημέρες.

Με βάση τις παραπάνω 4 εργασίες, στην παρούσα πτυχιακή εργασία επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω στατιστικοί δείκτες:

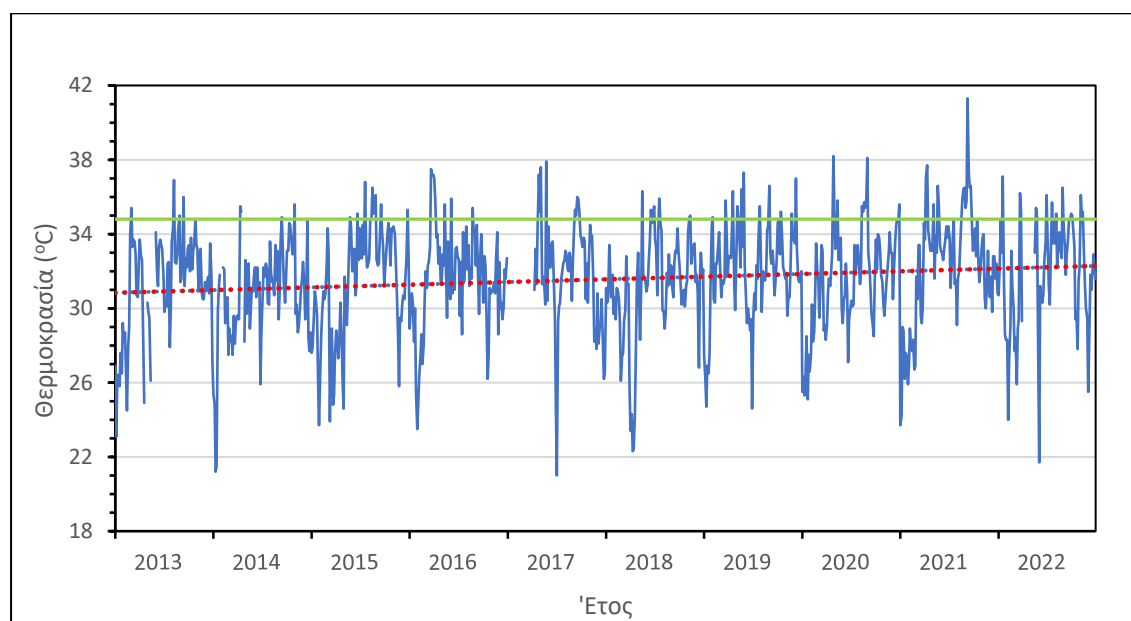
- Ο αριθμός των ημερών με καύσιμα ανά έτος και ανά μήνα
- Η διάρκεια του επεισοδίου καύσιμα σε ημέρες, η οποία ορίζεται ως ο αριθμός των ημερών με διαδοχικές ημέρες καύσιμα
- Η ημερομηνία πρώτης και τελευταίας εμφάνισης ημέρας με καύσιμα ανά έτος
- Η ώρα έναρξης και λήξης του καύσιμα ανά ημέρα με καύσιμα, οι οποίες ορίζονται ως η ώρα της ημέρας κατά την οποία η ΩΤ της θερμοκρασίας γίνεται μεγαλύτερη και μικρότερη από το 90° εκατοστημόριο, αντίστοιχα.
- Η διάρκεια του καύσιμα σε ώρες κατά τη διάρκεια μιας ημέρας με καύσιμα.
- Η ένταση του καύσιμα, η οποία προσδιορίστηκε 2 τρόπους χρησιμοποιώντας τις σχέσεις 1 και 2 που παρατέθηκαν παραπάνω

Οι τιμές των παραπάνω στατιστικών δεικτών, η διακύμανση και οι τάσεις τους παρουσιάζονται και συζητούνται παρακάτω στο μέρος Γ.

## Μέρος Γ' Αποτελέσματα

### 3.1 Επίπεδα της θερμοκρασίας

Στο σχήμα 1 παρουσιάζονται οι ημερήσιες μέγιστες ωριαίες τιμές (ΗΜΩΤ) της θερμοκρασίας τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο και η τάση τους στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο μελέτης (2013 – 2022). Το σχήμα 1 φανερώνει ότι η ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας εμφανίζει μια μικρή αυξητική τάση κατά την περίοδο μελέτης. Επιπροσθέτως, από το σχήμα 1 παρατηρούνται διακυμάνσεις στην ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας, οι οποίες θα μπορούσαν να αποδοθούν στους παράγοντες που επηρεάζουν τα επίπεδα της θερμοκρασίας στο κέντρο της Θεσσαλονίκης. Τέτοιοι παράγοντες είναι τοπικά συστήματα κυκλοφορίας αέρα όπως ο Βαρδάρης και οι Ετήσιες, με σημαντικότερο τη θαλάσσια αύρα που αναπτύσσεται κυρίως την θερινή περίοδο όπου σχετίζεται με σημαντική μείωση των επιπέδων θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια καύσωνα (Papanastasiou et. al., 2009) και οι ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων όπως μονοξείδιο του άνθρακα (CO) από κινητήρες βενζινοκίνητων αυτοκινήτων, Διοξείδιο του Άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από καύσεις, οξείδια του αζώτου όπου σχηματίζεται κατά τις καύσεις σε υψηλές θερμοκρασίες και εκπέμπεται κυρίως από θερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας.



Σχήμα 1: ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022 (μπλε καμπύλη). Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται η τάση της. Με πράσινη συνεχή γραμμή παρουσιάζεται η τιμή 34,8°C της θερμοκρασίας (ενότητα 3.2).

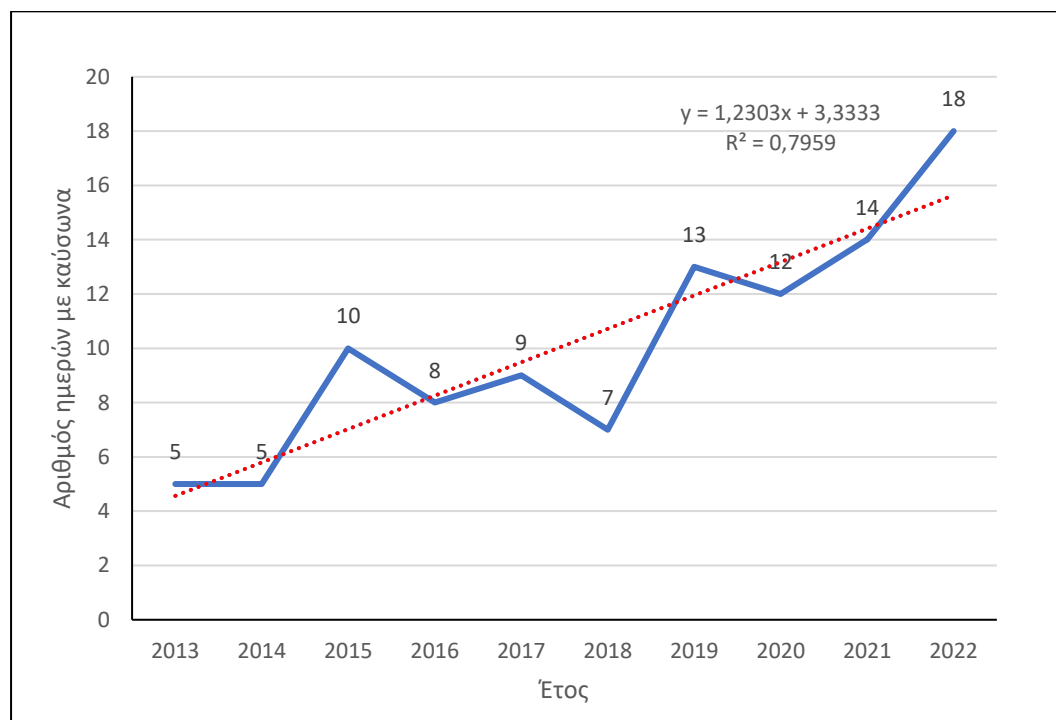
### 3.2 Προσδιορισμός των ημερών με καύσωνα

Όπως αναφέρθηκε στην υποενότητα 2.2, για τον προσδιορισμό μιας ημέρας με καύσωνα εφαρμόστηκε ένα κριτήριο θερμοκρασίας σύμφωνα με τον ορισμό της IPCC για ένα ακραίο καιρικό φαινόμενο. Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό, όταν η μέγιστη ΩΤ της θερμοκρασίας μια ημέρα ξεπεράσει το 90<sup>ο</sup> εκατοστημόριο του συνόλου των μεγίστων ΩΤ τιμών κατά την

περίοδο μελέτης, τότε αυτή η ημέρα θεωρείται ως μια ημέρα με καύσιμα. Από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψε ότι η τιμή της θερμοκρασίας που αντιστοιχεί στο 90<sup>ο</sup> εκατοστημόριο ήταν 34,8 °C.

