



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
UNIVERSITY *of the* PELOPONNESE

Εκτίμηση ευαλωτότητας του αστικού πληθυσμού σε
καύσωνες με τη χρήση κοινωνικοοικονομικών
δεδομένων: η περίπτωση μελέτης της Αθήνας

Διπλωματική Εργασία
Κωνσταντίνος Ζηλιασκόπουλος
Επιβλέπων καθηγητής: Χρήστος Πετρόπουλος

Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα: Κοινωνική Καινοτομία
και Στρατηγικές Ανάπτυξης

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου και Εθνικό Κέντρο Κοινωνικής
Έρευνας

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή.....	3
Δεδομένα	6
Μεθοδολογία.....	8
Επεξεργασία δεδομένων	9
Ανάλυση Παραγόντων (Factor Analysis)	13
Αλγόριθμος κατηγοριοποίησης καυσώνων.....	18
Ανάλυση θνησιμότητας σε συνθήκες υπερβολικής ζέστης	20
Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	25
Συμπεράσματα	34
Αναφορές.....	36
Παράρτημα	39

Εισαγωγή

Η κλιματική κρίση αποτελεί μια πολύπλευρη επείγουσα πρόκληση για τη σύγχρονη πόλη. Οι πόλεις είναι οι χωρικές μονάδες που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού και την οικονομική του δραστηριότητα, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν μεγάλη τρωτότητα στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε σχέση με την ξηρασία, τις πλημμύρες και τους καύσωνες. Σύμφωνα με το IPCC (Hennessy et al., 2022), η τρωτότητα των κοινωνιών μας στην κλιματική αλλαγή εξαρτάται από την ευπάθεια μιας σειράς συστημάτων—γεωφυσικών, βιολογικών και κοινωνικοοικονομικών—αλλά είναι και αποτέλεσμα της φέρουσας ικανότητας προσαρμογής της κοινωνίας και της αντιμετώπισης των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής. Οι καύσωνες συνδέονται με αυξημένη θνησιμότητα και νοσηρότητα (Pyrgou and Santamouris, 2018), ενώ τα κοινωνικά και δημογραφικά στοιχεία (ηλικιωμένοι, παιδιά, άνδρες, γυναίκες, χαμηλό κοινωνικοοικονομικό επίπεδο, χαμηλό μορφωτικό επίπεδο), οι παθολογίες (καρδιαγγειακά νοσήματα, διαβήτης, κλπ) και το αν βρισκόμαστε στην ύπαιθρο ή στην πόλη είναι κρίσιμοι παράγοντες τρωτότητας (Arsad et al., 2022). Ενώ οι καύσωνες επηρεάζουν τις αστικές και τις αγροτικές εκτάσεις με διαφορετικό τρόπο, οι κύριες πληγείσες περιοχές από τους καύσωνες είναι οι πόλεις (Jandaghian and Akbari, 2018) και πλήττονται σε διαφορετικό βαθμό, εξαιτίας των διαφορετικών οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών τους. Επιπλέον, στα αστικά κέντρα, οι υψηλές θερμοκρασίες συχνά επιδεινώνονται από την Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ) η οποία κάνει τις κοινωνίες ακόμη πιο ευάλωτες (Ward et al., 2016). Η ΑΘΝ είναι η παρατηρημένη διαφορά στη διαβάθμιση θερμοκρασίας μεταξύ αγροτικών και αστικών περιοχών (Voogt and Oke, 2003)—με τις επιφανειακές θερμοκρασίες σε αστικές περιοχές να είναι υψηλότερες. Κατά τη διάρκεια του κύματος καύσωνα, η ΑΘΝ τον επιδεινώνει και συνεισφέρει στη νοσηρότητα και θνησιμότητά του. Από την άλλη, η ένταση της ΑΘΝ είναι στενά συνδεδεμένη με τις χρήσεις και την κάλυψη γης στην πόλη, οπότε η γεωχωρική πληροφορία και τα δορυφορικά δεδομένα μαζί με δεδομένα επιφανειακής θερμοκρασίας, συμπληρωματικά με άλλα δεδομένα, μπορούν να δώσουν πληροφορίες για να παραχθούν αξιόπιστες προβλέψεις ρίσκου και να καθοδηγήσουν τις πολιτικές Πολιτικής Προστασίας.

Σύμφωνα με τον οργανισμό Arsht Rockefeller Foundation (2022), η ακραία ζέστη σκοτώνει περισσότερους ανθρώπους κάθε χρόνο από οποιοδήποτε άλλο κλιματικό κίνδυνο και επηρεάζει δυσμενώς σχεδόν κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα και κάθε

κοινωνία παγκοσμίως. Το μέγεθος του κινδύνου συνεχώς αυξάνεται, αφού συνεχώς αυξάνονται οι ακραίες θερμοκρασίες και η διάρκεια των καυσώνων, οι κοινωνικές ανισότητες και η συγκέντρωση πολιτών στις μεγαλουπόλεις μέσω της αστικοποίησης και της εγκατάλειψης της υπαίθρου. Παρά τις προβλέψεις της υπερθέρμανσης και της αύξησης της συχνότητας και έντασης των καυσώνων, υπάρχει ακόμη μια σχετική έλλειψη της δημόσιας αναγνώρισης της μεγάλης επικινδυνότητας των καυσώνων. Ενώ οι άλλοι κλιματικοί κίνδυνοι αναγνωρίζονται από την πολιτεία και κινητοποιούν μηχανισμούς αντίδρασης, οι μητροπολιτικές περιοχές γενικά υστερούν σε σχέδια αντίδρασης σε καύσωνες. Μεγάλο μέρος του προβλήματος είναι ότι οι καύσωνες είναι «σιωπηροί δολοφόνοι» και δεν αφήνουν ορατές φυσικές καταστροφές στο πέρασμά τους (Johnson et al., 2009). Οι επιδημιολογικές μελέτες καταδεικνύουν ότι τα άτομα που βρίσκονται σε υψηλό ρίσκο επηρεασμού της υγείας τους από τους καύσωνες περιλαμβάνει τις ευάλωτες ομάδες, όπως τους υπερήλικες, τους φτωχούς του κέντρου των πόλεων, αυτούς που μένουν μόνοι και αυτούς που ζουν χωρίς κλιματισμό ως αποτέλεσμα ενεργειακής φτώχειας (Semenza et al., 2009). Επιπροσθέτως, άλλοι πολίτες με χρόνιες νοητικές παθήσεις, ή με άλλες προ-υπάρχουσες παθήσεις (παχυσαρκία, καρδιαγγειακά νοσήματα, νευρολογικές και ψυχιατρικές ασθένειες) βρίσκονται σε αυξημένα επίπεδα ρίσκου.

Η σοβαρότητα των επιπτώσεων της ακραίας ζέστης συνηθίζεται να εκτιμάται μέσω μετεωρολογικών κυρίως δεικτών (Conti et al., 2022), μια ανάλυση που δεν αντικατοπτρίζει τις κοινωνικο-οικονομικές διαστάσεις του προβλήματος. Τα τελευταία χρόνια όμως, βλέπουμε μια επαυξημένη προσοχή στις κοινωνικές τρωτότητες λόγω του υψηλού οικονομικού κόστους των καυσώνων. Η ανάλυση τρωτότητας μπορεί να λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ των επιπτώσεων της κλιματικής κρίσης και της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή (Malone and Engle, 2011), αφού μπορεί να υποδεικνύει περιοχές και προτεραιότητες παρέμβασης από την πολιτεία που θα είχαν βέλτιστο αποτέλεσμα για τις κοινωνίες που πλήττονται από τους κινδύνους της κλιματικής αλλαγής. Προηγούμενες μελέτες παραγόντων ρίσκου προτείνουν ότι η χαρτογράφηση των κοινωνικο-δημογραφικών μεταβλητών (τρωτότητα, πυκνότητα πληθυσμού κ.ά.) από δεδομένα απογραφής ή δορυφορικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη μοντελοποίηση ρίσκου παρέχοντας ένδειξη της χωρικής μεταβολής σε τρωτότητα μέσα στην πόλη (Harlan et al., 2006). Από την άλλη, και οι φυσικές περιβαλλοντικές μεταβλητές είναι εξαιρετικά σημαντικές και συνεισφέρουν στην αυξημένη επικινδυνότητα των καυσώνων. Η πρόβλεψη που βασίζεται στα

κοινωνικο-οικονομικά και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά μιας πόλης, αποτυπώνοντας και τη σχέση των δύο αυτών ομάδων χαρακτηριστικών, θα μπορούσαν να παρέχουν στήριξη σε βέλτιστες στρατηγικές σχεδιασμού και παρεμβάσεων στις πόλεις του μέλλοντος (Smoyer, 1998).

Η εργασία αυτή θα αναδείξει ότι οι επιπτώσεις της κρίσης δε γίνονται αισθητές με τον ίδιο τρόπο σε όλη την πόλη λόγω της διαφοροποίησης των τοπικών κοινωνικο-δημογραφικών και περιβαλλοντικών παραγόντων σε γειτονιές της. Με άλλα λόγια, οι καύσωνες γίνονται διαφορετικά αισθητοί στις εύπορες και στις φτωχές γειτονιές. Έτσι, η ικανότητα των πολιτών να προσαρμοστούν στους καύσωνες διαφέρει ανάλογα με το αν διαθέτουν κλιματισμό, αν ζουν σε καλά μονωμένα σπίτια, αν είναι ηλικιωμένοι, αν νοσοούν, αν μένουν μόνοι, κλπ. Η ανάλυση θα επικεντρωθεί στην πόλη της Αθήνας αλλά θα επεκταθεί και σε όλη την επικράτεια σε επίπεδο νομού (NUTS3). Η ευαλωτότητα συγκεκριμένων ομάδων προκύπτει μέσα από ανάλυση και συσχέτιση γεωχωρικών δεδομένων, μεταφράζεται σε δείκτες ευπάθειας στους καύσωνες και χαρτογραφείται στις γειτονιές της Αθήνας και στην υπόλοιπη Ελλάδα. Πληθώρα δεδομένων συγκεντρώνονται από ανοιχτές βάσεις της Ελληνικής Στατιστικής Υπηρεσίας, αλλά και τη συλλογή δεδομένων κοινωνικής οικονομίας από τον Κοινωνικό Άτλαντα της Αθήνας (<https://athenssocialatlas.gr/>). Η χρήση δεδομένων και επιστημονικών μεθόδων ανάλυσής τους οδηγεί στην κατανόηση αυτής της ευπάθειας, η οποία θα πρέπει να καθοδηγήσει τις αστικές πολιτικές και πρωτοβουλίες. Αυτές περιλαμβάνουν όχι μόνο δενδροφυτεύσεις, πράσινες στέγες, και βλάστηση, που μπορούν να μειώσουν τις θερμοκρασίες και να δροσίσουν την πόλη, αλλά και την ανάδειξη των ευεργετικών επιπτώσεων της αστικής φύσης στην ψυχική και κοινωνική υγεία και την ευημερία των πολιτών. Όσο τάχιστα το παράθυρο της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή συρρικνώνεται, άλλο τόσο θα πρέπει να επιδιώκουμε οραματικές αλλαγές στις πόλεις μας μέσα από τη δημιουργία διεπαφών μεταξύ επιστήμης και πολιτικής που θα οδηγήσουν σε επιστημονικά τεκμηριωμένες και πετυχημένες πολιτικές. Η εργασία αυτή φιλοδοξεί να λειτουργήσει ως μία βάση για τη δημιουργία αυτής της διεπαφής.

Δεδομένα

Για την ανάλυση της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από πολλαπλές πηγές. Στον Πίνακα 1 εμφανίζονται όλα τα δεδομένα της μελέτης, με σύντομη περιγραφή και τη πηγή.

Πίνακας 1: Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση, με σύντομη περιγραφή και τη πηγή τους

Όνομασία δεδομένων	Περιγραφή	Πηγή
Κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά κεντρικής Αθήνας	Σύνολο από excel αρχεία σε ανάλυση δεκαψήφιου ταχυδρομικού κώδικα με κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά για τον κάθε κώδικα, βάσει τα στοιχεία της απογραφής του 2011.	ELSTAT
Γεωχωρικά σύνορα δεκαψήφιων ταχυδρομικών κωδικών	Γεωχωρικά σύνορα σε μορφή shapfile, για το σύνολο της Αττικής.	ELSTAT
Γεωχωρικά σύνορα της κεντρικής Αθήνας	Γεωχωρικά σύνορα σε μορφή shapfile της κεντρικής Αθήνας, της περιοχής μελέτης.	Geogon (http://geodata.gov.gr/)
Εβδομαδιαία στοιχεία θανάτων ανά περιφερειακή ενότητα	Δεδομένα θανάτων ανά περιφερειακή ενότητα (NUTS3) για όλη την Ευρώπη σε εβδομαδιαίο βήμα, ανά ηλικιακή γκρουπ, 2014-2023, σε μορφή excel.	EUROSTAT
Ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα	Μετεωρολογικά ιστορικά στοιχεία για την Ελλάδα σε ωριαίο βήμα, με χαρακτηριστικά όπως θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμων, υγρασία κλπ, σε μορφή .csv.	OpenWeatherMap (https://openweathermap.org/)
Κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά Ελλάδας	Σύνολο από αρχεία excel για κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά ανά ελληνική περιφερειακή ενότητα, βάσει της απογραφής του 2011.	ELSTAT

Στην ενότητα Μεθοδολογία, περαιτέρω στοιχεία των δεδομένων περιγράφονται αναλυτικά όταν χρησιμοποιούνται.

Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία της ανάλυσης περιγράφεται συνοπτικά ως εξής:

Επεξεργασία δεδομένων: Τα δεδομένα, όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, μετασχηματίζονται σε ενιαίο σετ δεδομένων, και οι κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές ομαδοποιούνται σε κατηγορίες βάσει τη βιβλιογραφία.

Ανάλυση παραγόντων (factor analysis): Για τη καλύτερη κατανόηση των κοινωνικοοικονομικών δεδομένων και τον ευάλωτο πληθυσμό της περιοχής μελέτης, πραγματοποιείται ανάλυση παραγόντων. Τα δεδομένα χωρίζονται σε τρεις παράγοντες που χαρακτηρίζονται και αποτελούν τα προφίλ των ευάλωτων πολιτών της κεντρικής Αθήνας.

Αλγόριθμος κατηγοριοποίησης καυσώνων: Για να μπορέσει να ποσοτικοποιηθεί η σχέση μεταξύ ευάλωτων κοινωνικοοικονομικών ομάδων και τις συνέπειες της υπερβολικής ζέστης, αναπτύσσεται αλγόριθμος κατηγοριοποίησης καυσώνων, βάσει τις ανάγκες της περιοχής μελέτης και του δήμου, τις συστάσεις της Ελληνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY) και τη μεθοδολογία ταξινόμησης καυσώνων της Αμερικάνικης εθνικής μετεωρολογικής υπηρεσίας (NWS).

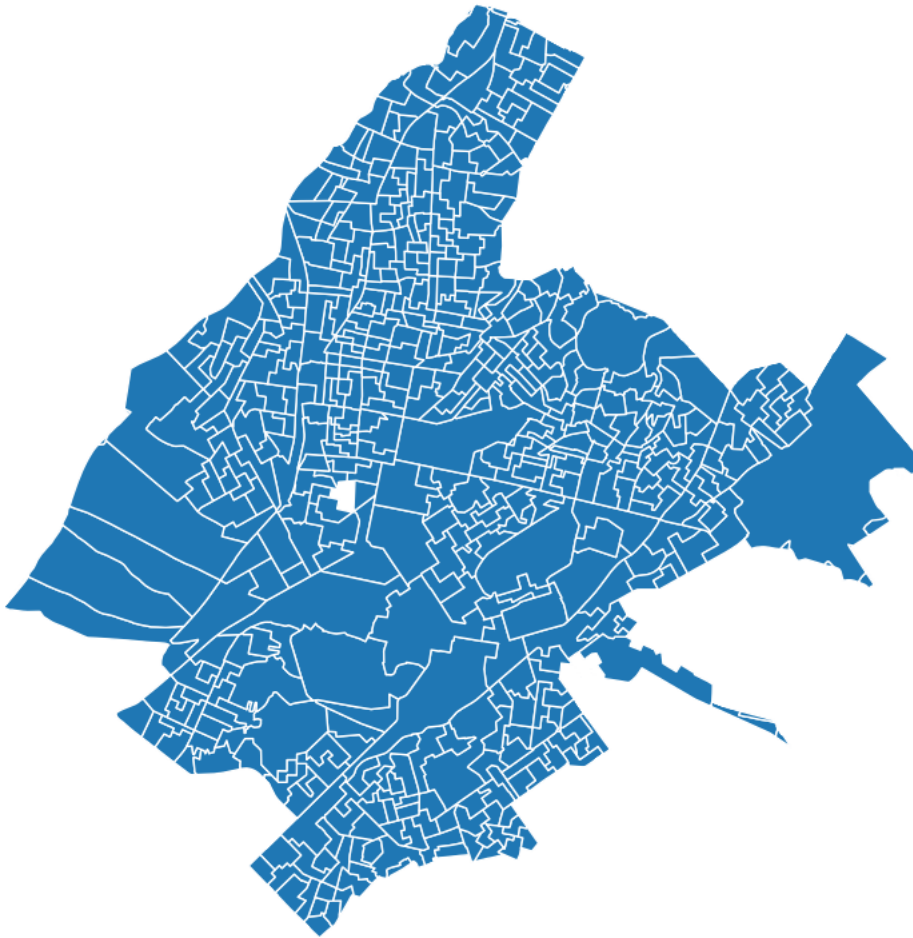
Ανάλυση θνησιμότητας σε συνθήκες υπερβολικής ζέστης: Παρουσιάζονται δύο μεθοδολογίες αξιολόγησης των επιπτώσεων των καυσώνων ανά κοινωνικοοικονομική μεταβλητή, βάσει τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Έπειτα αναπτύσσεται και σύνθετος δείκτης ποσοτικοποίησης της κοινωνικοοικονομικής ευαλωτότητας για την υπερβολική ζέστη και υπολογίζεται για όλο το εύρος της περιοχής μελέτης.

Στην ενότητα 'Μεθοδολογία' αναλύονται τα βήματα της έρευνας και στην ενότητα 'Αποτελέσματα και Συζήτηση' παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των ευρημάτων.

Επεξεργασία δεδομένων

Για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν και να αναλυθούν τα δεδομένα, τα οποία είναι 8 αρχεία excel και ένα αρχείο shapfile των γεωγραφικών δεδομένων των ταχυδρομικών κωδικών, είναι απαραίτητο να μετασχηματιστούν σε πίνακα ενιαίας μορφής, με ομαδοποιημένες μεταβλητές. Σκοπός είναι κάθε σειρά του πίνακα να αντιστοιχεί σε μία γεωγραφική περιοχή ταχυδρομικού κώδικα της κεντρικής Αθήνας και κάθε στήλη να αντιστοιχεί σε επιλεγμένη μεταβλητή, συμπεριλαμβανομένου της γεωγραφικής πληροφορίας ώστε τα δεδομένα να μπορούν να απεικονιστούν και στο χώρο.

Αρχικά, εξετάζονται τα αρχεία excel με τις κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές των περιοχών. Στο σύνολο τους πρόκειται για 92 μεταβλητές για όλο το νομό Αττικής, χωρισμένες σε 8 αρχεία βάσει της κατηγορίας της μεταβλητής, όπως αναλύθηκε στην ενότητα 'Δεδομένα'. Γίνεται ένωση των αρχείων βάσει του δεκαψήφιου ταχυδρομικού κώδικα της κάθε περιοχής σε έναν ενιαίο πίνακα και απομονώνονται οι ταχυδρομικοί κωδικοί που αντιστοιχούν στη κεντρική Αθήνα. Για την απομόνωση χρησιμοποιούνται τα γεωχωρικά δεδομένα της ελληνικής υπηρεσίας 'geogon' (<http://geodata.gov.gr/>). Συγκεκριμένα, το γεωγραφικό εύρος της κεντρικής Αθήνας αποκόπτεται από τα γεωγραφικά δεδομένα των ταχυδρομικών κωδικών, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1. Έτσι τελικά καταλήγει η περιοχή μελέτης με 581 δεκαψήφιες ταχυδρομικές περιοχές.



Σχήμα 1: Οι περιοχές της περίπτωσης μελέτης της κεντρικής Αθήνας

Στη συνέχεια ομαδοποιούνται οι μεταβλητές βάσει παρόμοιας μελέτης στη πολιτεία της Νέας Υόρκης (Nayak et al., 2018) απομονώνοντας μόνο μεταβλητές που αυξάνουν την ευαλωτότητα του πληθυσμού, δηλαδή χρησιμοποιούνται στη τελική ανάλυση μόνο 'αρνητικοί' δείκτες ως προς την ευαισθησία του πληθυσμού στους καύσωνες και στην υπερβολική ζέστη. Επίσης, υπολογίζεται και το γεωγραφικό εμβαδόν της κάθε περιοχής ώστε να χρησιμοποιηθεί και σα μεταβλητή η πληθυσμιακή πυκνότητα, δηλαδή οι άνθρωποι ανά τετραγωνικό μέτρο που κατοικούν σε κάθε περιοχή. Η τελική ομαδοποίηση των μεταβλητών με σύντομη περιγραφή των επιμέρους μεταβλητών που τις απαρτίζουν φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 2. Ο τελικός αριθμός των κοινωνικοοικονομικών μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στην ανάλυση είναι 13.

Πίνακας 2: Τελικές ομαδοποιημένες κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές

Ομαδοποιημένες μεταβλητές	Σύντομη περιγραφή
Σπίτια πριν το 1980	Άνθρωποι που ζούνε σε σπίτια και κατοικίες με έτος κατασκευής πριν το 1980.
Κοινόχρηστα και λοιπά σπίτια	Άνθρωποι που ζούνε σε μη κανονικές κατοικίες (δηλαδή δεν είναι ορισμένες ως νόμιμες κατοικίες) και κοινόχρηστες κατοικίες όπως πχ. ιδρύματα.
Ηλικιωμένοι	Όλοι οι ενήλικες με ηλικία 65 και άνω.
Μετανάστες από αναπτυσσόμενες χώρες	Μετανάστες από χώρες της ανατολικής Ευρώπης, Βόρειας Αφρικής, Μέσης Ανατολής, και λοιπές χώρες εκτός Ευρώπης και Αμερικής, εφόσον δεν έχουν διπλή ελληνική υπηκοότητα. Συμπεριλαμβάνονται μετανάστες χωρίς υπηκοότητα.
Μικρά σπίτια	Άνθρωποι που ζούνε σε σπίτια κάτω των 70 τετραγωνικών μέτρων.
Μόνοι	Άνθρωποι που ζούνε μόνοι σε σπίτια, δηλαδή χωρίς οικογένεια ή συγκατοίκους.
Δείκτης κοινωνικής απομόνωσης (social deprivation index)	Σύνθετος δείκτης κοινωνικής απομόνωσης από την ELSTAT για τη κάθε περιοχή στο σύνολο της.
Εισόδημα από σύνταξη	Άνθρωποι συνταξιούχοι
Μη κανονικό ή καθόλου εισόδημα	Άνθρωποι χωρίς εισόδημα ή ταξινομημένοι ως έχοντες μη κανονικού εισοδήματος ή εισόδημα από δάνεια.
Άνεργοι	Άνθρωποι χωρίς εργασία.
Ενοικιαστές	Άνθρωποι που νοικιάζουν, εδώ δεν περιλαμβάνονται άνθρωποι με μερική ιδιοκτησία ή με παροχή κατοικίας, ούτε άνθρωποι με άλλο καθεστώς.
Μη κανονικό καθεστώς κατοίκησης	Άνθρωποι που δεν υπόκεινται στη κατηγορία της ιδιοκατοίκησης, μερικής ιδιοκτησίας, ενοικίασης ή δωρεάν παροχή στέγης.
Πληθυσμιακή πυκνότητα	Αριθμός ατόμων που κατοικούν σε κάθε περιοχή ανά τετραγωνικό μέτρο.

Φυσικά στον τελικό πίνακα για ανάλυση συμπεριλαμβάνονται στήλες για τη γεωχωρική πληροφορία, για το δεκαψήφιο ταχυδρομικό κωδικό, για την ονομασία της κάθε περιοχής και για την αρίθμησή τους. Όλες οι μεταβλητές, πέραν της πληθυσμιακής πυκνότητας και του δείκτη κοινωνικής απομόνωσης αναλύονται σε ποσοστό του πληθυσμού της κάθε περιοχής ώστε να μην επηρεαστούν τα αποτελέσματα από το εύρος και το πληθυσμό της κάθε περιοχής, παρά μόνο από τη μεταβλητή της πληθυσμιακής πυκνότητας. Το τελικό σχήμα λοιπόν του πίνακα δεδομένων είναι 581 γραμμές και 17 στήλες.

Ανάλυση Παραγόντων (Factor Analysis)

Ακολουθώντας τη μεθοδολογία που διαγράφεται στη παρόμοια μελέτη για τη Νέα Υόρκη (Nayak et al., 2018), πραγματοποιείται 'ανάλυση παραγόντων', (factor analysis) για να ομαδοποιηθούν περαιτέρω οι μεταβλητές βάσει της συσχέτισης τους σε κάθε περιοχή. Σκοπός αυτού είναι να διαμορφωθούν ομάδες ευάλωτων κατοίκων και να σχηματιστεί καλύτερη εικόνα της ευαλωτότητας του πληθυσμού στη ζέστη και τις μεταβλητές που την επηρεάζουν.

Η ανάλυση παραγόντων είναι μια στατιστική τεχνική που χρησιμοποιείται για να εντοπίσει τις υποκείμενες σχέσεις μεταξύ μιας σειράς μεταβλητών. Με άλλα λόγια, είναι μια τεχνική που επιδιώκει να καθορίσει αν υπάρχουν κοινές μεταβλητές (γνωστές ως "παράγοντες") που μπορούν να εξηγήσουν τις παρατηρούμενες συσχετίσεις μεταξύ μεταβλητών. Με αυτόν τον τρόπο, η ανάλυση παραγόντων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει τον αριθμό των μεταβλητών σε ένα σετ δεδομένων, καθιστώντας το πιο διαχειρίσιμο, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί τις πληροφορίες που περιέχονται στις αρχικές μεταβλητές.