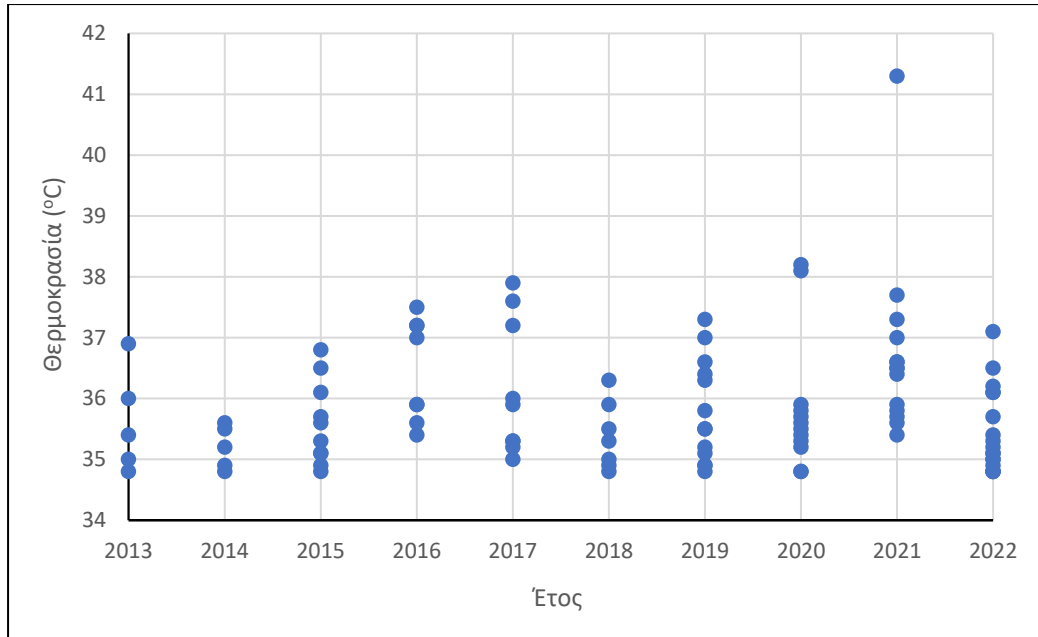
### 3.3 Αριθμός ημερών με καύσιμα ανά έτος και επίπεδα της θερμοκρασίας τις ημέρες αυτές

Από την σύγκριση των ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας με την τιμή 34,8 °C, εντοπίστηκαν συνολικά 101 ημέρες με καύσιμα στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022. Αξίζει να παρατηρήσει κανείς ότι η ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας ήταν ίση με 34,8 °C κατά τη διάρκεια 11 ημερών. Ο αριθμός των ημερών με καύσιμα που εντοπίστηκαν ανά έτος φαίνονται στο σχήμα 2. Το σχήμα 2 δείχνει ότι ο αριθμός των ημερών με καύσιμα την περίοδο μελέτης εμφανίζει αυξητική τάση. Ο μεγαλύτερος αριθμός ημερών με καύσιμα, ίσος με 18, παρατηρήθηκε το 2022. Αξίζει να παρατηρήσει κανείς ότι από το 2019 κι έπειτα καταγράφεται διψήφιος αριθμός ημερών με καύσιμα ανά έτος.



Σχήμα 2: Αριθμός ημερών με καύσιμα στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022 Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται η τάση της.

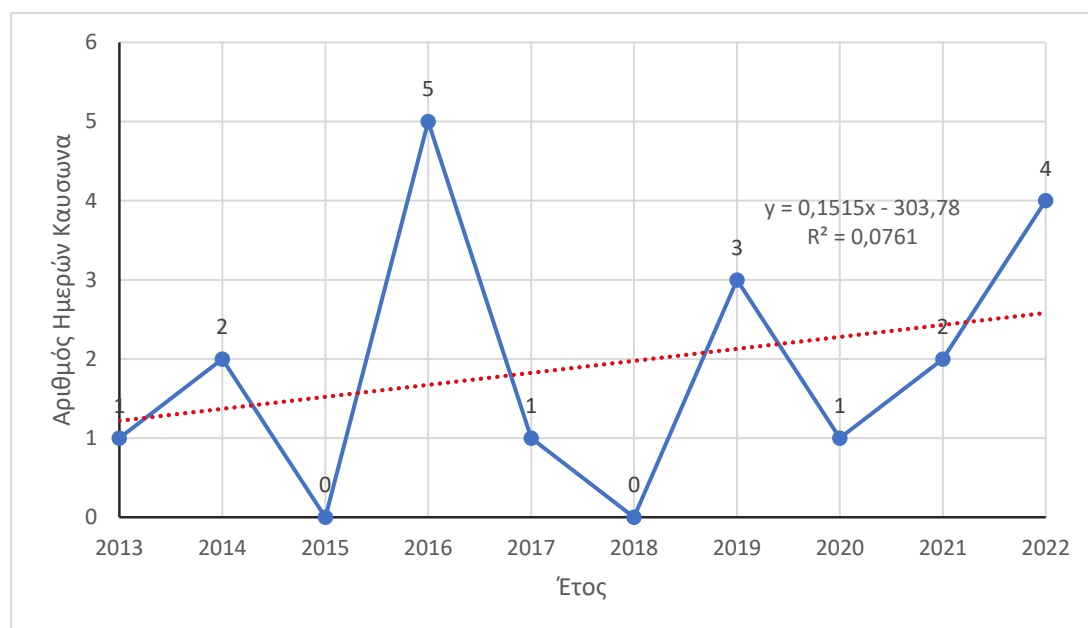
Στο σχήμα 3 παρουσιάζονται οι ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των ημερών με καύσιμα ανά έτος. Στο σχήμα 3 δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη τάση. Η μεγαλύτερη ΗΜΩΤ παρατηρήθηκε το 2021 και ήταν ίση με 41,3 °C, ενώ γενικά οι μικρότερες ΗΜΩΤ παρατηρήθηκαν το 2014.



Σχήμα 3: ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας τις ημέρες με καύσωνα ανά έτος στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022.

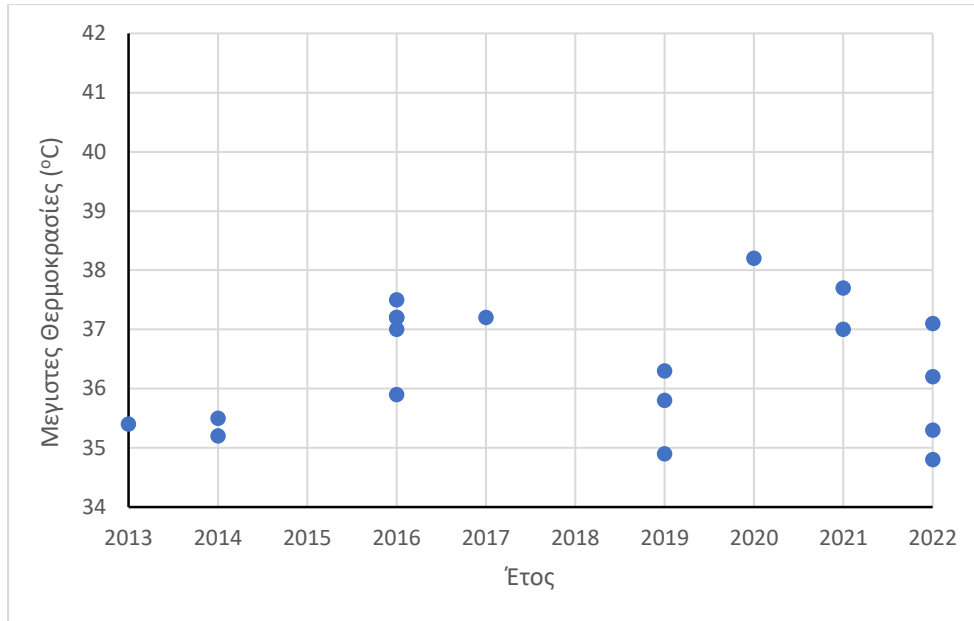
### 3.4 Αριθμός ημερών με καύσωνα τον Ιούνιο και επίπεδα θερμοκρασίας τις ημέρες αυτές

Στο σχήμα 4 εμφανίζεται ο αριθμός των ημερών με καύσωνα τον μήνα Ιούνιο στο κέντρο της Θεσσαλονίκης τη χρονική περίοδο 2013 - 2022. Στο σχήμα 4 παρατηρείται μια αυξητική τάση, η οποία όμως χρειάζεται περισσότερα δεδομένα για να αποσαφηνιστεί. Οι περισσότερες ημέρες με καύσωνα τον Ιούνιο καταγράφηκαν το έτος 2016 και ήταν 5 ημέρες.



Σχήμα 4: Αριθμός ημερών με καύσωνα τον Ιούνιο ανά έτος στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022 (μπλε καμπύλη). Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται η τάση της.

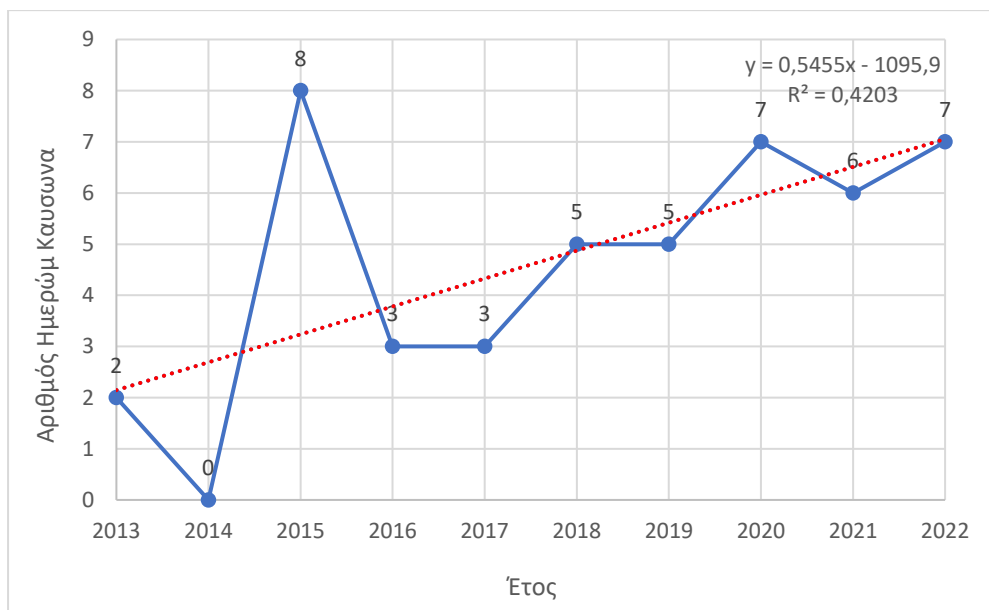
Στη συνέχεια, στο σχήμα 5 παρουσιάζονται οι ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των ημερών με καύσωνα τον Ιούνιο ανά έτος. Στο σχήμα 5 δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη τάση. Από το σχήμα 5 παρατηρείται ότι παρόλο που το 2016 σημειώθηκαν οι περισσότερες μέρες με καύσωνα με βάση το σχήμα 4, η μέγιστη θερμοκρασία καταγράφηκε το έτος 2020 φτάνοντας τους 38,2°C τη μοναδική ημέρα με καύσωνα που εντοπίστηκε εκείνο το έτος.



Σχήμα 5: ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας τις ημέρες με καύσωνα ανά έτος στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022.