Το τελικό αποτέλεσμα της ανάλυσης παραγόντων είναι η εξαγωγή ορισμένων παραγόντων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν την δομή των δεδομένων και τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Συχνά, αυτοί οι παράγοντες έχουν μεγαλύτερο νόημα στο πλαίσιο της έρευνας και μπορούν να διευκολύνουν την κατανόηση των σχέσεων μεταξύ μεταβλητών, (Kim and Mueller, 1978).

Ωστόσο, επειδή η μεθοδολογία της ανάλυσης παραγόντων είναι στην ουσία μια γραμμική μεταμόρφωση των δεδομένων, είναι σημαντικό να γίνει κλιμάκωση και κανονικοποίηση των δεδομένων, ώστε να μην διαφέρουν οι τάξεις μεγέθους τους, πράγμα που θα επηρέαζε αρνητικά τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η μέθοδος της κανονικοποίησης με τυπική κλιμάκωση (standard scaling). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εξίσωση 1 και το αποτέλεσμα είναι όλες οι τιμές των δεδομένων να έχουν μέση τιμή 0 και διακύμανση 1.

$$X_{standard} = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Όπου:

- $X_{standard}$ είναι η τελική τιμή των δεδομένων, με μέση τιμή 0 και διακύμανση 1.

- X είναι η αρχική τιμή των δεδομένων.
- μ είναι η αρχική μέση τιμή των δεδομένων, ανά μεταβλητή.
- σ είναι η αρχική διακύμανση των δεδομένων, ανά μεταβλητή.

Κανονικά ίσως δεν θα χρειαζόταν να κανονικοποιηθούν τα δεδομένα, καθώς έχουν ήδη αναλυθεί σε ποσοστό του πληθυσμού, άρα έχουν εύρος από 0 έως 1 και άρα ίδια κλίμακα. Έτσι, θα μπορούσε να διατηρηθεί η σημασία της κάθε τιμής, σε αντίθεση με τώρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο συγκριτικά. Ωστόσο οι μεταβλητές του δείκτη κοινωνικής απομόνωσης και της πληθυσμιακής πυκνότητας βρίσκονται σε άλλη κλίμακα, και για αυτό το λόγο η κανονικοποίηση είναι απαραίτητη. Το θετικό όμως με τη μέθοδο του *standard scaling* είναι ότι η διαδικασία είναι αναστρέψιμη, λύνοντας την εξίσωση ξανά ως προς τη τελική τιμή, εφόσον διατηρηθούν οι αρχικές τιμές της μέσης τιμής και της διακύμανσης. Έτσι μπορούν τα δεδομένα να επανέλθουν στην αρχική τους μορφή, εφόσον χρειαστεί να επανεξεταστούν.

Προχωρώντας στη μεθοδολογία της ανάλυσης παραγόντων, αρχικά πραγματοποιούνται δύο έλεγχοι των δεδομένων, για να ελεγχθεί εάν τα δεδομένα είναι συμβατά με μία ανάλυση παραγόντων, και έπειτα έλεγχος των ιδιοτιμών (*eigenvalues*) των παραγόντων για μία ενδεικτική τιμή του βέλτιστου αριθμού των παραγόντων, δηλαδή των τελικών ομάδων των μεταβλητών. Τα δύο στατιστικά τεστ των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την επάρκεια τους είναι η δοκιμή *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO) (Hill, 2011) και η δοκιμή Σφαιρικότητας του *Bartlett* (Tobias and Carlson, 1969). **Δοκιμή Kaiser-Meyer-Olkin (KMO):** Η δοκιμή KMO αξιολογεί τον βαθμό ομογένειας των μεταβλητών, δηλαδή εάν αυτές μπορούν να περιληφθούν στην ανάλυση παραγόντων. Η δοκιμή KMO παράγει έναν δείκτη που κυμαίνεται ανάμεσα στο 0 και στο 1. Η ερμηνεία των τιμών είναι ως εξής:

- Τιμή KMO < 0,50: Η ανάλυση παραγόντων πιθανότατα δεν είναι κατάλληλη.
- $0,50 \leq$ Τιμή KMO < 0,70: Η ανάλυση παραγόντων μπορεί να είναι κατάλληλη, αλλά προτιμάται να είναι υψηλότερη.
- $0,70 \leq$ Τιμή KMO: Καλό και αποδεκτό επίπεδο για ανάλυση παραγόντων.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το αποτέλεσμα της δοκιμής ήταν **KMO = 0.788**, και άρα πολύ καλό και αποδεκτό επίπεδο για ανάλυση παραγόντων.

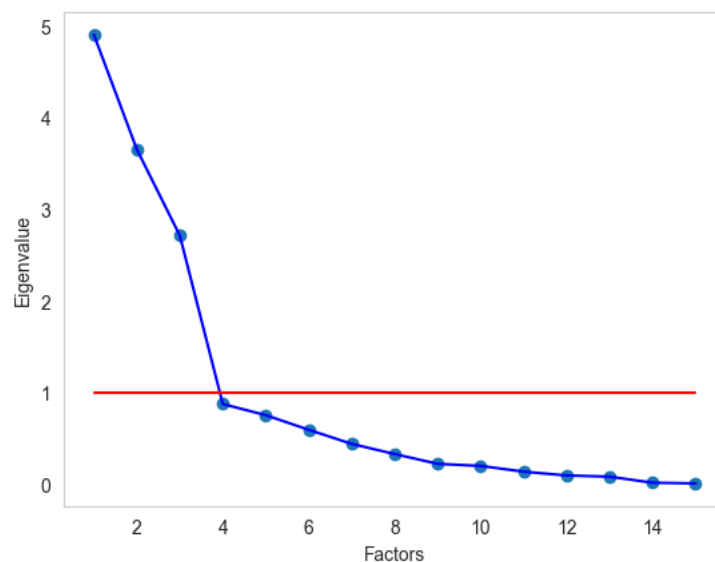
Δοκιμή Σφαιρικότητας του Bartlett: Η δοκιμή αυτή ελέγχει την υπόθεση ότι οι αρχικές μεταβλητές είναι ανεξάρτητες, δηλαδή η συνδιακύμανση είναι το μηδέν. Εάν η

δοκιμή είναι στατιστικά σημαντική, τότε οι μεταβλητές δεν είναι πλήρως ανεξάρτητες και μπορεί να προχωρήσουμε σε ανάλυση παραγόντων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το αποτέλεσμα της δοκιμής ήταν **Fscore = 10578,64** και συνεπώς στατιστικά σημαντική. Έτσι συνιστάται η χρήση ανάλυσης παραγόντων και πραγματοποιείται ο επόμενος έλεγχος για την εξακρίβωση του ενδεικτικού αριθμού παραγόντων, το κριτήριο του Kaiser (Kaiser Criterion) (Hill, 2011) και το διάγραμμα Scree (Scree plot), η αντίστοιχη σχηματική απεικόνιση.

Kaiser Criterion (Κριτήριο του Kaiser): Το Κριτήριο του Kaiser είναι μία από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές για την επιλογή του αριθμού των παραγόντων στην ανάλυση παραγόντων. Βασίζεται στην ιδέα ότι κάθε παράγοντας πρέπει να εξηγεί ένα μέρος της συνολικής διακύμανσης που είναι τουλάχιστον ίσο με τη διακύμανση μιας μεμονωμένης μεταβλητής. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι λαμβάνονται υπόψη μόνο οι παράγοντες με ιδιοτιμή μεγαλύτερη από 1.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι τιμές των 5 πρώτων ιδιοτιμών της ανάλυσης παραγόντων στα δεδομένα είναι: **[4.90720425, 3.65446436, 2.71296787, 0.87300609, 0.75151334]**, άρα οι παράγοντες με τιμή ≥ 1 είναι $n=3$.

Το αποτέλεσμα του κριτηρίου του Kaiser φαίνεται στο διάγραμμα Scree, στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Διάγραμμα Scree της ανάλυσης παραγόντων

Άρα ενδεικτικά επιλέγονται 3 παράγοντες για την ανάλυση. Φυσικά το κριτήριο Kaiser είναι ενδεικτικό, καθώς προτεραιότητα έχει η ικανότητα ερμηνείας των αποτελεσμάτων, που ιδιαίτερα στις κοινωνικές επιστήμες διαφέρει εξαιρετικά ανά περίπτωση μελέτης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η επιλογή 3 παραγόντων κρίνονται

βέλτιστη, και οι παράγοντες με τις μεταβλητές που τους απαρτίζουν και το βαθμό που εμπεριέχονται στον καθένα φαίνονται αναλυτικά στον Πίνακα 3 και στην ενότητα 'Αποτελέσματα'.

Πίνακας 3: Αποτέλεσμα ανάλυσης παραγόντων και οι συντελεστές των επιμέρους μεταβλητών που τα αποτελούν, έντονες οι σημαντικές μεταβλητές του κάθε παράγοντα (συντελεστή > |0,5|)

Μεταβλητή	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Σπίτια πριν το 1980	0,811	0,498	-0,042
Κοινόχρηστα και λοιπά σπίτια	0,024	-0,051	0,984
Ηλικιωμένοι	0,091	0,924	0,033
Μετανάστες από αναπτυσσόμενες χώρες	0,908	-0,222	0,062
Μικρά σπίτια	0,783	-0,053	-0,125
Μόνοι	0,341	0,693	0,078
Άνεργοι	0,652	-0,464	0,053
Συνταξιούχοι	-0,139	0,919	-0,011
Δείκτης κοινωνικής απομόνωσης (social deprivation index)	0,455	-0,254	-0,055
Μη κανονικό ή καθόλου εισόδημα	0,662	-0,094	0,075
Ενοικιαστές	0,893	0,112	-0,06
Μη κανονικό καθεστώς κατοίκησης	-0,115	0,136	0,822
Πληθυσμιακή πυκνότητα	0,466	-0,062	-0,024

Στη συνέχεια, αναλύονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης παραγόντων και η αποτελεσματικότητα της. Εξετάζεται το ποσοστό της διακύμανσης των αρχικών δεδομένων, δηλαδή των αρχικών 13 μεταβλητών, που περιλαμβάνεται και εξηγείται από τους 3 τελικούς παράγοντες. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Ποσοστιαία διακύμανση των αρχικών δεδομένων που εξηγείται από τους παράγοντες, επιμέρους και αθροιστικά

	Παράγοντας 1	Παράγοντας 2	Παράγοντας 3
Ποσοστιαία Διακύμανση	0,290541	0,240436	0,177382
Αθροιστική Ποσοστιαία Διακύμανση	0,290541	0,530977	0,708359

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, συνολικά οι 3 παράγοντες εξηγούν σχεδόν 71% της αρχικής πληροφορίας των δεδομένων, παρόλο που ο μαθηματικός χώρος των μεταβλητών μειώθηκε κατά 10 διαστάσεις. Άρα θεωρείται ότι, τουλάχιστον στατιστικά, η ανάλυση παραγόντων ήταν επιθυμητή και επιτυχής.