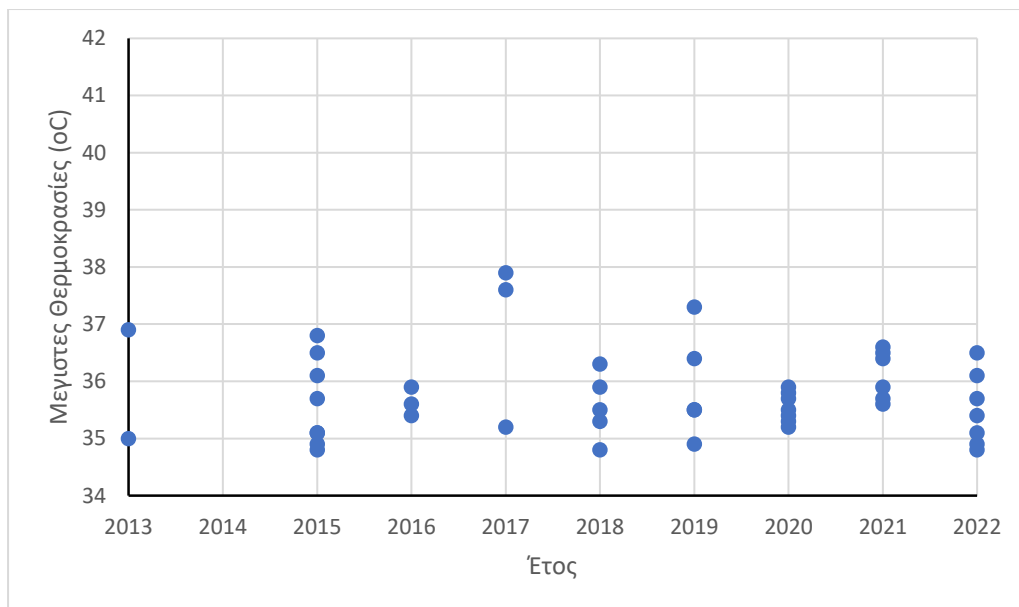
### 3.5 Αριθμός ημερών με Καύσωνα τον Ιούλιο και τα επίπεδα θερμοκρασίας τις ημέρες αυτές.

Στο σχήμα 6 εμφανίζεται ο αριθμός των ημερών με καύσωνα τον μήνα Ιούλιο στο κέντρο της Θεσσαλονίκης τη χρονική περίοδο 2013 - 2022. Συγκρίνοντας το σχήμα 6 με το σχήμα 4, παρατηρούμε μεγαλύτερη αύξηση των ημερών με καύσωνα τον Ιούλιο σε σχέση με τον Ιούνιο ανά έτος. Ο μεγαλύτερος αριθμός ημερών με καύσωνα τον Ιούλιο εντοπίστηκε το 2015 και ήταν 8 ημέρες. Αξίζει να παρατηρήσει κανείς ότι τον Ιούνιο του 2014 δεν εντοπίστηκε κάποια ημέρα με καύσωνα.



Σχήμα 6: Αριθμός Ημερώνμ Καύσωνα του **Ιουλίου** ανά έτος στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022. (μπλε καμπύλη). Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται η τάση της.

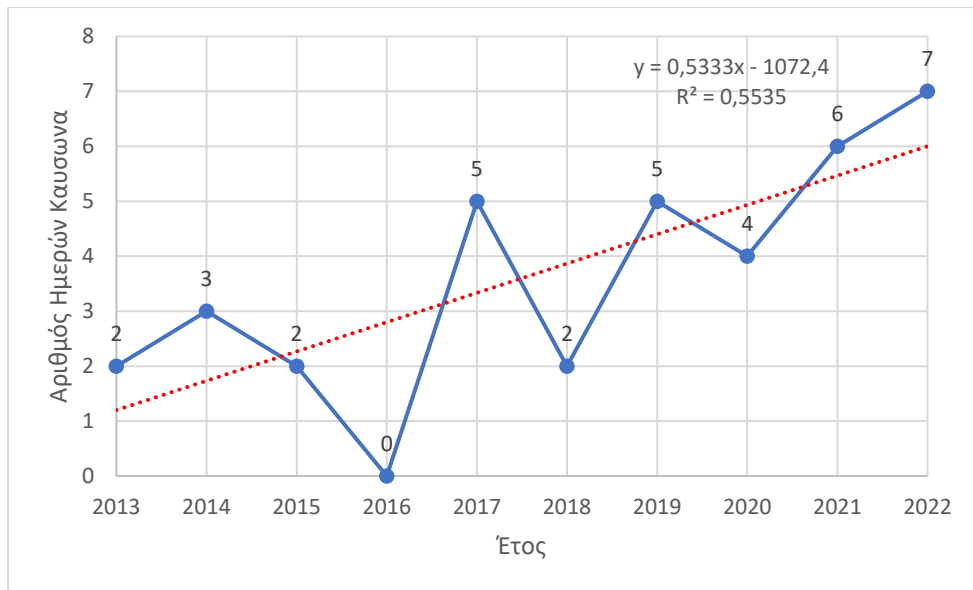
Στο σχήμα 7 παρουσιάζονται οι ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των ημερών με καύσωνα ανά έτος. Στο σχήμα 7 δεν παρατηρείται κάποια ιδιαίτερη τάση. Η μεγαλύτερη ΗΜΩΤ παρατηρήθηκε το 2017 και ήταν ίση με 37,9 °C, ενώ γενικά οι μικρότερες ΗΜΩΤ παρατηρήθηκαν το 2016.



Σχήμα 7: ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας τις ημέρες με καύσωνα ανά έτος στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022.

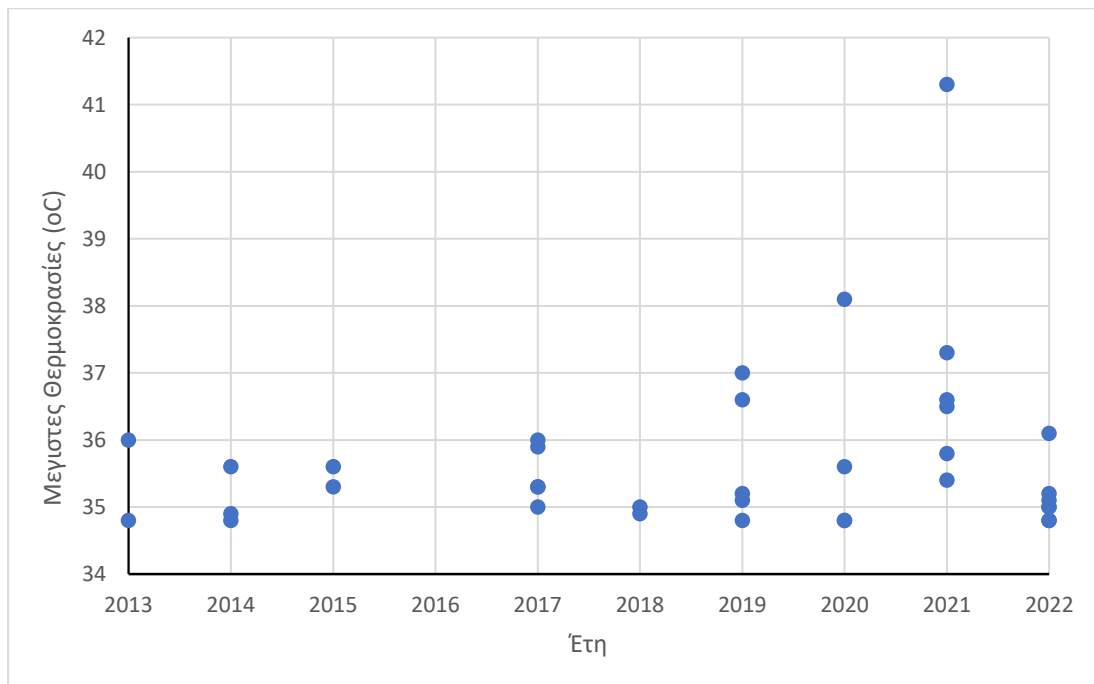
### 3.6 Αριθμός ημερών με Καύσωνα τον Αύγουστο και τα επίπεδα θερμοκρασίας τις ημέρες αυτές

Στο σχήμα 8 εμφανίζεται ο αριθμός των ημερών με καύσωνα τον μήνα Αύγουστο στο κέντρο της Θεσσαλονίκης τη χρονική περίοδο 2013 - 2022. Στο σχήμα 8 φαίνεται μια αυξητική τάση ( $R^2 = 0,5535$ ). Αξίζει να παρατηρήσει κανείς ότι το έτος 2016 που εμφανίστηκε ο μεγαλύτερος αριθμός ημερών με καύσωνα τον μήνα Ιούνιο τον Αύγουστο δεν καταγράφηκαν ημέρες με καύσωνα. Οι περισσότερες ημέρες με καύσωνα τον μήνα Αύγουστο καταγράφηκαν το 2022 και ήταν 7 ημέρες.



Σχήμα 8: Αριθμός Ημερών Καύσιων του Αυγούστου ανά έτος στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022. (μπλε καμπύλη). Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται η τάση της.

Τέλος, το σχήμα 9 παρουσιάζονται οι ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια των ημερών με καύσιων ανά έτος. Από το σχήμα 9 παρατηρείται ότι την τριετία 2019 – 2021 καταγράφηκαν οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες τις ημέρες με καύσιων κατά την περίοδο μελέτης.



Σχήμα 9: ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας τις ημέρες με καύσιων ανά έτος στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022.

### 3.7 Σύγκριση Αποτελεσμάτων μεταξύ των μηνών.

Ανάμεσα στους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο υπάρχουν κάποιες διαφορές και αυτές είναι:

- **Οι συνολικές μέρες με επεισόδια καύσιμα ανά μήνα.**  
Από τις 101 ημέρες με καύσιμα που εντοπίστηκαν σε όλη την περίοδο μελέτης:
  - Οι 19 εντοπίστηκαν τον μήνα Ιούνιο
  - Οι 46 εντοπίστηκαν τον μήνα Ιούλιο
  - Οι 36 εντοπίστηκαν τον μήνα Αύγουστο

Επομένως, οι περισσότερες ημέρες με καύσιμα στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την χρονική περίοδο 2013-2022 εμφανίστηκαν τον Ιούλιο.

- **Ενδεικτικές διαφορές μεταξύ των μηνών**
  - 2014: Τον Ιούλιο δεν εντοπίστηκε κάποια ημέρα με καύσιμα, αλλά τον Ιούνιο εντοπίστηκαν 2 ημέρες και τον Αύγουστο 3 ημέρες.
  - 2015: Τον Ιούνιο δεν εντοπίστηκε κάποια ημέρα με καύσιμα, αλλά τον Ιούλιο εντοπίστηκαν 8 ημέρες και τον Αύγουστο 2 ημέρες.
  - 2016: τον Αύγουστο δεν εντοπίστηκε κάποια ημέρα με καύσιμα, αλλά τον Ιούνιο και τον Ιούλιο εντοπίστηκαν από 5 ημέρες.
  - 2018: Τον Ιούνιο δεν εντοπίστηκε κάποια ημέρα όμως τον Ιούλιο το έτος είχε 5 ημέρες και τον Αύγουστο 2 ημέρες.

### 3.8 Διάρκεια επεισοδίων καύσιμα

Η διάρκεια των επεισοδίων καύσιμα παρουσιάζεται στον πίνακα 1. Στον πίνακα 1 αναγράφονται τα επεισόδια καύσιμα που διήρκεσαν διαδοχικές, ημέρες, καθώς και αυτά που διήρκεσαν 1 ημέρα. Από τον πίνακα 1 προκύπτει πως κατά την περίοδο 2013 – 2022 δεν εμφανίστηκαν επεισόδια καύσιμα που διήρκεσαν περισσότερες από 1 ημέρα νωρίτερα από τις 21 Ιουνίου. Αντιθέτως, τέτοια επεισόδια εμφανίστηκαν μέχρι το τέλος του Αυγούστου. Βέβαια, μεμονωμένες ημέρες με καύσιμα παρατηρήθηκαν από τις αρχές του Ιουνίου (03/06). Ο μεγαλύτερος αριθμός διαδοχικών ημερών με καύσιμα παρατηρήθηκε το 2021 την περίοδο 29/07 – 06/08. Την περίοδο αυτή η ΗΜΩΤ της θερμοκρασίας παρέμεινε μεγαλύτερη ή ίση από 34,8 °C για 9 συνεχόμενες μέρες. Επιπρόσθετα, το 2013 ήταν το μοναδικό έτος της περιόδου μελέτης κατά το οποίο δεν εντοπίστηκαν διαδοχικές ημέρες με καύσιμα.

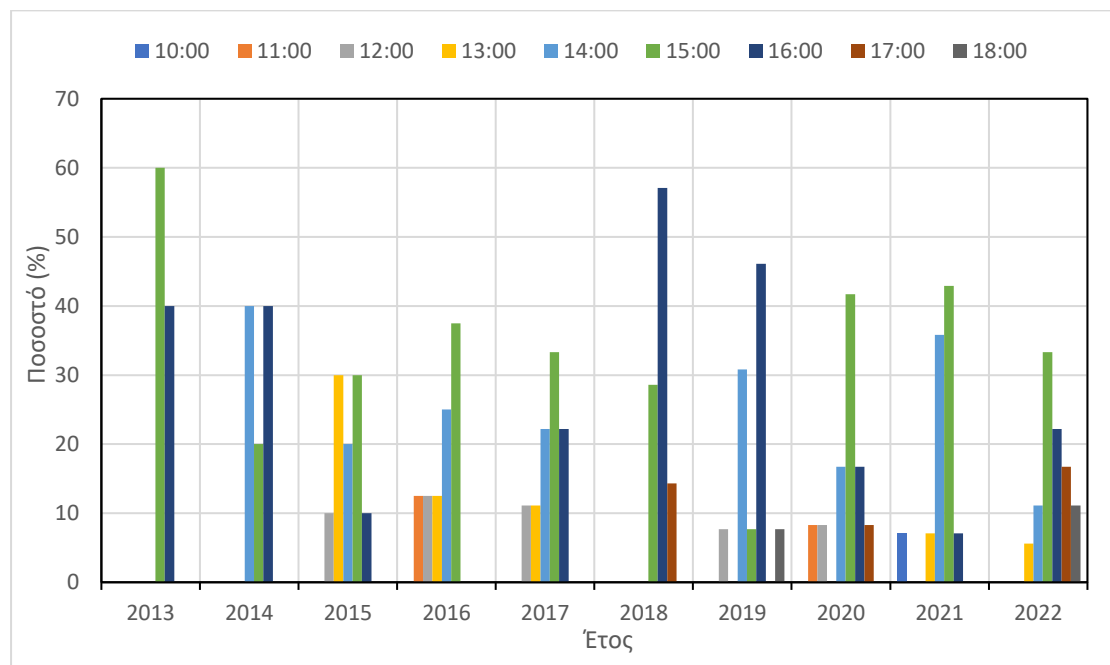
Πίνακας 1: Διάρκεια (ημέρες) και ημερομηνίες εμφάνισης ημερών με καύσωνα στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022

Έτος	Μήνας					
	Ιούνιος		Ιούλιος		Αύγουστος	
	Διάρκεια	Ημερομηνίες	Διάρκεια	Ημερομηνίες	Διάρκεια	Ημερομηνίες
2013	1	16/06	1	26/07 & 31/07	1	04/08 & 15/08
2014	2	26/06 - 27/06	-	-	1	04/08 & 16/08 & 28/08
2015	-	-	1	07/07 & 14/07 & 21/07	1	05/08 & 30/08
			5	27/07 - 31/07		
2016	5	21/06 - 25/06	1	04/07 & 10/07 & 30/07	-	-
2017	3	30/06 - 02/07	1	07/07	5	03/08 - 07/08
2018	-	-	1	05/07 & 13/07 & 21/07	2	18/08 - 19/08
			2	15/7 - 16/7		
2019	1	09/06 & 21/06 & 28/06	1	06/07 & 08/07 & 23/07	1	01/08 & 10/08 & 12/08 & 22/08 & 26/08
			2	02/07 - 03/07		
2020	2	30/06 - 01/07	1	04/07	3	29/08 - 31/08
			6	27/07 - 01/08		
2021	2	25/06 - 26/06	1	02/07	-	-
			2	06/07 - 07/07		
			9	29/07 - 06/08		
2022	1	03/06 & 05/06	1	16/07 & 21/07 & 23/07 & 25/07 & 31/07	3	17/08 - 19/08
	2	21/06 - 22/06	2	06/07 - 07/07	4	06/08 - 09/08

### 3.9 Ώρα έναρξης και λήξης του καύσωνα ανά ημέρα με καύσωνα

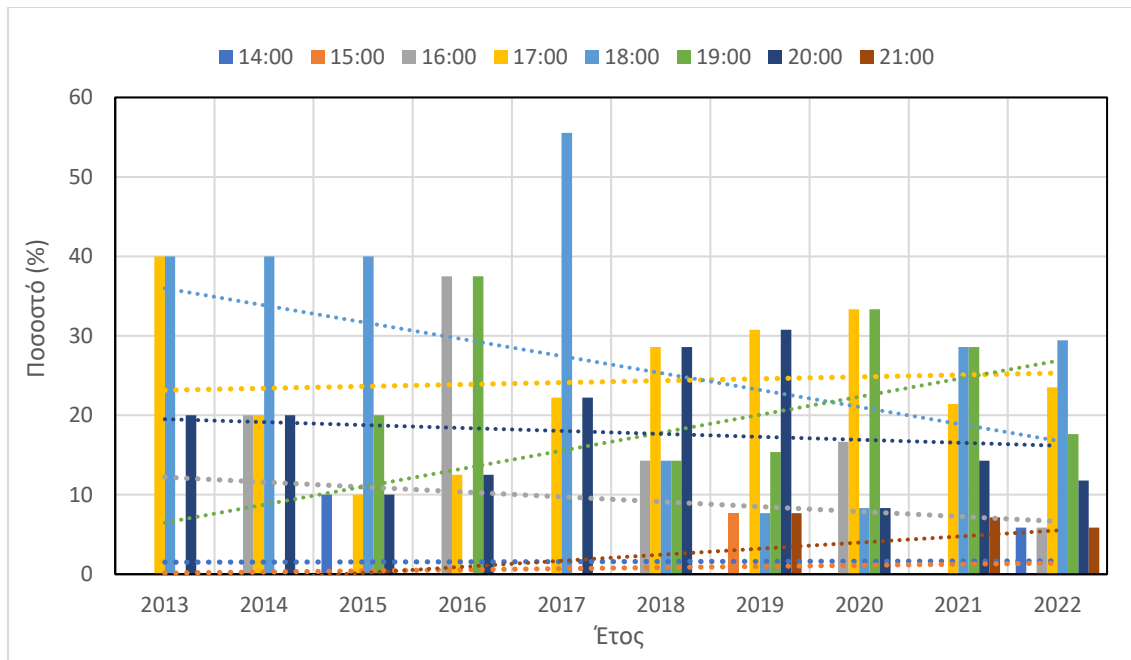
Μια ακόμα παράμετρος που μελετήθηκε ήταν η ώρα έναρξης και λήξης του καύσωνα για κάθε ημέρα με καύσωνα. Ως ώρα έναρξης και λήξης του καύσωνα ανά ημέρα με καύσωνα ορίστηκε η ώρα της ημέρας κατά την οποία η ΩΤ της θερμοκρασίας έγινε μεγαλύτερη και μικρότερη από το 90° εκατοστημόριο (34,8 °C), αντίστοιχα. Στα σχήματα 10 και 11 φαίνεται το ποσοστό εμφάνισης κάθε ώρας έναρξης και κάθε ώρας λήξης του καύσωνα, αντίστοιχα. Από το σχήμα 10 προκύπτει ότι η συχνότερη ώρα της ημέρας που ξεκινά ο καύσωνας είναι στις 15:00, ακολουθούμενη από τις 16:00 και τις 14:00, με τα ποσοστά εμφάνισης να κυμαίνονται 8% - 60%, 0% - 57%, και 0% - 40%, αντίστοιχα. Από το σχήμα 10 προκύπτει επίσης ότι από την αρχή προς το τέλος της περιόδου μελέτης η έναρξη του καύσωνα παρατηρείται τόσο νωρίτερα όσο και αργότερα από τις παραπάνω ώρες της ημέρας. Για παράδειγμα, το 2016 ο καύσωνας ξεκίνησε στις 11:00, στις 12:00 και στις 13:00 στο 39%

των ημερών με καύσινα (13% για κάθε ώρα), το 2021 ξεκίνησε στις 10:00 στο 7% των ημερών με καύσινα, ενώ η έναρξη του καύσινα παρατηρήθηκε και τις ώρες 17:00 και 18:00 τα έτη 2018, 2019, 2020 και 2022.