Αλγόριθμος κατηγοριοποίησης καυσώνων

Αφότου εντοπιστούν οι κοινωνικοοικονομικές ομάδες (Πίνακας 3) οι οποίες είναι ευάλωτες στην υπερβολική ζέστη, είναι απαραίτητο να ποσοτικοποιηθούν και να ταξινομηθούν οι καύσωνες και η έντασή τους. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Anderson et al., 2013), δεν αρκεί να βασιστεί κανείς αποκλειστικά στη μέγιστη θερμοκρασία, αλλά ούτε και να χρησιμοποιηθεί κατηγοριοποίηση άλλης χώρας αυτούσια, καθώς η θερμική αντοχή του πληθυσμού μιας χώρας είναι κάτι που διαφέρει γεωγραφικά και πολιτιστικά (Bao et al., 2015). Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε ως βάση τον αυστηρό ορισμό του καύσωνα της Ελληνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY) (Hellenic Weather Service, 2015), η οποία θέτει πως ο καύσωνας πρέπει να τηρεί τις 4 συνθήκες που παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5: Συνθήκες – προϋποθέσεις για καύσωνα, EMY

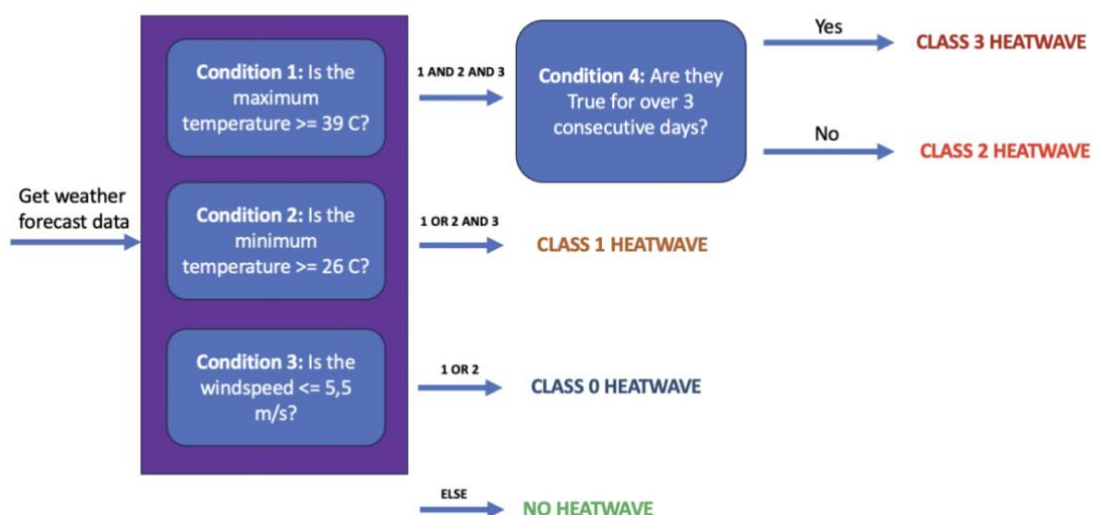
Συνθήκη 1	Μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία $t_{max} \geq 39$
Συνθήκη 2	Ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία $t_{min} \geq 26$
Συνθήκη 3	Άπνοια ή ασθενείς άνεμοι, δηλαδή $v_{wind} \leq 5,5 \text{ m/s}$
Συνθήκη 4	Οι συνθήκες 1 έως 3 ισχύουν για περισσότερο από 3 μέρες

Ωστόσο ο δήμος, σε νέα πρωτοβουλία για το μετριασμό και την αντιμετώπιση των καυσώνων, επιχειρεί να ταξινομήσει τους καύσωνες σε 4 διακριτές κατηγορίες, αντί για έναν αυστηρό δυαδικό ορισμό. Στο Σχήμα 3 φαίνεται η αρχική ποιοτική διάκριση των καυσώνων από το δήμο, από την ιστοσελίδα της πρωτοβουλίας #ΔροσερήΑθήνα.



Σχήμα 3: 4 Κατηγορίες καυσώνων του δήμου Αθηναίων μέσω της δράσης #ΔροσερήΑθήνα, από την ιστοσελίδα της δράσης, <https://www.accmr.gr/>

Παρόλο τον διαχωρισμό που φαίνεται στο Σχήμα 3, η ταξινόμηση των καυσώνων αυτή τη στιγμή είναι καθαρά ποιοτική, και δεν έχει δημιουργηθεί ακόμη σύστημα ποσοτικής αξιολόγησης και διαχωρισμού των καυσώνων. Για τον λόγο αυτό, αναπτύσσεται αλγόριθμος ταξινόμησης καυσώνων για τα ελληνικά δεδομένα, βάσει των συνθηκών της ΕΜΥ και τη μεθοδολογία κατηγοριοποίησης υπερβολικής ζέστης του Heat Index της Αμερικάνικης εθνικής μετεωρολογικής υπηρεσίας (NWS) (Rothfus, 1990). Ο τελικός αλγόριθμος ταξινόμησης υπερβολικής ζέστης φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4: Αλγόριθμος ταξινόμησης υπερβολικής ζέστης σε 4 κατηγορίες, βάσει τον ορισμό της ΕΜΥ.

Ανάλυση θνησιμότητας σε συνθήκες υπερβολικής ζέστης

Στη συνέχεια, πρέπει να ποσοτικοποιηθεί η σύνδεση των κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών και συνεπώς των παραγόντων – προφίλ ευαλωτότητας (Πίνακας 3) με την υπερβολική ζέστη. Δυστυχώς σημειώνεται έλλειψη αναλυτικών δεδομένων για της συνέπειες των καυσώνων στην Ελλάδα. Για τον λόγο αυτόν, χρησιμοποιούνται τα αναλυτικά εβδομαδιαία δεδομένα θνησιμότητας ανά ηλικιακό γκρουπ της EUROSTAT για τις χρονιές 2014-2023. Τα δεδομένα αυτά είναι σε ανάλυση περιφερειακής ενότητας (NUTS3) για όλη την Ευρώπη και επιλέγονται για χρήση οι 52 ελληνικές περιφερειακές ενότητες.

Ωστόσο, αρχικά αξιοποιείται η ηλικιακή διάκριση των δεδομένων για να αναλυθεί εκτενώς η επίδραση της μεταβλητής της ηλικίας στην ευαλωτότητα του πληθυσμού της κεντρικής Αθήνας. Επιλέγεται η χρονοσειρά θανάτων για τη κεντρική Αθήνα και παράλληλα χρησιμοποιείται η ωριαία χρονοσειρά μετεωρολογικών στοιχείων της περιοχής μελέτης. Η ωριαία χρονοσειρά αθροίζεται σε ημερήσια, διατηρώντας τα στοιχεία της μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας καθώς και τη μέση ταχύτητα ανέμων. Έπειτα, τα εβδομαδιαία στοιχεία θανάτων αναλύονται σε ημερήσια, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής (linear interpolation) (Lepot et al., 2017).

Η γραμμική παρεμβολή είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό νέων τιμών μεταξύ δύο γνωστών τιμών. Όταν θέλουμε να αλλάξουμε το χρονικό βήμα μιας χρονοσειράς από εβδομαδιαίο σε ημερήσιο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη γραμμική παρεμβολή για να υπολογίσουμε τις τιμές για τις ενδιάμεσες ημέρες. Οι γνωστές τιμές ενώνονται με ευθείες και οι τιμές για μια ενδιάμεση ημέρα υπολογίζονται βάσει της αναλογίας της χρονικής διαφοράς μεταξύ δύο γνωστών τιμών.

Στη συνέχεια η χρονοσειρά των θανάτων ομαδοποιείται όπως και στην ανάλυση παραγόντων, δηλαδή σε νέους (κάτω των 65) και ηλικιωμένους (65+). Έπειτα οι δύο χρονοσειρές, των θανάτων και των θερμοκρασιών, ενώνονται σε μία ενιαία χρονοσειρά, και αφαιρούνται όλα τα δεδομένα μετά το 2021, για να αφαιρεθεί από την ανάλυση η επιρροή της πανδημίας Covid-19.

Για τη ποσοτικοποίηση της ευαλωτότητας των ηλικιωμένων σε σχέση με τους νέους στην υπερβολική ζέστη, χρησιμοποιείται η τεχνική της τμηματικής παλινδρόμησης (piece wise regression) (McZgee and Carleton, 1970). Η τμηματική παλινδρόμηση (piece wise regression) είναι μια μέθοδος στην οποία η ανεξάρτητη μεταβλητή

χωρίζεται σε τμήματα με βάση τις τιμές της. Για κάθε τμήμα, εφαρμόζεται μια διαφορετική παλινδρόμηση. Η μέθοδος αυτή είναι χρήσιμη όταν η σχέση μεταξύ των μεταβλητών δεν είναι γραμμική σε ολόκληρο το εύρος των δεδομένων, αλλά παρουσιάζει γραμμικότητα εντός των διακριτών τμημάτων. Τα σημεία στα οποία η παλινδρόμηση αλλάζει λέγονται "σημεία κατακοπής" ή "breakpoints". Βάσει των σημείων αυτών και η διαφορά τους στις δύο χρονοσειρές, των νέων και των ηλικιωμένων, υπολογίζεται και ποσοτικοποιείται η ευαλωτότητα των ηλικιωμένων και αξιολογείται σε βαθμούς Κελσίου, συγκρίνοντας τις θερμοκρασίες στα σημεία κατακοπής των νέων και ηλικιωμένων όπου ο ρυθμός θανάτων αυξάνονται ραγδαία. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται στην ενότητα 'Αποτελέσματα και Συζήτηση', ενώ τα στατιστικά αποτελέσματα των δύο παλινδρομήσεων παρουσιάζονται στους Πίνακες Α και Β του Παραρτήματος.

Δυστυχώς, δεν υπάρχουν δεδομένα που να διακρίνουν τη θνησιμότητα σε κάθε μεταβλητή της ανάλυσης παραγόντων (πχ. θανάτους ανά χώρα προέλευσης μεταναστών) άρα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ίδια μεθοδολογία για το πλήθος των κοινωνικοοικονομικών δεδομένων. Για τον λόγο αυτό επιλέγεται διαφορετική τακτική για τη ποσοτικοποίηση της επίδρασης της ζέστης ανά χαρακτηριστικό ευαλωτότητας. Αρχικά, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος ταξινόμησης καυσώνων στα μετεωρολογικά δεδομένα για τον εντοπισμό των ημερών καυσώνων και διατηρούνται μόνο τα δεδομένα τα οποία χαρακτηρίζονται ως τουλάχιστον καύσιμα επίπεδου 1. Τελικά κατηγοριοποιούνται 42 ημέρες με βαθμό 1 και πάνω. Έπειτα, οι 42 αυτές ημέρες χρησιμοποιούνται σαν φίλτρο στη χρονοσειρά των θανάτων και υπολογίζεται ο μέσος όρος ανά περιφερειακή ενότητα. Τέλος ο αριθμός αυτός διαιρείται με τον πληθυσμό της κάθε περιφερειακής ενότητας και πολλαπλασιάζεται με 100.000 για να υπολογιστεί τελικά ο μέσος ημερήσιος αριθμός θανάτων σε συνθήκες καύσιμα ανά 100.000 κατοίκους ανά περιφερειακή ενότητα.

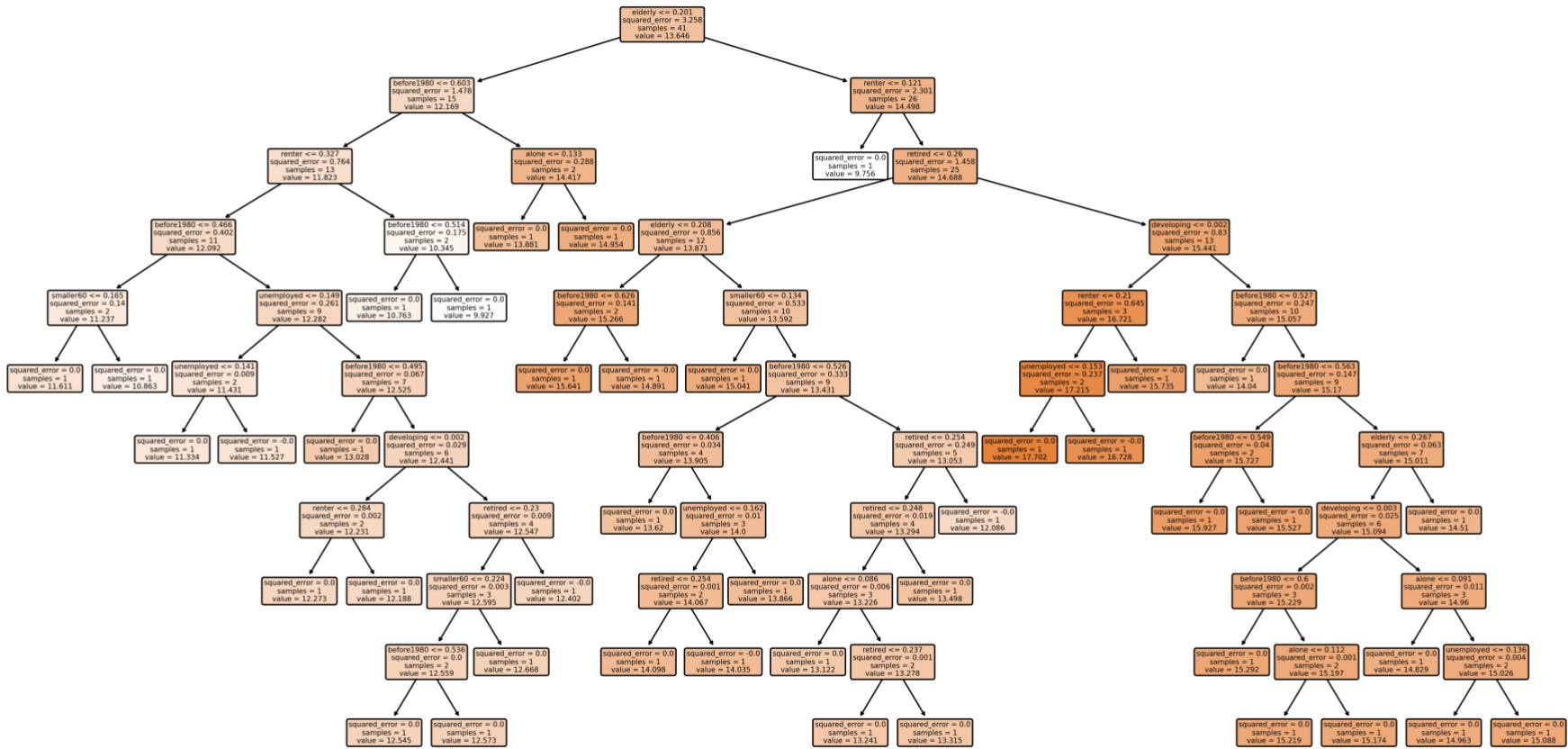
Η μεταβλητή αυτή μετά χρησιμοποιείται σαν εξαρτημένη μεταβλητή σε μοντέλο μηχανικής εκμάθησης (machine learning model) της οικογενείας μοντέλων παλινδρόμησης δέντρων αποφάσεων (decision tree regression models) (Xu et al., 2005). Τα μοντέλα παλινδρόμησης δέντρου αποφάσεων είναι εργαλεία πρόβλεψης που χρησιμοποιούν δέντρα αποφάσεων για να προβλέπουν συνεχείς τιμές αντί για κατηγορικές ετικέτες. Σε αντίθεση με τα κλασικά δέντρα αποφάσεων, που διακρίνουν τα δεδομένα σε κατηγορίες, τα μοντέλα παλινδρόμησης χωρίζουν τον χώρο των δεδομένων με τρόπο που ελαχιστοποιεί το σφάλμα πρόβλεψης για μια συνεχή τιμή.