Σχήμα 10 : Ποσοστό εμφάνισης ώρας έναρξης του καύσινα τις ημέρες με καύσινα στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022

Στη συνέχεια, από το σχήμα 11 προκύπτει ότι η συχνότερη ώρα της ημέρας που τελειώνει ο καύσινας είναι στις 18:00, ακολουθούμενη από τις 17:00 και 20:00, με ποσοστά εμφάνισης να κυμαίνονται 8% - 56%, 10% - 40%, και 8,33% - 30,76% αντίστοιχα. Ακόμα από το σχήμα 11 προκύπτει ότι από την αρχή μέχρι και το τέλος της περιόδου μελέτης, η λήξη του καύσινα παρατηρείται να μεταβάλλεται πιο νυχτερινές ώρες. Συγκεκριμένα από το 2019 και μετά η λήξη του επεισοδίου παρατηρείται να γίνεται μέχρι και της 21:00 με ποσοστό 8%, καθώς στις 20:00 στο 31% των ημερών με καύσινα. Επίσης τις χρονιές 2020 παρατηρήθηκε η λήξη του καύσινα μέχρι τις 20:00 στο 9% των ημερών με καύσινα, ενώ το 2021 και 2022 η λήξη του καύσινα ήταν μέχρι και τις 21:00.

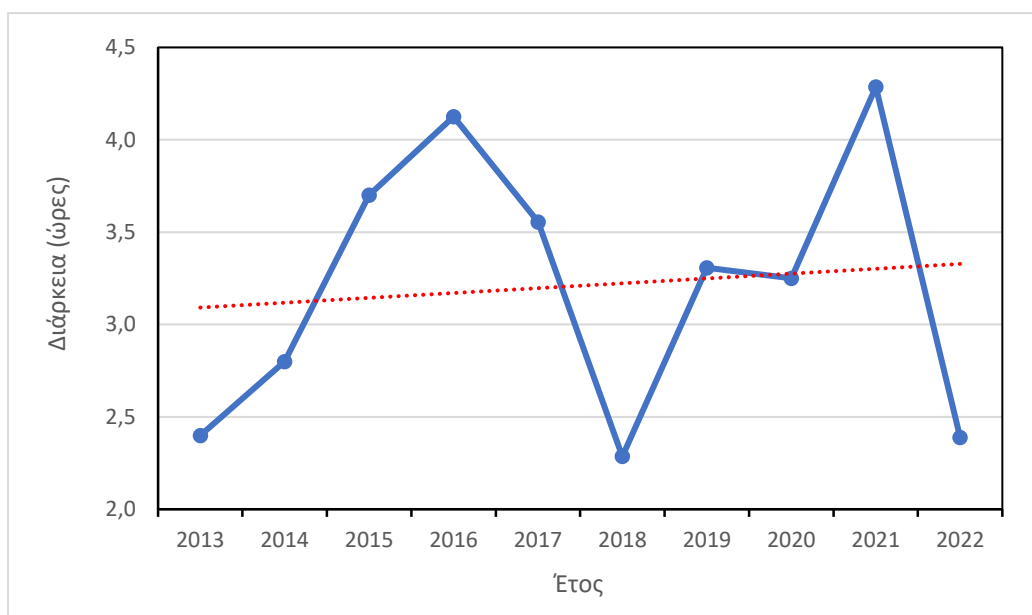


Σχήμα 11: Ποσοστά λήξης των ημερήσιων ωρών με καύσιμα για  $T < 34,8^{\circ}\text{C}$  καύσιμα στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022

### 3.10 Διάρκεια του καύσιμα κατά τη διάρκεια μιας ημέρας με καύσιμα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω κατά το σχολιασμό των σχημάτων 10 και 11, κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης η ώρα έναρξης και η ώρα λήξης μετατοπίστηκαν νωρίτερα και αργότερα μέσα στην ημέρα, αντίστοιχα. Η συνδυαστική αποτίμηση των συμπερασμάτων αυτών έδωσε το κίνητρο να μελετηθεί η διάρκεια του καύσιμα κατά τη διάρκεια μιας ημέρας με καύσιμα. Έτσι, για κάθε ημέρα με καύσιμα, εξετάστηκε πόσες ώρες μέσα στην ημέρα η θερμοκρασία παρέμεινε ίση ή μεγαλύτερη των  $34,8^{\circ}\text{C}$  και στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος των ωρών αυτών για κάθε έτος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 12. Από το σχήμα 12 δεν παρατηρείται σαφής αυξητική τάση της μέσης διάρκειας του καύσιμα μια ημέρα, οπότε απαιτείται μεγαλύτερη περίοδος δεδομένων για την καλύτερη αποτίμηση της τάσης αυτής. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι καύσιμες που εμφανίστηκαν 2018 είχαν μικρότερη μέση διάρκεια σε σχέση με τα γειτονικά έτη.

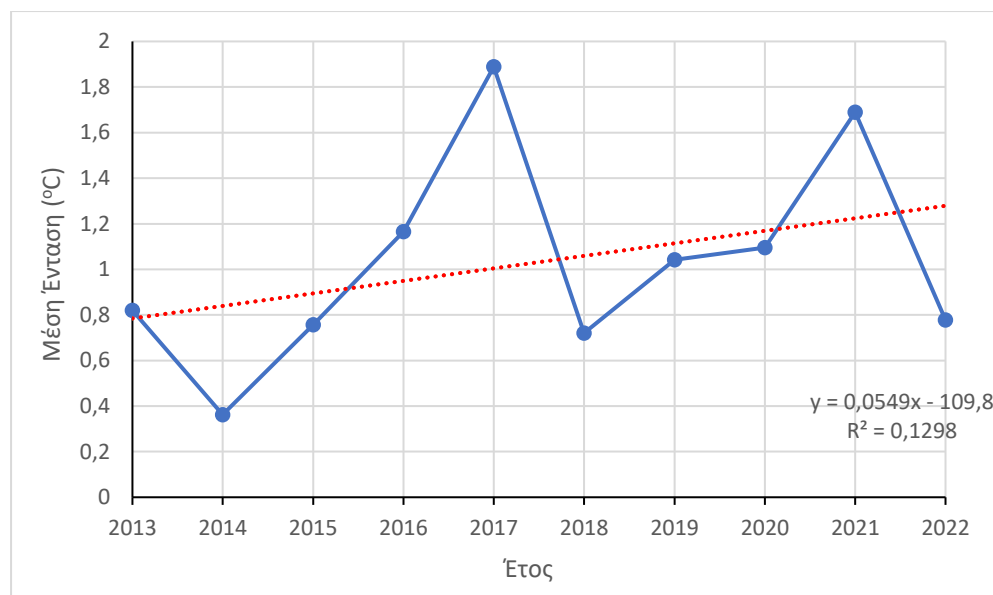
Σε αντίστοιχο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Φούντα et.al., το 2019, οι οποίοι μελέτησαν και πρόβλεψαν τις μετατοπίσεις των καυσώνων στη Μεσόγειο. Στη μελέτη τους διερευνούν τις αλλαγές στο χρονοδιάγραμμα και την εποχικότητα διαφορετικών θερμών ακραίων δεικτών, χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα θερμοκρασίας αέρα σε έναν αριθμό σταθμών στην Ανατολική Μεσόγειο. Η εργασία τους κατέληξε στο συμπέρασμα ότι θα υπάρχουν αυξήσεις στη διάρκεια ημερών και ωρών του καύσιμα μέχρι και τις νυχτερινές ώρες, καθώς οι προσομοιώσεις κατά μέσο όρο κάθε περιοχής των επιλεγμένων σταθμών της Αθήνας δείχνουν μια αξιοσημείωτη επιμήκυνση της εποχής των καυτών ακραίων περιοχών κατά περίπου έναν μήνα στο εγγύς μέλλον (2021–2050) και κατά δύο μήνες ή περισσότερο μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αιώνα.



Σχήμα 12: Μέση διάρκεια καύσωνα (ώρες) κατά τις ημέρες με καύσωνα στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022

### 3.11 Ένταση του καύσωνα

Στο σχήμα 13 παρουσιάζεται η μέση ένταση, όπως υπολογίστηκε από τη σχέση 1 που παρουσιάστηκε στην υποενότητα 2.3. Από το σχήμα 13 προκύπτει ότι η μέση ένταση παρουσιάζει μια μικρή αυξητική τάση και οι τιμές της κυμαίνονται από 0,36 έως 1,89.



Σχήμα 13: Μέση Ένταση επεισοδίων καύσωνα στο κέντρο της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2013 – 2022

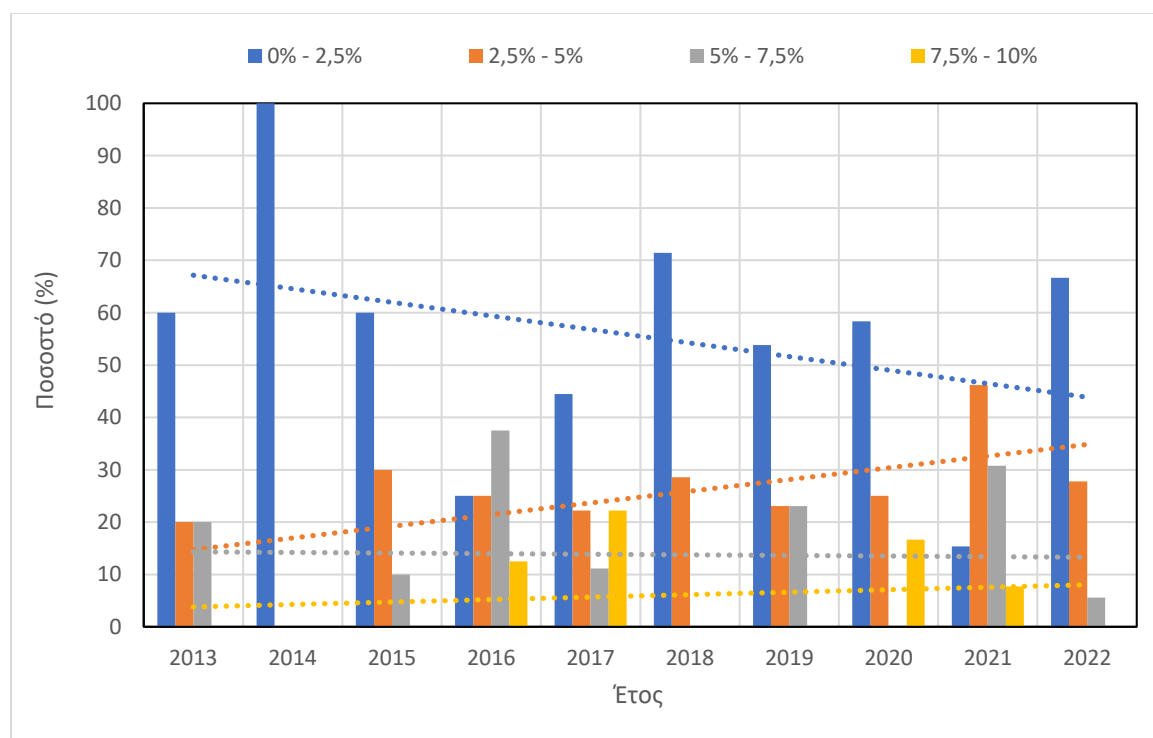
Στη συνέχεια, η ένταση του καύσωνα μελετήθηκε υπολογίζοντας το μέγεθος  $I$  σύμφωνα με τη σχέση 2 που παρουσιάστηκε στην υποενότητα 2.3.

Για τη γραφική απεικόνιση των τιμών του μεγέθους  $I$ , οι τιμές του μεγέθους  $I$  κατηγοριοποιήθηκαν σε κλάσεις. Για τον καθορισμό των κλάσεων προσδιορίστηκε η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή του μεγέθους  $I$  κατά τις ημέρες με καύσωνα και κατά τις ημέρες χωρίς καύσωνα, αντίστοιχα. Τις ημέρες με καύσωνα, η μέγιστη τιμή του μεγέθους  $I$  βρέθηκε ίση με 18,7%. Η 2η μεγαλύτερη τιμή που υπολογίστηκε ήταν 9,8%. Για την καλύτερη απεικόνιση των τιμών η τιμή 18,7% εξαιρέθηκε. Έτσι, για τις ημέρες με καύσωνα καθορίστηκαν 4 κλάσεις, οι  $0\% \leq I < 2,5\%$ ,  $2,5\% \leq I < 5\%$ ,  $5\% \leq I < 7,5\%$  και  $7,5\% \leq I < 10\%$ . Τις ημέρες χωρίς καύσωνα, η ελάχιστη τιμή του μεγέθους  $I$  βρέθηκε ίση με -39,7% και καθορίστηκαν 4 κλάσεις, οι  $-40\% \leq I < -30\%$ ,  $-30\% \leq I < -20\%$ ,  $-20\% \leq I < -10\%$  και  $-10\% \leq I < 0\%$ .

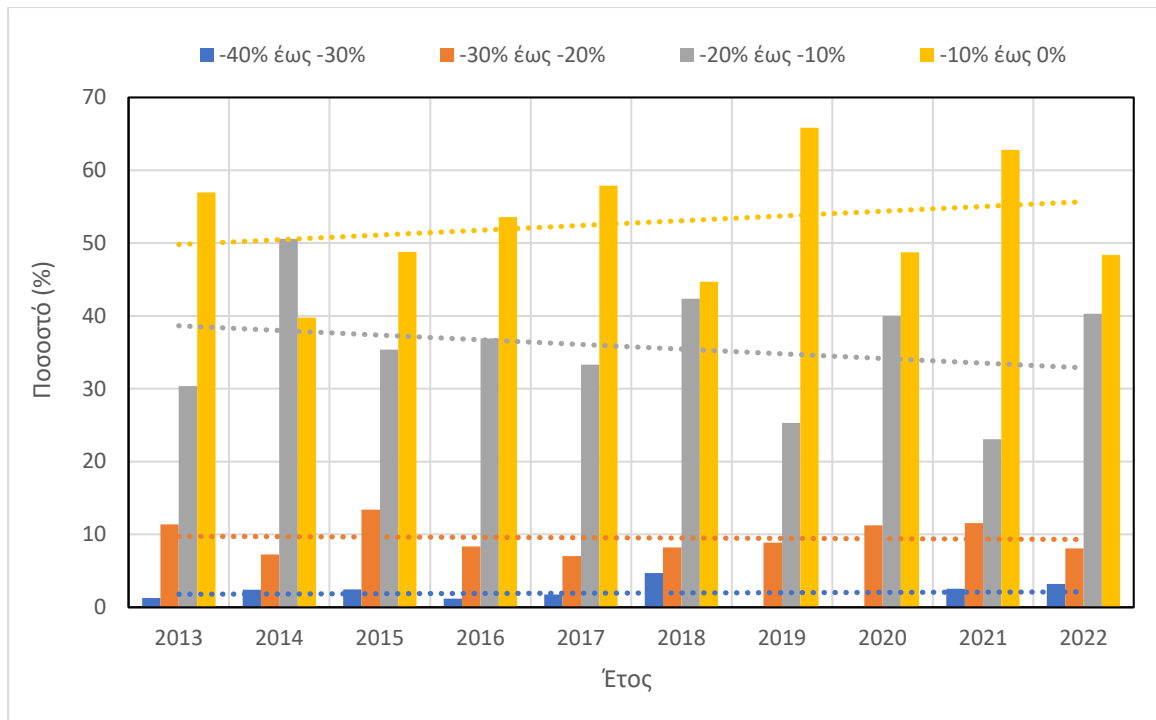
Στο σχήμα 14 παρουσιάζεται το % ποσοστό εμφάνισης της κάθε κλάσης του μεγέθους  $I$  για τις ημέρες με καύσωνα κατά τη διάρκεια και των τριών καλοκαιρινών μηνών για όλη την περίοδο μελέτης. Από το σχήμα 14 προκύπτει ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού της περιόδου μελέτης η τάση εμφάνισης της μικρότερης κλάσης ( $0\% \leq I < 2,5\%$ ) ήταν φθίνουσα, η τάση εμφάνισης της αμέσως επόμενης κλάσης ( $2,5\% \leq I < 5\%$ ) ήταν αύξουσα, ενώ οι δύο μεγαλύτερες κλάσεις δεν εμφάνισαν αύξουσα ή φθίνουσα τάση. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι το καλοκαίρι της περιόδου μελέτης η ημερήσια μέγιστη ωριαία τιμή της θερμοκρασίας κατά τις ημέρες με καύσωνα εμφάνισε μια αυξητική τάση. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί

με το συμπέρασμα που εξάχθηκε από τη μελέτη του σχήματος 13 παραπάνω. Από το σχήμα 14 προκύπτουν επίσης τα συμπεράσματα (α) ότι σε όλα σχεδόν τα έτη, εκτός των ετών 2016 και 2021, η μικρότερη κλάση παρουσίασε το μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης και (β) ότι τα έτη 2013, 2017, 2019 η αμέσως μεγαλύτερη κλάση παρουσίασε ίδιο ποσοστό εμφάνισης με μεγαλύτερες κλάσεις.

Στο σχήμα 15 παρουσιάζεται το % ποσοστό εμφάνισης της κάθε κλάσης του μεγέθους I για τις ημέρες χωρίς καύσωνα κατά τη διάρκεια και των τριών καλοκαιρινών μηνών για όλη την περίοδο μελέτης. Από το σχήμα 15 προκύπτει ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού της περιόδου μελέτης η τάση εμφάνισης της μεγαλύτερης κλάσης ( $-10\% \leq I < 0\%$ ) ήταν αύξουσα, η τάση εμφάνισης της αμέσως επόμενης κλάσης ( $-20\% \leq I < -10\%$ ) ήταν φθίνουσα, ενώ οι δύο μικρότερες κλάσεις δεν εμφάνισαν αύξουσα ή φθίνουσα τάση. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι το καλοκαίρι της περιόδου μελέτης η ημερήσια μέγιστη ωριαία τιμή της θερμοκρασίας κατά τις ημέρες χωρίς καύσωνα εμφάνισε μια αυξητική τάση, επομένως οι ημέρες χωρίς καύσωνα έγιναν θερμότερες. Από το σχήμα 15 προκύπτουν επίσης τα συμπεράσματα (α) ότι σε όλα σχεδόν τα έτη, εκτός του έτους 2014, η μεγαλύτερη κλάση παρουσίασε το μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης, ακολουθούμενη από την αμέσως επόμενη κλάση και (β) ότι σε όλα τα έτη τα ποσοστά εμφάνισης των δύο μεγαλύτερων κλάσεων ήταν πολύ μεγαλύτερα από τα ποσοστά εμφάνισης των δύο μικρότερων κλάσεων.



Σχήμα 14: % ποσοστό εμφάνισης κάθε κλάσης του μεγέθους I για τις ημέρες με καύσωνα κατά τη διάρκεια και των τριών καλοκαιρινών μηνών για όλη την περίοδο μελέτης.



Σχήμα 15: % ποσοστό εμφάνισης κάθε κλάσης του μεγέθους I για τις ημέρες χωρίς καύσωνα κατά τη διάρκεια και των τριών καλοκαιρινών μηνών για όλη την περίοδο μελέτης.