Σε κάθε κόμβο του δέντρου, το μοντέλο αποφασίζει ποια χαρακτηριστικά να χρησιμοποιήσει για να χωρίσει τα δεδομένα, βάσει της ελαχιστοποίησης του σφάλματος. Ο τελικός στόχος είναι το δέντρο να καταλήγει σε προβλέψεις που είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά στις πραγματικές τιμές των δεδομένων.

Αυτά τα μοντέλα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των χαρακτηριστικών και της συνεχούς εξαρτημένης μεταβλητής, καθώς παρέχουν μια γραφική απεικόνιση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων, καθώς και το ποσοστό συμβολής της κάθε μεταβλητής για τη λειτουργία του μοντέλου.

Τα μοντέλα είναι ιδιαίτερα δημοφιλή γιατί είναι ταυτόχρονα ισχυρά μοντέλα, ιδίως όταν χρησιμοποιούνται πολλαπλά δέντρα αποφάσεων ταυτόχρονα (ensemble decision tree model), και τα αποτελέσματά τους μπορούν εύκολα να εξηγηθούν. Για τον λόγο αυτό, επιλέγεται αρχικά ένα απλό μοντέλο παλινδρόμησης δέντρο αποφάσεων για την εύκολη απεικόνιση της διαδικασίας και έπειτα ένα ensemble μοντέλο ονομαζόμενο CatBoost ή categorical boosting μοντέλο-δέντρο αποφάσεων (Hancock and Khoshgoftaar, 2020) για να εκπαιδευτεί το καλύτερο δυνατό μοντέλο για να αντληθεί η πληροφορία του ποσοστού συμβολής των ανεξάρτητων κοινωνικοοικονομικών μεταβλητών στη πρόβλεψη της εξαρτημένης, ή αλλιώς τιμή ποσοστού συμβολής ή feature importance.

Το απλό μοντέλο φαίνεται στο Σχήμα 5, σαν παράδειγμα της διαδικασίας του μοντέλου. Τα αποτελέσματα του τελικού μοντέλου παρουσιάζεται στην ενότητα 'Αποτελέσματα και Συζήτηση'. Σημειώνεται ότι το μοντέλο αξιολογείται βάσει τη τιμή R^2 , όπου για το συγκεκριμένο μοντέλο ισχύει $R^2 = 0,61$. Το μοντέλο αξιολογείται εκπαιδεύοντας το μια τυχαία επιλογή 80% των δεδομένων (41 νομοί) και εξετάζοντας την ακρίβεια των προβλέψεων του μοντέλου στο υπόλοιπο 20% (11 νομοί).



Σχήμα 5: Απλό μοντέλο παλινδρόμησης - δέντρο αποφάσεων

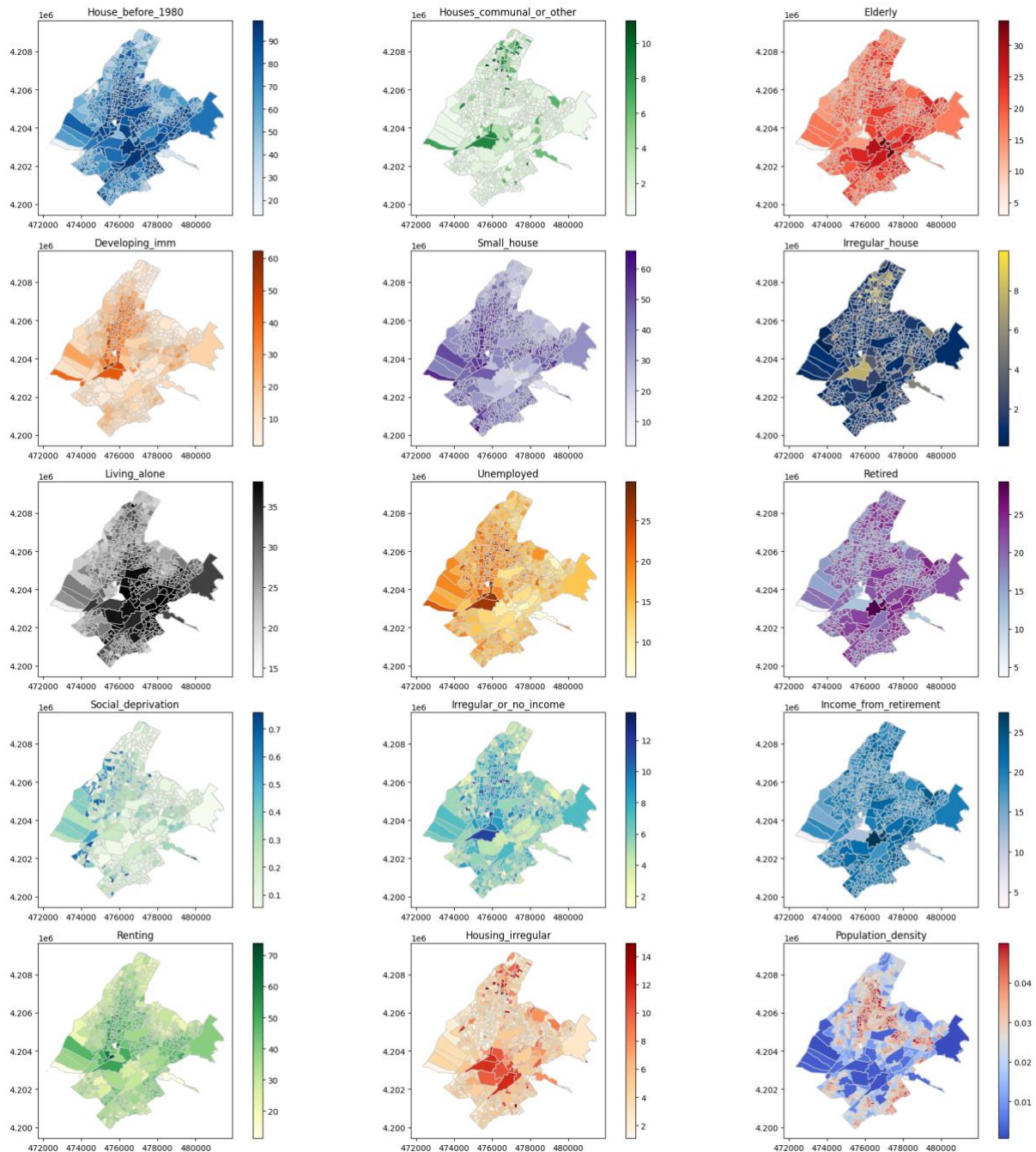
Τέλος το ποσοστό συμβολής (feature importance) του κάθε κοινωνικοοικονομικού χαρακτηριστικού βάσει του μοντέλου χρησιμοποιούνται ως συντελεστές σε σταθμισμένο μέσο όρο για τον υπολογισμό του τελικού συντελεστή κοινωνικοοικονομικής ευαλωτότητας στην υπερβολική ζέστη, όπως παρουσιάζεται στην Εξίσωση 2.

$$SHVI\% = \sum_{n=8} y_i * x_i \quad (2)$$

Όπου x_i το ποσοστό του πληθυσμού σε κάθε περιοχή με το χαρακτηριστικό i , y_i το ποσοστό συμβολής (feature importance) του χαρακτηριστικού i για το μοντέλο και SHVI% ο σύνθετος δείκτης κοινωνικοοικονομικής ευαλωτότητας της περιοχής στην υπερβολική ζέστη (Socioeconomic Heat Vulnerability Index), σε ποσοστό. Σημειώνεται ότι οι συντελεστές – ποσοστά συμβολής των μεταβλητών του μοντέλου αθροίζουν στη μονάδα, επιτρέποντας την ερμηνεία του δείκτη SHVI ως ποσοστιαία κοινωνικοοικονομική ευαλωτότητα της περιοχής συνολικά.

Αποτελέσματα και Συζήτηση

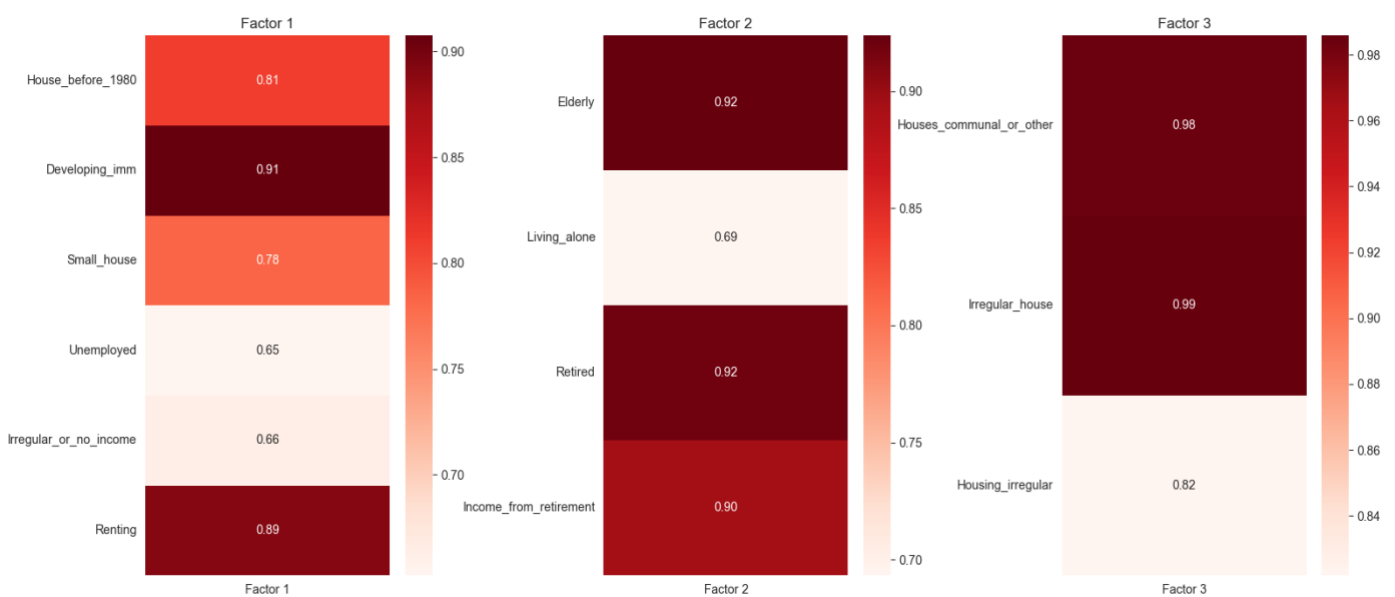
Αρχικά στο Σχήμα 6 παρουσιάζονται τα ομαδοποιημένα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης στον χώρο.



Σχήμα 6: Ομαδοποιημένα χαρακτηριστικά ευαλωτότητας στη κεντρική Αθήνα

Προκαταρκτικά, φαίνεται συγκέντρωση από κάποια χαρακτηριστικά στο κέντρο, συγκεκριμένα στα χαρακτηριστικά μη κανονικής στέγης, ανεργίας, και μη κανονικού εισοδήματος. Ονομαστικά, φαίνεται συγκέντρωση γύρω στις περιοχές του Μεταξουργείου και της πλατείας Ομόνοιας.