#### 4. Συμπεράσματα

Από την επεξεργασία των δεδομένων και την ανάλυσή τους καταλήγουμε στα συμπεράσματα ότι τα επίπεδα της θερμοκρασίας από τις ημερήσιες μέγιστες ωριαίες τιμές (ΗΜΩΤ) εμφανίζουν μια μικρή αυξητική τάση κατά τη περίοδο της μελέτης. Η μεγαλύτερη ΗΜΩΤ παρατηρήθηκε το 2021 και ήταν ίση με 41,3 °C, ενώ γενικά οι μικρότερες ΗΜΩΤ παρατηρήθηκαν το 2014. Μετά τη σύγκριση των ΗΜΩΤ με το όριο (38,4° C), από τις 101 ημέρες με καύσωνα, εντοπίζεται στον αριθμό ημερών μια αυξητική τάση, με μεγαλύτερο με αριθμό ημερών να φτάνει τις 18 ημέρες, που παρατηρήθηκε το έτος 2022. Παρόλο που στο έτος 2022 έχουν εντοπιστεί οι περισσότερες ημέρες με καύσωνα, συγκριτικά με τις υπόλοιπες χρονιές έχει μια ελαφρώς πτώση των μέγιστων θερμοκρασιών στη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Ακόμα, υπήρξαν έντονες διαφορές στον αριθμό ημερών με καύσωνα, ανάμεσα στους τρεις μήνες, όπου στον Ιούνιο αντιστοιχούν 19 ημέρες, στον Ιούλιο 46 και σφυτον Αύγουστο 36. Να σημειωθεί όμως, πως υπήρχαν περιπτώσεις όπου κάποιες χρονιές δεν είχαν και τους 3 μήνες επεισόδια με καύσωνα. Αυτό το γεγονός επιβεβαιώνει ότι ο μήνας Ιούλιος είναι αυτός με τα περισσότερα επεισόδια, παρόλο που δεν έχει τις μέγιστες θερμοκρασίες. Στη διάρκεια των κυμάτων για την περίοδο 2013 – 2022 δεν εμφανίστηκαν επεισόδια καύσωνα που διήρκεσαν περισσότερες από 1 ημέρα νωρίτερα από τις 21 Ιουνίου. Όμως, μεμονωμένες ημέρες με καύσωνα παρατηρήθηκαν από τις αρχές του Ιουνίου (03/06). Ο μεγαλύτερος αριθμός διαδοχικών ημερών με καύσωνα παρατηρήθηκε το 2021 την περίοδο 29/07 – 06/08.

Στην παράμετρο της ώρας έναρξης και λήξης που εξετάστηκε, παρατηρήθηκε ότι από την αρχή μέχρι και το τέλος της περιόδου μελέτης, του καύσωνα παρατηρείται τόσο νωρίτερα όσο και αργότερα από τις παραπάνω ώρες της ημέρας. Συγκεκριμένα, από τα αποτελέσματα, προκύπτει ότι η συχνότερη ώρα της ημέρας που ξεκινά ο καύσωνας είναι στις 15:00, ακολουθούμενη από τις 16:00 και τις 14:00, με τα ποσοστά εμφάνισης να κυμαίνονται 8% - 60%, 0% - 57%, και 0% - 40%, αντίστοιχα. Η συνδυαστική αποτίμηση των συμπερασμάτων αυτών έδωσε το κίνητρο να μελετηθεί η διάρκεια του καύσωνα κατά τη διάρκεια μιας ημέρας με καύσωνα. Αυτό που παρατηρήθηκε είναι ότι η μέση διάρκεια του καύσωνα μια ημέρα με καύσωνα δεν εμφανίζει σαφή αυξητική τάση κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, οπότε απαιτούνται περισσότερα δεδομένα για την αποτίμησή της.

Όσο αφορά την ένταση όλες οι τιμές παρουσίασαν μια αυξητική τάση, που κυμάνθηκαν από 0 έως 3,1. Η ισχυρότερη ένταση παρατηρήθηκε το έτος του 2017 με τιμή 3,1. Επίσης, τις ημέρες με καύσωνα, η μέγιστη τιμή του μεγέθους  $I$  βρέθηκε ίση με 18,7%. Η 2η μεγαλύτερη τιμή που υπολογίστηκε ήταν 9,8%. Τις ημέρες χωρίς καύσωνα, η ελάχιστη τιμή του μεγέθους  $I$  βρέθηκε ίση με -39,7%. Στη συνέχεια, το % ποσοστό εμφάνισης της κάθε κλάσης του μεγέθους  $I$  για τις ημέρες με καύσωνα κατά τη διάρκεια και των τριών καλοκαιρινών μηνών για όλη την περίοδο μελέτης έδειξε ότι η τάση εμφάνισης της ήταν φθίνουσα, το γεγονός αυτό δείχνει ότι το καλοκαίρι της περιόδου μελέτης η ημερήσια μέγιστη ωριαία τιμή της θερμοκρασίας κατά τις ημέρες με καύσωνα εμφάνισε μια αυξητική τάση. Καταλήγοντας στα συμπεράσματα ότι σε όλα σχεδόν τα έτη, εκτός των ετών 2016 και 2021, η μικρότερη κλάση παρουσίασε το μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης και ότι τα έτη 2013, 2017, 2019 η αμέσως μεγαλύτερη κλάση παρουσίασε ίδιο ποσοστό εμφάνισης με μεγαλύτερες κλάσεις.

Επίσης για τις μέρες χωρίς καύσωνα προκύπτει ότι κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού της περιόδου μελέτης η τάση εμφάνισης της μεγαλύτερης κλάσης ( $-10\% \leq I < 0\%$ ) ήταν αύξουσα, η τάση εμφάνισης της αμέσως επόμενης κλάσης ( $-20\% \leq I < -10\%$ ) ήταν φθίνουσα. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι το καλοκαίρι της περιόδου μελέτης η ημερήσια μέγιστη ωριαία τιμή της θερμοκρασίας κατά τις ημέρες χωρίς καύσωνα εμφάνισε μια αυξητική τάση, επομένως οι ημέρες χωρίς καύσωνα έγιναν θερμότερες. Κλείνοντας τα συμπεράσματα για αυτό είναι ότι σε όλα σχεδόν τα έτη, εκτός του έτους 2014, η μεγαλύτερη κλάση παρουσίασε το μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης, ακολουθούμενη από την αμέσως επόμενη κλάση και ότι σε όλα τα έτη τα ποσοστά εμφάνισης των δύο μεγαλύτερων κλάσεων ήταν πολύ μεγαλύτερα από τα ποσοστά εμφάνισης των δύο μικρότερων κλάσεων.

Συμπερασματικά, η παρούσα πτυχιακή εργασία αναδεικνύει την έρευνα για το θέμα των καυσώνων στις αστικές περιοχές, υπογραμμίζοντας το περίπλοκο πλέγμα παραγόντων που επηρεάζουν τις αστικές θερμοκρασίες. Δεδομένων των ανησυχιών γύρω από τα κύματα καύσωνα και τις δυσμενείς επιπτώσεις τους, είναι επιτακτική ανάγκη οι μελλοντικές έρευνες να εμβαθύνουν σε αυτόν τον τομέα. Οι ευκαιρίες αφθονούν για περαιτέρω διερεύνηση, όπως ολοκληρωμένες μελέτες που αναλύουν την αλληλεπίδραση μεταξύ των κυμάτων καύσωνα και των δεικτών δυσφορίας στη Θεσσαλονίκη, την επίδραση της κυκλοφορίας της θαλάσσιας αύρας στη θερμική δυναμική της πόλης, εκτιμήσεις των προτύπων κατανάλωσης ενέργειας και αξιολογήσεις της ποιότητας του αέρα κατά τη διάρκεια των θερμών καλοκαιρινών ημερών. Τέτοιες ερευνητικές προσπάθειες ανοίγουν το δρόμο για ενημερωμένες πολιτικές και παρεμβάσεις για τη δημιουργία πιο ανθεκτικών και βιώσιμων πόλεων σε έναν ολοένα και πιο ζεστό κόσμο.

## 5. Βιβλιογραφία

### Ξένη Βιβλιογραφία

- Aldred J. (2013). Australia links 'angry summer' to climate change at last. *The Guardian. Guardian News and Media*. Αναρτήθηκε από: <https://www.theguardian.com/environment/blog/2013/mar/07/australia-angry-summer-climate-change>
- Assael M.J., Kakosimos, K. E., Assael I.-A.M, & Alexandridis, A., (2009). Εφαρμογή και μελέτη των Δεικτών Δυσφορίας στον Ελλαδικό Χώρο. *Proc. 7th Panhel. Sci. Chem. Eng. Conf., Patra, 3-6 June*.
- Beker B.M., Cervellera C., De Vito A., Musso C.G., (2018) Human physiology in extreme heat and cold *Int. Arch. Clin. Physiol* Vol 1, Issue 1. doi: 10.23937/iacph-2017/1710001
- Bouchama A., Dehbi M., Mohamed G., Matthies F., Shoukri M., & Menne B., (2007). Prognostic Factors in Heat Wave–Related Deaths A Meta-analysis. *Arch. Intern. Med.*, 167, 2170–2176
- Brian D. Giles, Balafoutis C., & Maheras P., (1990): Too hot for comfort: The heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *Int J Biometeorol* 34:98-104
- Cos J., Doblas-Reyes F., Jury M., Marcos R., Bretonnière P.A., & Samsó M. (2021). The Mediterranean climate change hotspot in the CMIP5 and CMIP6 projections. *Earth System Dynamics Discussions*, doi: 10.5194/esd-2021-65
- Coumou D., & Rahmstorf S. (2012). A decade of weather extremes. Article in *Nature Climate Change*, doi: 10.1038/NCLIMATE1452
- Crandall C.G., & Wilson T.E., (2014). Human Cardiovascular Responses to Passive Heat Stress. *Compr. Physiol.*, Vol 5, Issue 1, 17–43 doi: 10.1002/cphy.c140015
- Cueto G., Martinez A.T., & Ostos E.J. (2010). Heat waves and heat days in an arid city in the northwest of México: current trends and in climate change scenarios. *Int J Biometeorol* 54:335–345. doi : 10.1007/s00484-009-0283-7
- Dosio A., Mentaschi L, Fischer Erich M., & Wyser K. (2018). Extreme heat waves under 1.5°C and 2 °C global warming. *Environ. Res. Lett. Vol 13 No 5* 054006 doi: 10.1088/1748-9326/aab827
- Fadly S. A., Rozita H., Norfazilah A., Rohaida I , Norlen M., Mazni B., Yelmizaitun O., Mohd F. Mohd R., & Fredolin T., (2022). The Impact of Heatwaves on Mortality and Morbidity and the Associated Vulnerability Factors: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19, 16356 doi: /10.3390/ijerph192316356
- Founda D., & Giannakopoulos C. (2009) The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece — A typical summer in the future climate? *Global and Planetary Change* 67 227–236
- Founda D., Varotsos K.V., Pierros F., & Giannakopoulos C. (2019). Observed and projected shifts in hot extremes' season in the Eastern Mediterranean. *Global and Planetary Change* 175 190–200

- Founda, D., Katavoutas, G., Pierros, F., & Mihalopoulos, N. (2022). The Extreme Heat Wave of Summer 2021 in Athens (Greece): Cumulative Heat and Exposure to Heat Stress. *Sustainability*, Vol 14, Issue 13, 7766 doi: 10.3390/su14137766
- Giannaros T. M., & Melas D. (2012). Study of the urban heat island in a coastal Mediterranean City: The case study of Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Research* 118 103–120
- Huang C., Cheng J., Phung, D., Tawatsupa B., Hu W.; Xu, Z. (2018). Mortality burden attributable to heatwaves in Thailand: A systematic assessment incorporating evidence-based lag structure. *Environ. Int.*, 121, 41–50.
- Katsouyanni K., Trichopoulos D., Zavitsanos, X., & Touloumi, G. (1988). The 1987 Athens heatwave. *The Lancet* Vol 2 , 32, 573. doi: 10.1016/s0140-6736(88)92699-2
- Kovats R.S., & Ebi K.L., (2006) Heatwaves and public health in Europe , *European Journal of Public Health*, Vol. 16, No. 6, 592–599
- Molina M. O., Sánchez E., & Gutiérrez C. (2020). Future heat waves over the Mediterranean from an euroCORDEX regional climate model ensemble. *Scientific Reports- Nature reseach* 10:8801 doi: 10.1038/s41598-020-65663-0
- Oliveira A., Lopes A., & Soares A. (2022). Excess Heat Factor climatology, trends, and exposure across European Functional Urban Areas. *Weather and Climate Extremes* 36 100455.
- Palecki, M.A., Changnon, S.A., & Kunkel, K.E. The Nature and Impacts of the July 1999 Heatwave in the Midwestern United States: Learning from the Lessons of 1995. *B. Am. Meteorol. Soc* Αναρτήθηκε από: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/15200477%282001%29082%3C1353%3ATNAIOT%3E2.3.CO%3B2>
- Papanastasiou D. K., Melas D., Bartzanas T. & Kittas C. (2009): Temperature, comfort and pollution levels during heat waves and the role of sea breeze, *Int J Biometeorol* 54:307–317
- Papanastasiou D.K., Melas D., & Kambezidis H.D. (2015). Air quality and thermal comfort levels under extreme hot weather. *Atmospheric Research* 152, 4–13
- Parker D.E., (2010). Urban Heat Island Effects on Estimates of Observed Climate., *Wires Climate Change*,. Vol 1, Issue 1, 123-133 doi: 10.1002/wcc.21
- Robinson P.J. (2000). On the Definition of a Heat Wave. *Journal of Applied Meteorology* Volume 40, 762-775
- Wang L., Wang W.J., Wu Z., Haibo Du, Shen X., & Shuang Ma (2017). Spatial and temporal variations of summer hot days and heat waves and their relationships with large-scale atmospheric circulations across Northeast China. *Int J of Climatology* doi: 10.1002/joc.5768
- Wang L., Wu Z., Wang F., Haibo Du & Zong S., (2016). Comparative analysis of the extreme temperature event change over Northeast China and Hokkaido, Japan from 1951 to 2011. *Theor Appl Climatol* 124:375–384.

White, M.D. (2006). Components and mechanisms of thermal hyperpnea. *J. Appl. Physiol.*, *101*, 655–663. doi: 10.1152/jappphysiol.00210.2006

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

- Ζιακόπουλος Δ., Φραγκούλη Π. (2015). Το εγχειρίδιο του Μετεωρολόγου – Προγνώστη. *Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία* Ηλεκτρονική Έκδοση, Αναρτήθηκε από: [http://www.emy.gr/emv/el/meteorology/components/HNMS\\_MeteorologistBook.pdf](http://www.emy.gr/emv/el/meteorology/components/HNMS_MeteorologistBook.pdf)
- Ζουμάκης Ν. Μιχαήλ. (2016). Μελέτη της Θνησιμότητας που σχετίζεται με τα επεισόδια καύσωνα κατά τη Θερινή περίοδο των ετών 1945-2010 στο Δήμο Θεσσαλονίκης. *Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Ιατρικής Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.*
- Κέκκου Φ. (2021). Μελέτη της Ποιότητας του αέρα κατά τις ημέρες με υψηλές θερμοκρασίες στην Θεσσαλονίκη. *Πτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Φυσικής.*
- Κελέσης Α.Γ., Τζουμάκα Π.Ν., Τσακνιά Α., Τοτονίδης Ι., Τσιμενίδου Π. & Πετρακάκης Μ.Ι., 2013-2022, *Τεχνικές Εκθέσεις - Αποτελέσματα Μετρήσεων Δημοτικού Δικτύου Μέτρησης Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Μετεωρολογικών Παραμέτρων, Δήμος Θεσσαλονίκης, Τμήμα Περιβάλλοντος και Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή, Θεσσαλονίκη.*
- Λαβή Α. (2016). Ο Καύσωνας ως ένα ακραίο φυσικό φαινόμενο. Παραδείγματα από τον διεθνή και τον Ευρωπαϊκό χώρο. *Διπλωματική εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας.*
- Λημνιώτης Κωνσταντίνος (2005). Μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο Πολεοδομικό Συγκρότημα της Θεσσαλονίκης σε σχέση με κύριες Μετεωρολογικές Παραμέτρους και χρήση των μεθόδων της ανάλυσης δεδομένων. *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής*
- Παπακριβού, Α. (2011). Συμβολή στην ανάπτυξη ενός συστήματος προειδοποίησης για επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών στο λεκανοπέδιο της Αθήνας, που ενέχουν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία , Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας*
- Ροδίτης Α. (2017). Συνοπτική μελέτη του καύσωνα του Ιουνίου 2007 στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. *Πτυχιακή Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών , Τμήμα Φυσικής.*
- Σταυρόπουλος Ε., & Μπαλκούρας Ιωάννης (2022). *Αστοχίες Δικτύων Ηλεκτρικής Ενέργειας.* Πτυχιακή εργασία, *Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών.*
- Τσόγκας Λάμπρος (2021). Διερεύνηση της αστικής νησίδας θερμότητας στην ευρύτερη αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης. *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας.*

### **Βιβλία**

Aguado E., Burt J.E. (2013). *Understanding Weather and Climate*, 6<sup>th</sup> Edition by Person Education Inc.

Ahrens C.D. (2009). Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment. 9<sup>th</sup> Edition by Brooks/Cole, Cengage Learning

Τριανταφύλλου Σ. (2017). Αέρια Ρύπανση. Δρ Φυσικός – Ραδιοηλεκτρολόγος, Κοζάνη, Εκδόσεις Θαλής

Φλόκας Α. (1992). Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Καθηγητής Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Ζητη

### **Ηλεκτρονικές πηγές**

- NASA Earth Observatory : <https://earthobservatory.nasa.gov/topic/heat> & <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-says-2022-fifth-warmest-year-on-record-warming-trend-continues/> Αναρτήθηκε: 21/01/23 & <https://earthobservatory.nasa.gov/images/3714/european-heat-wave> & <https://earthobservatory.nasa.gov/images/8850/heat-wave-in-northern-europe>
- Ambient Weather: <https://ambientweather.com/heind.html>
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία : [http://www.emy.gr/emv/el/pdf/heatwave\\_2021.pdf](http://www.emy.gr/emv/el/pdf/heatwave_2021.pdf) Αναρτήθηκε: 12/08/21 & [http://www.emy.gr/emv/el/forecast/deikths\\_wbgt?wbgtValid=tomorrow](http://www.emy.gr/emv/el/forecast/deikths_wbgt?wbgtValid=tomorrow)
- Hellenic Weather: <https://www.hellenicweather.com/kausonas-i-orthi-xrisi-orou> Αναρτήθηκε: 30/06/23
- Σχηματισμός Καύσωνα: <https://www.treehugger.com/what-causes-heat-wave-4863232> Αναρτήθηκε: 21/11/21 & <https://www.directenergy.com/learning-center/heatwave>
- National Center for Atmospheric research: <https://www2.ucar.edu/atmosnews/news/10508/long-term-forecasts-heat-waves>
- CNN Greece: <https://www.cnn.gr/ellada/story/276420/kaysonas-odigies-pros-toys-polites-gia-periorismo-tis-katanalosis-ilektrikis-energeias> Αναρτήθηκε: 01/08/21
- Meteology.gr: <https://www.meteology.gr/thessaloniki-o-zestos-thermaikos-apetr/> Αναρτήθηκε: 06/10/20
- Θάλασσες και ψάρια: <https://www.naftikachronika.gr/2022/07/31/kymata-kafsona-apeili-gia-ti-thalassia-viopoikilotita-tis-mesogeiou/> Αναρτήθηκε: 31/07/22 & <https://www.ertnews.gr/roi-idiseon/o-thalassios-kaysonas-fernei-lagokefaloy-kai-medoyses-sti-mesogeio/> Αναρτήθηκε: 02/08/22
- Ψυχική υγεία: <https://www.therapia.gr/zesti-kaysonas-egkefalos-psyxologia/> & <https://www.iatropedia.gr/psychiki-ygeia/o-kafsonas-epideinonei-ta-provlimata-psyxiki-ygeias-proeidopoioun-oi-epistimones/157393/> Αναρτήθηκε: 03/08/22