Για την καλύτερη κατανόηση των κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών, πραγματοποιείται περαιτέρω ομαδοποίηση με ανάλυση παραγόντων, όπως παρουσιάζεται αναλυτικά στην ενότητα 'Μεθοδολογία'. Τα σημαντικά χαρακτηριστικά που απαρτίζουν τους 3 παράγοντες μαζί με τον αντίστοιχο συντελεστή τους φαίνεται στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7: Οι 3 παράγοντες και τα σημαντικά χαρακτηριστικά (συντελεστής > 0.5) που τα απαρτίζουν

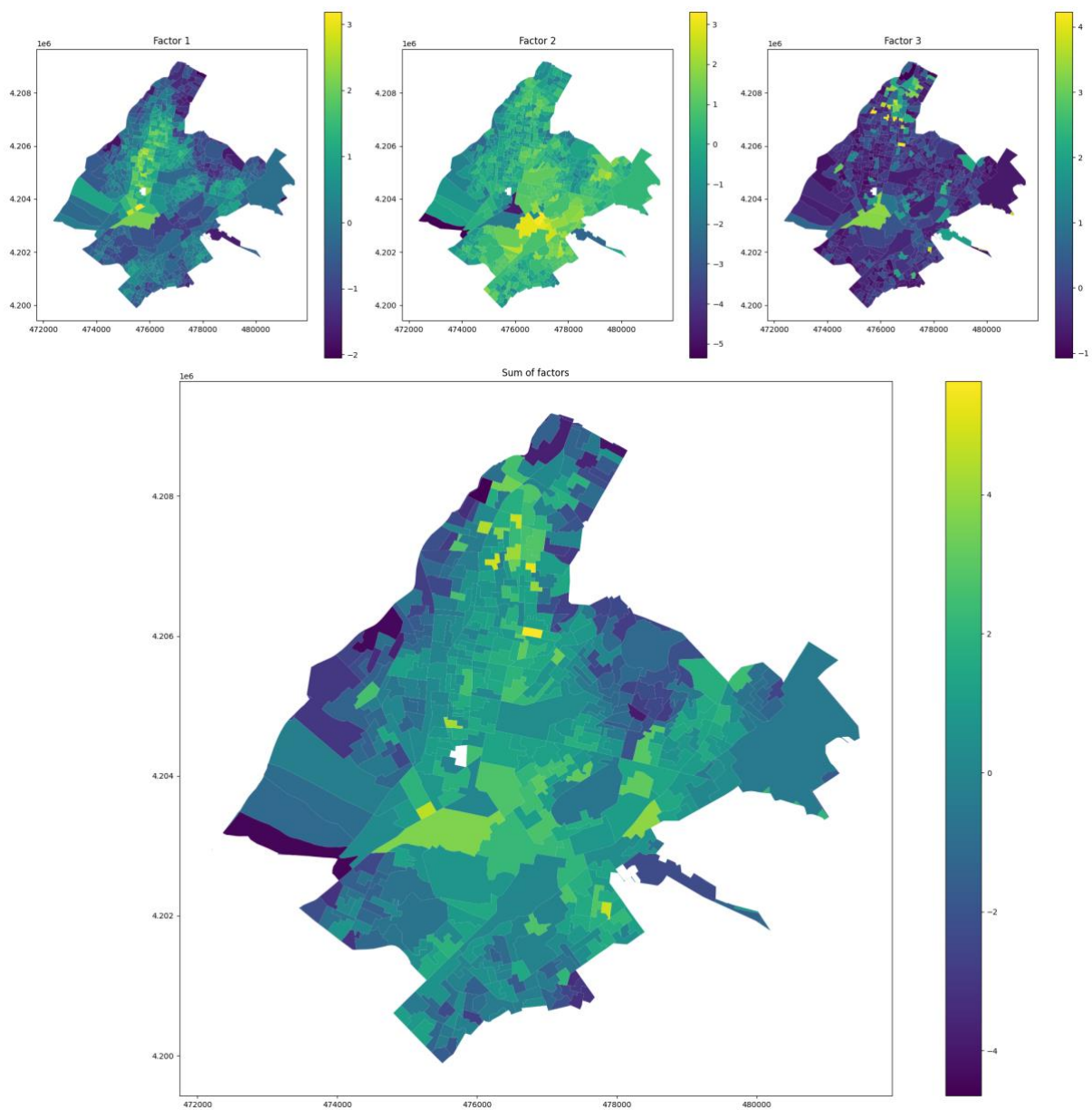
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7, η ομαδοποίηση της ανάλυσης παραγόντων είναι ερμηνεύσιμη και σχηματίζει 3 προφίλ πολιτών ευάλωτοι στην υπερβολική ζέστη. Ο πρώτος παράγοντας αποτελείται από μετανάστες από αναπτυσσόμενες χώρες, που κατοικούν σε μικρά, παλιά σπίτια, νοικιάζουν και είναι είτε άνεργοι είτε με μη κανονικό εισόδημα. Η πρώτη λοιπόν ευάλωτη ομάδα είναι οι φτωχοί μετανάστες.

Ο δεύτερος παράγοντας αποτελείται από συνταξιούχους ηλικιωμένους που μένουν μόνοι και βασίζονται οικονομικά στη σύνταξή τους. Η δεύτερη ευάλωτη ομάδα χαρακτηρίζεται ως μοναχικοί ηλικιωμένοι.

Ο τρίτος και τελευταίος παράγοντας αποτελείται από τον πληθυσμό που μένει σε συλλογικά και μη κανονικά κτήρια. Αποτελείται λοιπόν από ανθρώπους χωρίς

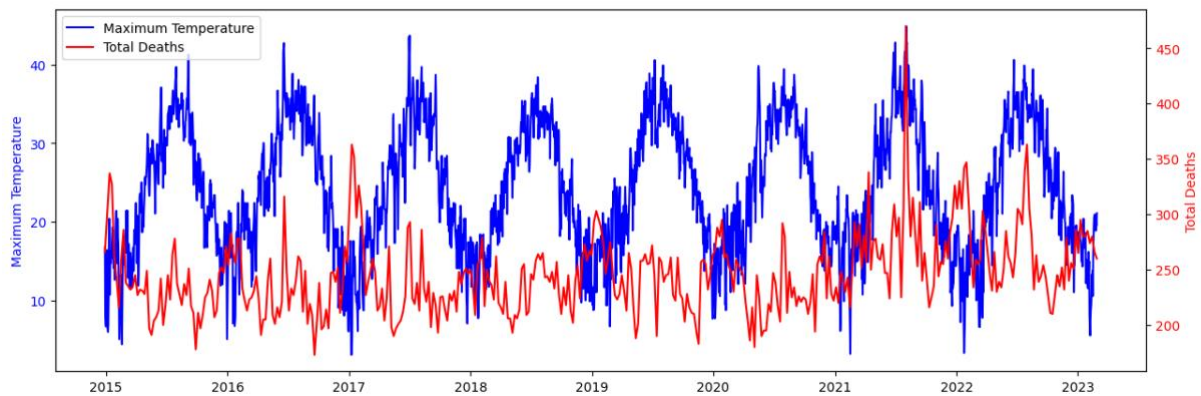
κατοικία, ανθρώπους που μένουν μόνιμα σε ιδρύματα και ανθρώπους σε κατοικίες που δεν ορίζονται νομικά ως κατάλληλη στέγη. Η τρίτη κατηγορία απαρτίζεται λοιπόν από περιθωριοποιημένους και άστεγους ανθρώπους.

Οι παράγοντες παρουσιάζονται σε σειρά, βάσει της ποσοστιαίας διακύμανσης που εξηγούν, όπως παρουσιάζεται στην ενότητα 'Μεθοδολογία'. Στο Σχήμα 8, παρουσιάζεται η κατανομή των τριών παραγόντων στη περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τη τιμή της κάθε περιοχής μετά τη γραμμική μεταμόρφωση των δεδομένων βάσει των παραγόντων.



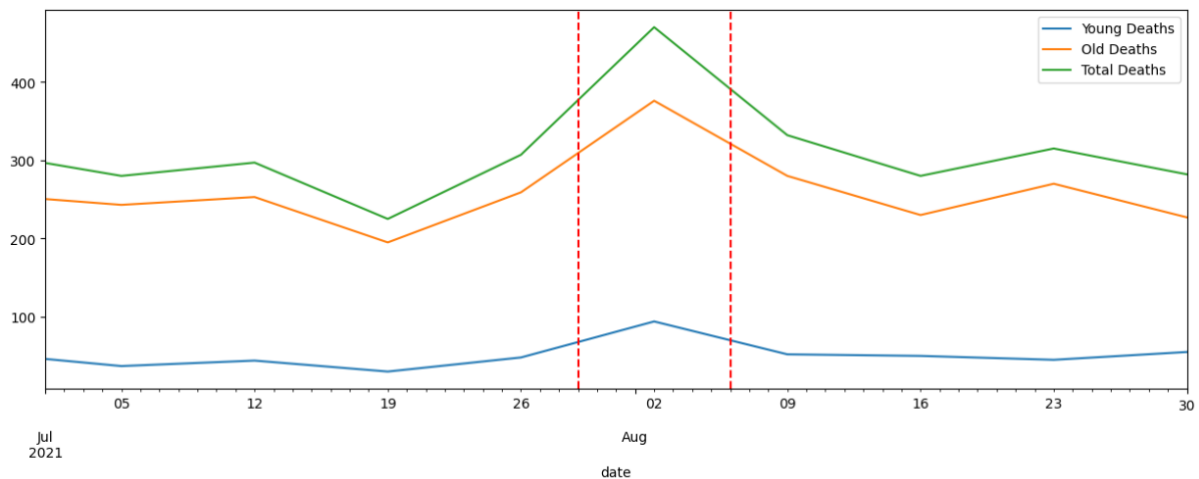
Σχήμα 8: Κατανομή των παραγόντων στο χώρο μαζί με το χαρακτηρισμό κάθε περιοχής βάσει του αθροίσματος των τριών παραγόντων

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 8, ο πρώτος παράγοντας είναι συγκεντρωμένος στο κέντρο της περιοχής μελέτης, σε περιοχές όπως το Μεταξουργείο, τη πλατεία Ομόνοιας, τον Άγιο Παντελεήμονα και την πλατεία Αμερικής ενώ οι γειτονιές πιο μακριά από το κέντρο έχουν ολοένα και μικρότερη τιμή στον παράγοντα. Ο δεύτερος παράγοντας των μοναχικών ηλικιωμένων είναι κυρίως συγκεντρωμένος στη Ζωγράφου, με χαμηλότερα ποσοστά στα δυτικά και μακριά από το κέντρο. Ο τρίτος παράγοντας των περιθωριοποιημένων ανθρώπων είναι διάσπαρτος σε γειτονιές στη βόρεια κεντρική Αθήνα, με τις υπόλοιπες γειτονιές να έχουν ιδιαίτερα χαμηλό ποσοστό. Μια αναζήτηση στο χάρτη δείχνει πολύ υψηλή τιμή του 3^{ου} παράγοντα σε ιδρύματα και γηροκομεία. Στη συνέχεια, αναλύονται τα δεδομένα θνησιμότητας και τα μετεωρολογικά δεδομένα, όπως φαίνονται στο Σχήμα 9 για την κεντρική Αθήνα.



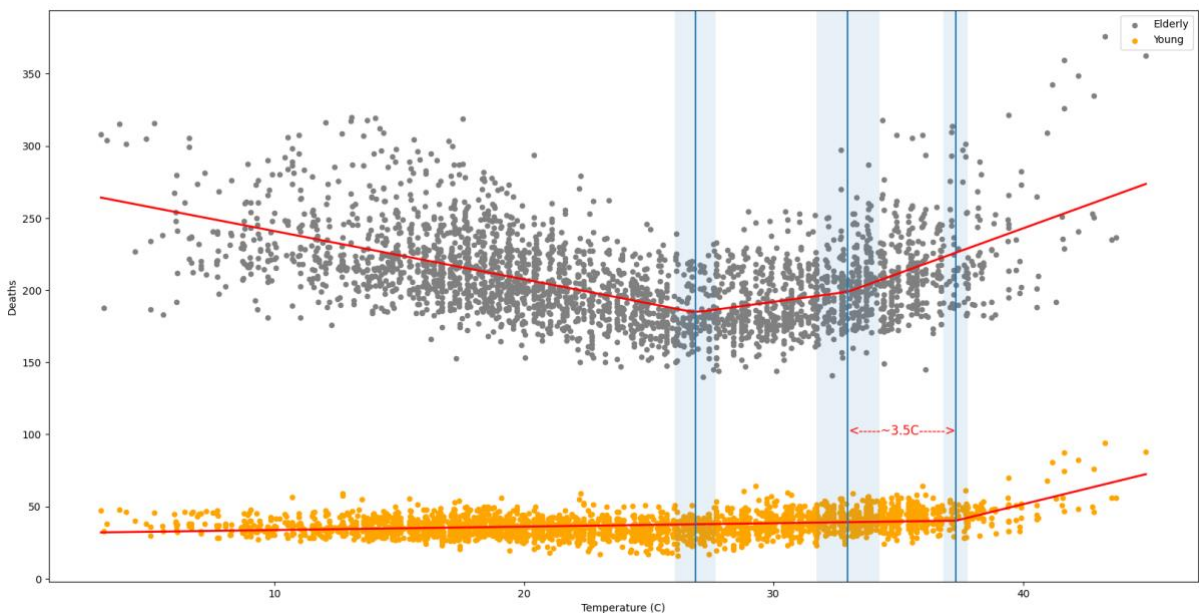
Σχήμα 9: Διάγραμμα χρονοσειρών συνολικών θανάτων και μέγιστης θερμοκρασίας για την κεντρική Αθήνα για τις χρονιές 2014-2023

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 9, η θάνατοι δεν συμβαδίζουν απαραίτητα με τις υψηλές θερμοκρασίες, παρά μόνο τον Αύγουστο του 2021. Ωστόσο, περαιτέρω ανάλυση δείχνει ότι ο μοναδικός καύσωνας που πληροί τις προϋποθέσεις για κατηγορία 4 καύσωνα, σύμφωνα με τον αλγόριθμο που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4 της ενότητας 'Μεθοδολογία', είναι ακριβώς ο καύσωνας μεταξύ των ημερών 29-7-2021 και 6-8-2021. Όλες οι άλλες μέρες υψηλών θερμοκρασιών πληρούν προϋποθέσεις καυσώνων βαθμού 1 έως 3. Σημειώνεται εδώ λοιπόν η αξία να εξετάζει κανείς και άλλες μεταβλητές στην ανάλυση των συνεπειών της υπερβολικής ζέστης, όπως ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία και ταχύτητα ανέμων. Στο Σχήμα 10, εστιάζεται το διάγραμμα στις ημέρες του καύσωνα, με διαχωρισμό στα ηλικιακά γκρουπ των νέων και των ηλικιωμένων.



Σχήμα 10: Κατηγορία 4 καύσωνας του Αυγούστου 2021 και οι ημερήσιοι θάνατοι, διαχωρισμένοι ηλικιακά

Στο Σχήμα 10, φαίνεται αισθητά η αύξηση των θανάτων κατά τη διάρκεια του καύσωνα, με ιδιαίτερη διαφορά μεταξύ των ηλικιών. Για την ανάλυση των διαφορών μεταξύ ηλικιών και τη ποσοτικοποίηση της επίδρασης της υπερβολικής ζέστης στον άξονα της ηλικίας, πραγματοποιείται τμηματική παλινδρόμηση, όπως αναλύεται στην ενότητα 'Μεθοδολογία'. Στο Σχήμα 11 φαίνονται τα αποτελέσματα του μοντέλου, μαζί με τις διαφορές στα τμήματα των δύο ηλικιακών γκρουπ.



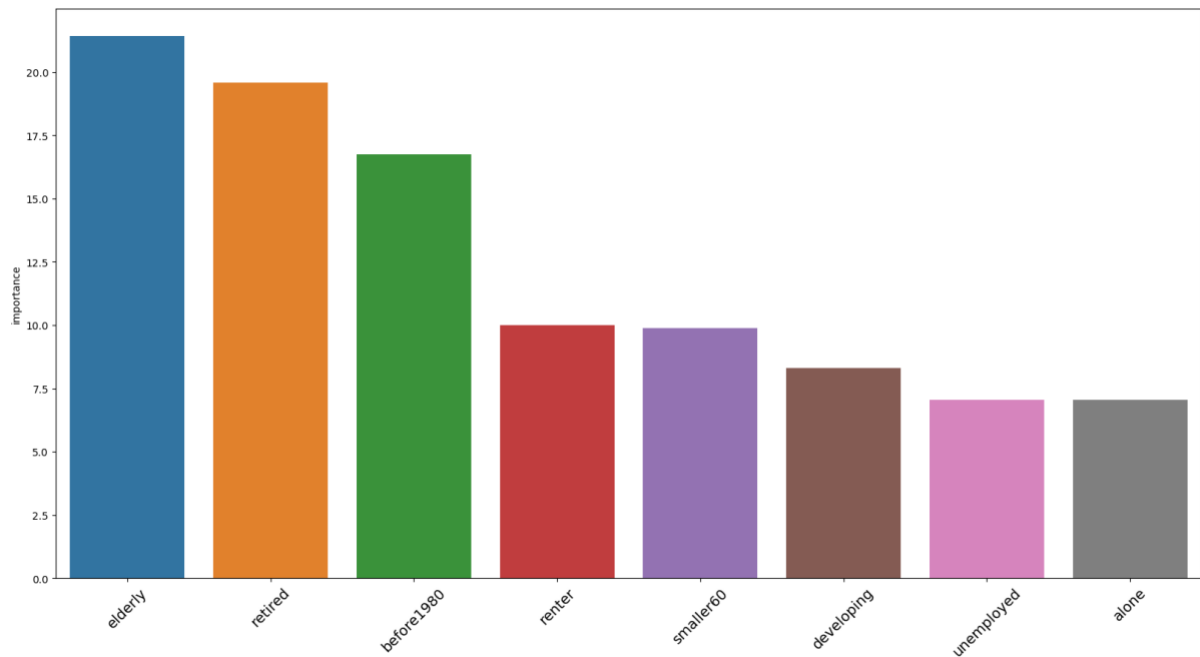
Σχήμα 11: Γράφημα τμηματικής παλινδρόμησης θανάτων βάσει της θερμοκρασίας ανά ηλικιακό γρουπ. Σημείο κατακοπής 1: 26,86 C, σημείο κατακοπής 2: 32,98 C, σημείο κατακοπής 3: 37,3 C

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 11, ο ρυθμός των ημερήσιων θανάτων αυξάνεται σε μικρότερη θερμοκρασία για τους ηλικιωμένους συγκριτικά με τους νέους, με διαφορά περίπου 3,5 βαθμούς Κελσίου. Φυσικά παρατηρείται ότι η μέγιστη θερμοκρασία δεν εξηγεί σε ικανοποιητικό βαθμό τους ημερήσιους θανάτους, το οποίο φαίνεται από την μεγάλη διακύμανση της τιμής γύρω από την ευθεία. Παρόλα αυτά αποτελεί καλή ποσοτική διασύνδεση της ηλικίας με τη θερμοκρασία, καθώς συμπεραίνεται ότι οι ηλικιωμένοι είναι κατά 3,5 βαθμούς πιο ευάλωτοι από τους νέους σε υπερβολική ζέστη.

Όπως όμως αναφέρεται και στην ενότητα 'Μεθοδολογία', δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα θανάτων διαχωρισμένα ανά κάθε κατηγορία κοινωνικοοικονομικής ευαλωτότητας. Για τον λόγο αυτό, εκπαιδεύεται μοντέλο δέντρο αποφάσεων CatBoost, αξιολογείται και αποσπάται το ποσοστό που η κάθε μεταβλητή επιτρέπει το μοντέλο να διαχωρίσει τα δεδομένα θνησιμότητας στις προβλεπόμενες τιμές τους. Οι τιμές των ποσοστών αυτών (feature importance) ονομάζονται εδώ ποσοστά συμβολής του μοντέλου. Τα ποσοστά συμβολής φαίνονται στο Σχήμα 12 και στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Τα ποσοστά συμβολής της κάθε μεταβλητής στη λειτουργία του μοντέλου (feature importance, %)

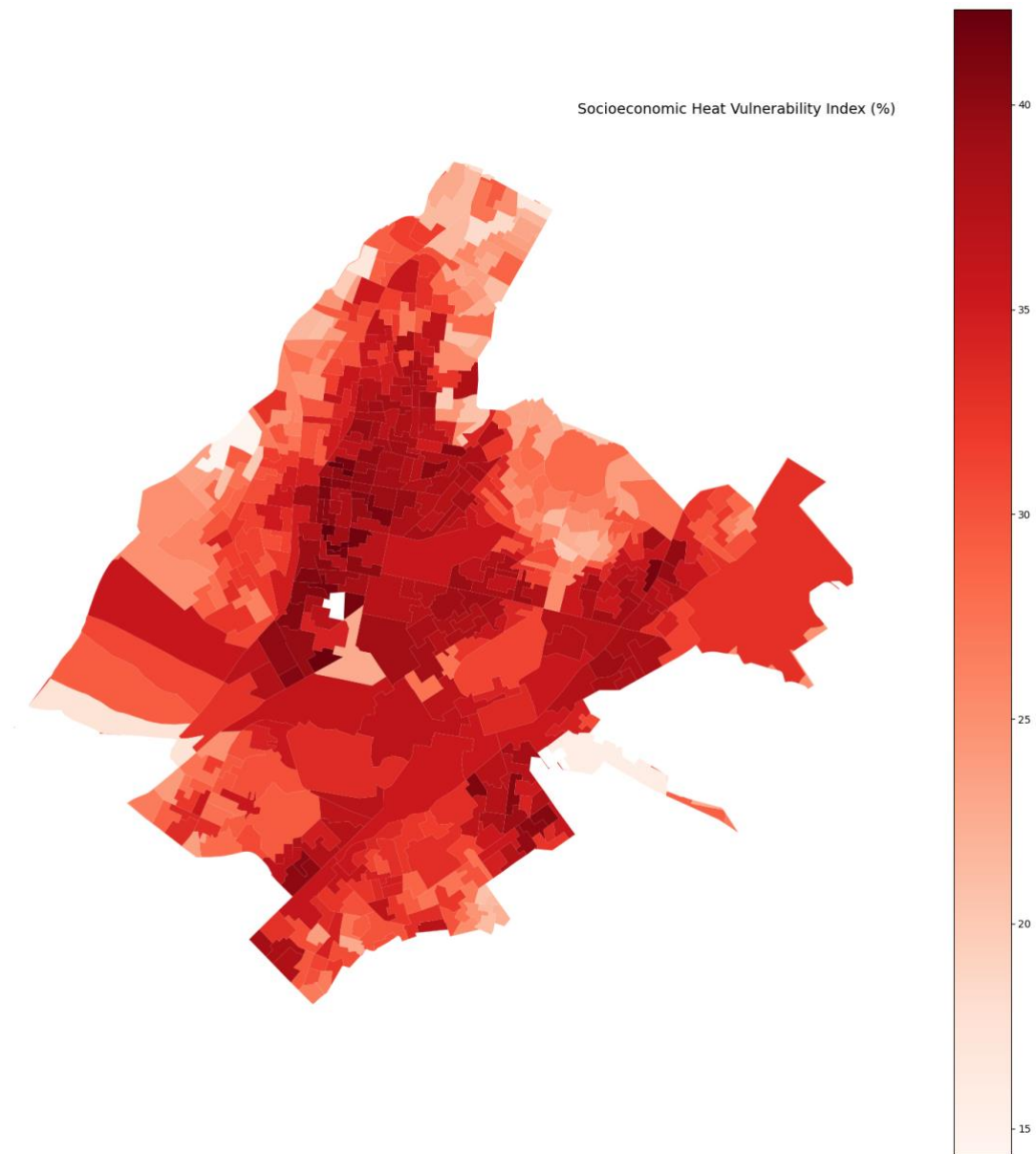
Ηλικιωμένοι	21,426
Συνταξιούχοι	19,58
Σπίτια πριν το 1980	16,74
Ενοικιαστές	10
Σπίτια μικρότερα από 60 τμ	9,87
Μετανάστες	8,29
Άνεργοι	7,05
Μόνοι	7,04



Σχήμα 12: Διάγραμμα μπαρών με το ποσοστό συμβολής της κάθε μεταβλητής στη λειτουργία του μοντέλου

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα του Σχήματος 12 και στον Πίνακα 6, οι πιο σημαντικές μεταβλητές και άρα οι μεταβλητές που προσδίδουν τη μεγαλύτερη ευαλωτότητα σύμφωνα με το μοντέλο είναι η ηλικία (21,4%) και το ποσοστό του πληθυσμού ως συνταξιούχοι (19,6%). Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς η εξαρτημένη μεταβλητή του μοντέλου είναι η θνησιμότητα. Ωστόσο, ενδιαφέρον είναι η επόμενη μεταβλητή, η ηλικία της κατοικίας, καθώς και το ποσοστό συμβολής της, το οποίο είναι αρκετά κοντά στα ποσοστά των δύο προηγούμενων (16,7%), και άρα κρίσιμη για την ανθεκτικότητα των πολιτών κατά τους καύσωνες. Μετά, περίπου υποδιπλάσιες σε ποσοστό συμβολής από τη μεταβλητή των ηλικιωμένων, είναι οι δύο μεταβλητές των ενοικιαστών (10%) και τα σπίτια μικρότερα των 60 τετραγωνικών μέτρων (9,8%). Τέλος, οι λιγότερο σημαντικές μεταβλητές είναι το ποσοστό σε μετανάστες από αναπτυσσόμενες χώρες (8,2%), το ποσοστό σε άνεργους (7%) και το ποσοστό των κατοίκων που μένουν μόνοι (7%). Ιδιαίτερα σημαντικό είναι η τάξη μεγέθους των ποσοστών συγκριτικά. Ενώ λογικό ήταν η ηλικία και οι συνταξιούχοι να είναι μακράν οι πιο σημαντικές, οι μεταβλητές είναι τελικά αρκετά κοντά σε ποσοστά συμβολής (feature importance values).

Τέλος, εφαρμόζεται η μεθοδολογία υπολογισμού του σύνθετου δείκτη ευαλωτότητας του πληθυσμού στην υπερβολική ζέστη της Εξίσωσης 2 και προβάλλεται πια σε ποσοστό ευαλωτότητας στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13: Το ποσοστό κοινωνικοοικονομικής ευαλωτότητας σε υπερβολική ζέστη των περιοχών της κεντρικής Αθήνας σε ποσοστό

Εξετάζονται επίσης και οι 5 γειτονιές με το μεγαλύτερο ποσοστό του δείκτη SHVI, οι οποίες είναι:

1. Περιοχή Άγιου Παντελεήμονα
2. Πλατεία Βάθης
3. Πλατεία Αμερικής
4. Μεταξουργείο
5. Πανόρμου

Οι περιοχές με το μικρότερο ποσοστό, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 13, είναι οι περιοχές μακριά από το κέντρο ή και περιοχές με μικρό αριθμό κατοίκων και κυρίως για επαγγελματική χρήση.

Συμπεράσματα

Στην ανάλυση ευαλωτότητας των κοινωνικοοικονομικών τομέων της κεντρικής Αθήνας, εξετάστηκαν οι πιθανές επιπτώσεις των καυσώνων και της υπερβολικής ζέστης στον πληθυσμό της. Μέσα από τα ευρήματά της, βρέθηκαν σημαντικά ευρήματα που μπορούν να συμβάλλουν στην κατανόηση της σχέσης μεταξύ των κοινωνικοοικονομικών μεταβλητών και των αρνητικών επιπτώσεων τέτοιων κλιματικών φαινομένων. Ακολουθούν τα σημαντικότερα σημεία:

Προφίλ ευαλωτότητας: Χρησιμοποιήθηκε ανάλυση παραγόντων για τη δημιουργία συγκεκριμένων 'προφίλ ευαλωτότητας' για τους πολίτες της Αθήνας. Αυτός ο διαχωρισμός οδήγησε σε τρία διαφορετικά προφίλ: μετανάστες, ηλικιωμένοι και περιθωριοποιημένες ομάδες. Κάθε ένα από αυτούς τους παράγοντες παρουσίασε διαφορετικά επίπεδα ευπαθείας, αλλά και διαφορετική γεωχωρική κατανομή στη περιοχή μελέτης.

Αλγόριθμος ταξινόμησης καυσώνων: Η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου ταξινόμησης καύσωνα χρησιμοποιώντας σα βάση τον εθνικό ορισμό και τη μεθοδολογία του δείκτη ζέστης του NWS επέτρεψε μια πιο ακριβή και σχετική κατηγοριοποίηση των γεγονότων καύσωνα προσαρμοσμένη στο τοπικό περιβάλλον και στις προκλήσεις και απαιτήσεις του.

Ποσοτική σύνδεση μεταξύ υπερβολικής ζέστης και θνησιμότητας: Χρησιμοποιώντας δεδομένα από το EUROSTAT, καθορίστηκε μια άμεση σχέση μεταξύ των ακραίων γεγονότων ζέστης και των ποσοστών θνησιμότητας για διαφορετικές ηλικιακές ομάδες στην Αθήνα, όχι απλά εμπειρικά, αλλά με απτή ποσοτική μετάφραση της ευαλωτότητας σε βαθμούς Κελσίου.

Μοντελοποίηση: Ένα μοντέλο - δέντρο αποφάσεων εκπαιδεύτηκε για την πρόβλεψη της θνησιμότητας που προκαλείται από καύσωνα βάσει κοινωνικοοικονομικών χαρακτηριστικών. Χρησιμοποιώντας αυτό το μοντέλο, προσδιορίστηκαν οι πιο σημαντικοί παράγοντες για την ευπάθεια στους καύσωνες. Ειδικότερα, η ηλικία και το ποσοστό του πληθυσμού σε συνταξιούχους αναδείχθηκαν ως οι κύριοι προγνωστικοί

παράγοντες, υπογραμμίζοντας τον αυξημένο κίνδυνο που αντιμετωπίζουν οι ηλικιωμένοι κατά τη διάρκεια των ακραίων γεγονότων ζέστης.

Δείκτης κοινωνικοοικονομικής ευαλωτότητας στην υπερβολική ζέστη (SHVI):

Βασιζόμενοι στη σημασία των χαρακτηριστικών από το μοντέλο, διαμορφώθηκε ένας καινοτόμος δείκτης. Ο δείκτης SHVI στοχεύει στην ποσοτικοποίηση της σχέσης μεταξύ των κοινωνικοοικονομικών ευπαθειών και των καύσωνας. Ειδικά, ενώ τα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με την ηλικία κυριαρχούσαν, άλλα χαρακτηριστικά όπως η ηλικία των κτηρίων αποδείχθηκαν σημαντικοί παράγοντες ευπάθειας, υπογραμμίζοντας τη σημασία της υποδομής και της συντήρησης κτιρίων στον μετριασμό των καυσώνων. Αντίθετα, χαρακτηριστικά όπως το ποσοστό ανεργίας και το ποσοστό των ατόμων που ζουν μόνα τους, αν και σχετικά, ήταν λιγότερο κρίσιμα στο μοντέλο και άρα συμβάλλουν λιγότερο στο δείκτη.

Επιπτώσεις: Τα δεδομένα υποδεικνύουν ότι ενώ οι ηλικιωμένοι παραμένουν στον μεγαλύτερο κίνδυνο, άλλα τμήματα όπως οι μετανάστες και οι περιθωριοποιημένες ομάδες δεν πρέπει να παραλείπονται. Επιπλέον, η ηλικία ενός κτηρίου ως σημαντικός προγνωστικός παράγοντας δείχνει ότι ο αστικός σχεδιασμός και η ανάπτυξη υποδομών παίζουν σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων των καυσώνων.

Καταλήγοντας, η ανάλυσή τους έφερε στο φως απτή και ποσοτική σύνδεση μεταξύ κοινωνικοοικονομικών μεταβλητών και υπερβολική ζέστη. Κατανοώντας την περίπλοκη σχέση μεταξύ των κοινωνικοοικονομικών παραγόντων και των συνεπειών των καυσώνων, μπορούν να ληφθούν κατάλληλα μέτρα για την προστασία των πιο ευπαθών πολιτών της κοινωνίας. Από την ενίσχυση της υποδομής έως τα ειδικά προγράμματα κοινότητας, τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας μπορούν να κατευθύνουν την Αθήνα και τις πολιτικές της σε πιο αποτελεσματικές δράσεις, στοχευμένες στους πολίτες που την έχουν ανάγκη περισσότερο.

Αναφορές

- Anderson, G. B., Bell, M. L., & Peng, R. D. 2013. Methods to calculate the heat index as an exposure metric in environmental health research. *Environmental health perspectives*, 121(10), 1111-1119.
- Arsad, F.S., Hod, R., Ahmad, N., Ismail, R., Mohamed, N., Baharom, M., Osman, Y., Radi, M.F.M. and Tangang, F., 2022. The impact of heatwaves on mortality and morbidity and the associated vulnerability factors: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), p.16356.
- Arsht Rockefeller Foundation Resilience center website, <https://onebillionresilient.org/project/extreme-heat/>, accessed on November 2022.
- Bao, J., Li, X., & Yu, C. 2015. The construction and validation of the heat vulnerability index, a review. *International journal of environmental research and public health*, 12(7), 7220-7234.
- Conti, A., Valente, M., Paganini, M., Farsoni, M., Ragazzoni, L. and Barone-Adesi, F., 2022. Knowledge gaps and research priorities on the health effects of heatwaves: A systematic review of reviews. *International journal of environmental research and public health*, 19(10), p.5887.
- Eurostat, 2023. Deaths by week, sex, 5-year age group and NUTS 3 region. https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/DEMO_R_MWEEK3_custom_73_13346/default/table?lang=en
- Geogov, 2023. Όρια Δημοτικών Κοινοτήτων Δήμου Αθηναίων. <http://geodata.gov.gr/dataset/op1a-anuot1kwv-ko1votntwv>
- Hancock, J. T., & Khoshgoftaar, T. M. 2020. CatBoost for big data: an interdisciplinary review. *Journal of big data*, 7(1), 1-45.
- Harlan, S.L., Brazel, A.J., Prashad, L., Stefanov, W.L. and Larsen, L., 2006. Neighborhood microclimates and vulnerability to heat stress. *Social science & medicine*, 63(11), pp.2847-2863.
- Hellenic Weather Service. 2015. Definition of heatwave conditions, retrieved from: http://www.emy.gr/emv/el/meteorology/meteorological_news?name=2106221136.
- Hennessy, K., Lawrence, J. and Mackey, B., 2022. IPCC sixth assessment report (AR6): climate change 2022-impacts, adaptation and vulnerability: regional factsheet Australasia.

- Hill, B. D. 2011. *The sequential Kaiser-Meyer-Olkin procedure as an alternative for determining the number of factors in common-factor analysis: A Monte Carlo simulation*. Oklahoma State University.
- Jandaghian, Z. and Akbari, H., 2018. The effects of increasing surface reflectivity on heat-related mortality in Greater Montreal Area, Canada. *Urban Climate*, 25, pp.135-151.
- Johnson, D.P., Wilson, J.S. and Lubert, G.C., 2009. Socioeconomic indicators of heat-related health risk supplemented with remotely sensed data. *International Journal of Health Geographics*, 8(1), pp.1-13.
- Kim, J. O., & Mueller, C. W. 1978. *Introduction to factor analysis: What it is and how to do it* (No. 13). Sage.
- Lepot, M., Aubin, J. B., & Clemens, F. H. 2017. Interpolation in time series: An introductory overview of existing methods, their performance criteria and uncertainty assessment. *Water*, 9(10), 796.
- Malone, E.L. and Engle, N.L., 2011. Evaluating regional vulnerability to climate change: purposes and methods. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(3), pp.462-474.
- McZgee, V. E., & Carleton, W. T. 1970. Piecewise regression. *Journal of the American Statistical Association*, 65(331), 1109-1124.
- Nayak, S. G., Shrestha, S., Kinney, P. L., Ross, Z., Sheridan, S. C., Pantea, C. I., ... & Hwang, S. A. 2018. Development of a heat vulnerability index for New York State. *Public Health*, 161, 127-137.
- OpenWeatherMap, 2023. Historic data for Greece, 2014–2023.
<https://openweathermap.org/>
- Pyrgou, A. and Santamouris, M., 2018. Increasing probability of heat-related mortality in a Mediterranean city due to urban warming. *International journal of environmental research and public health*, 15(8), p.1571.
- Rothfusz, L. P., & Headquarters, N. S. R. 1990. The heat index equation (or, more than you ever wanted to know about heat index). *Fort Worth, Texas: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Office of Meteorology*, 9023, 640.
- Semenza, J.C., Wilson, D.J., Parra, J., Bontempo, B.D., Hart, M., Sailor, D.J. and George, L.A., 2008. Public perception and behavior change in relationship to hot weather and air pollution. *Environmental research*, 107(3), pp.401-411.

- Smoyer, K.E., 1998. Putting risk in its place: methodological considerations for investigating extreme event health risk. *Social Science & Medicine*, 47(11), pp.1809-1824.
- Sun, Y., Li, Y., Ma, R., Gao, C. and Wu, Y., 2022. Mapping urban socio-economic vulnerability related to heat risk: A grid-based assessment framework by combing the geospatial big data. *Urban Climate*, 43, p.101169.
- Tobias, S., & Carlson, J. E. 1969. Brief report: Bartlett's test of sphericity and chance findings in factor analysis. *Multivariate behavioral research*, 4(3), 375-377.
- Voogt, J.A. and Oke, T.R., 2003. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3), pp.370-384.
- Ward, K., Lauf, S., Kleinschmit, B. and Endlicher, W., 2016. Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of the Total Environment*, 569, pp.527-539.
- Xu, M., Watanachaturaporn, P., Varshney, P. K., & Arora, M. K. 2005. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 97(3), 322-336.

Παράρτημα

Πίνακας Α: Αναλυτικά αποτελέσματα τμηματικής παλινδρόμησης στα δεδομένα θνησιμότητας των νέων

No. Observations	2983
No. Model Parameters	4
Degrees of Freedom	2979
Res. Sum of Squares	1,29253e+05
Total Sum of Squares	1,55617e+05
R Squared	0,169419
Adjusted R Squared	0,168303
Converged:	True

	Estimate	Std Err	t	P-value	[0,025	0,975]
const	31,2981	0,395	79,296	0,0	30,524	32,072
alpha1	0,237074	0,0159	14,957	7,94e-49	0,206	0,26815
beta1	3,99292	0,387	10,326	-	3,2347	4,7511
breakpoint1	37,3017	0,253	-	-	36,806	37,797
alpha2	4,22999	0,386	10,948	2,23e-27	3,4724	4,9875

Πίνακας Β: Αναλυτικά αποτελέσματα τμηματικής παλινδρόμησης στα δεδομένα θνησιμότητας των ηλικιωμένων

No. Observations	2983
No. Model Parameters	6
Degrees of Freedom	2977
Res. Sum of Squares	1,85371e+06
Total Sum of Squares	2,65208e+06
R Squared	0,301034
Adjusted R Squared	0,299624
Converged:	True

	Estimate	Std Err	t	P-value	[0,025	0,975]
const	274,319	2,33	117,8	0,0	269,75	278,89
alpha1	-3,34262	0,121	-27,629	8,9e-150	-3,5798	-3,1054
beta1	5,68021	0,573	9,9095	-	4,5563	6,8041
beta2	3,92391	0,759	5,1673	-	2,4349	5,4129
breakpoint1	26,8632	0,418	-	-	26,043	27,683
breakpoint2	32,9795	0,649	-	-	31,707	34,252
alpha2	2,33759	0,56	4,1721	3,1e-05	1,239	3,4362
alpha3	6,2615	0,513	12,216	1,6e-33	5,2565	7,2665