

# Ανάλυση Παραγόντων που Επιδρούν στη Δημιουργία Μεγάλων Δασικών Πυρκαγιών στην Ελλάδα

## Περίληψη

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν σημαντική πρόκληση για την Ελλάδα. Η παρούσα τεχνική αναφορά παρουσιάζει τα αποτελέσματα Διερευνητικής Ανάλυσης Δεδομένων (EDA), η οποία πραγματοποιήθηκε με χρήση Python, σε δεδομένα συμβάντων πυρκαγιάς από το Πυροσβεστικό Σώμα. Κύριος στόχος ήταν ο εντοπισμός παραγόντων και προτύπων που συνδέονται με την εκδήλωση πυρκαγιών μεγάλης κλίμακας. Η μεθοδολογία περιλάμβανε προεπεξεργασία δεδομένων, δημιουργία νέων μεταβλητών (feature engineering) και στατιστική/οπτική ανάλυση των χαρακτηριστικών των πυρκαγιών (χώρος, χρόνος, καμένη έκταση, κινητοποίηση πόρων). Τα κύρια ευρήματα δείχνουν ότι, ενώ η **συχνότητα** των πυρκαγιών κορυφώνεται τα καλοκαιρινά απογεύματα και σε συγκεκριμένες περιοχές (π.χ., Αττική), η **σοβαρότητα** (μεγάλη καμένη έκταση) συνδέεται ισχυρά με πυρκαγιές που εκδηλώνονται σε δασικές εκτάσεις, κατά τους μήνες Ιούλιο-Αύγουστο, και, αξιοσημείωτα, με όσες ξεκινούν τις **πρώτες πρωινές ώρες (~3 π.μ.)**. Η κινητοποίηση των πόρων καταστολής κλιμακώνεται ανάλογα με το μέγεθος της πυρκαγιάς, συχνά με αντιδραστική ανάπτυξη κρίσιμων μέσων. Η ανάλυση αναδεικνύει χρονικές και χωρικές ευπάθειες σχετιζόμενες με μεγάλες πυρκαγιές και υπογραμμίζει την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα, ιδίως με την ενσωμάτωση λεπτομερών μετεωρολογικών δεδομένων, καθώς και για τη βελτίωση των στρατηγικών διαχείρισης.

Συγγραφέας: Γεώργιος Αχμέντ

Ημερομηνία: 5/4/2025

## Πίνακας Περιεχομένων

<b>Εισαγωγή.....</b>	<b>3</b>
Σκοποί και Στόχοι.....	3
Αντικείμενο και Περιορισμοί της Ανάλυσης .....	3
Περιγραφή Συνόλου Δεδομένων .....	4
<b>Μεθοδολογία.....</b>	<b>5</b>
Εργαλεία και Βιβλιοθήκες Python.....	5
Εκτίμηση και Καθαρισμός Δεδομένων .....	5
Feature Engineering.....	6
Βήματα EDA .....	7
<b>Αποτελέσματα .....</b>	<b>9</b>
Περιγραφική Οπτικοποιήσεων.....	9
Ενδιαφέροντα Ευρήματα .....	16
<b>Συζήτηση .....</b>	<b>17</b>
Προτάσεις για καλύτερη αντιμετώπιση πυρκαγιών .....	17
Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	17

# ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι δασικές και αγροτοδασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα χρόνιο και σύνθετο πρόβλημα για την Ελλάδα, με σημαντικές περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Η κατανόηση των παραγόντων που συμβάλλουν στην εκδήλωση και, κυρίως, στην εξέλιξη των πυρκαγιών, ιδιαίτερα αυτών που λαμβάνουν μεγάλες διαστάσεις, είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό αποτελεσματικότερων στρατηγικών πρόληψης και καταστολής. Η ανάλυση ιστορικών δεδομένων συμβάντων πυρκαγιάς μπορεί να προσφέρει πολύτιμες γνώσεις προς αυτή την κατεύθυνση.

## 1.1 Σκοποί και Στόχοι

Κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διενέργεια Διερευνητικής Ανάλυσης Δεδομένων (ΔΑΔ - Exploratory Data Analysis, EDA) σε ένα σύνολο δεδομένων που αφορά συμβάντα πυρκαγιών στην Ελλάδα, τα οποία καταγράφηκαν από το Πυροσβεστικό Σώμα.

Πρωταρχικός στόχος είναι η διερεύνηση και ο εντοπισμός πιθανών παραγόντων, προτύπων (patterns) και συσχετίσεων που σχετίζονται με την έκταση και τη διάρκεια των πυρκαγιών, με έμφαση στον προσδιορισμό χαρακτηριστικών που ενδεχομένως οδηγούν σε πυρκαγιές μεγάλης κλίμακας.

Δευτερεύοντες στόχοι περιλαμβάνουν:

- Την κατανόηση των γενικών χαρακτηριστικών των καταγεγραμμένων συμβάντων (π.χ., χρονική και γεωγραφική κατανομή, τύποι επηρεαζόμενης γης).
- Την επισκόπηση των δυνάμεων και μέσων καταστολής που κινητοποιούνται.
- Την ανάδειξη πιθανών ζητημάτων ποιότητας ή πληρότητας στα δεδομένα που θα μπορούσαν να επηρεάσουν περαιτέρω αναλύσεις.

## 1.2 Αντικείμενο και Περιορισμοί της Ανάλυσης

Το αντικείμενο της ανάλυσης περιορίζεται αυστηρά στο παρεχόμενο σύνολο δεδομένων, το οποίο καλύπτει συμβάντα πυρκαγιάς για τη χρονική περίοδο 2019-2024. Η μεθοδολογία που ακολουθείται είναι η Διερευνητική Ανάλυση Δεδομένων, υλοποιημένη με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Python και σχετικών βιβλιοθηκών.

Η ανάλυση αυτή έχει διερευνητικό χαρακτήρα και δεν αποσκοπεί στην εξαγωγή οριστικών αιτιακών συμπερασμάτων. Τα ευρήματα βασίζονται αποκλειστικά στα διαθέσιμα δεδομένα και

ενδέχεται να επηρεάζονται από την ποιότητα και την πληρότητά τους (π.χ., απουσία συντεταγμένων για ορισμένα συμβάντα, μη καταγεγραμμένη ώρα λήξης για κάποιες πυρκαγιές). Δεν ενσωματώνονται εξωτερικά δεδομένα, όπως λεπτομερείς μετεωρολογικές συνθήκες, πέραν όσων ενδεχομένως περιλαμβάνονται ήδη στο αρχικό σύνολο δεδομένων.

### 1.3 Περιγραφή Συνόλου Δεδομένων

Το σύνολο δεδομένων που αναλύεται προέρχεται από το Πυροσβεστικό Σώμα και περιλαμβάνει 58.702 εγγραφές (records) συμβάντων πυρκαγιάς. Κάθε εγγραφή αντιστοιχεί σε ένα μεμονωμένο περιστατικό και περιέχει πληροφορίες που καλύπτουν διάφορες πτυχές, όπως:

- **Γεωγραφικός Εντοπισμός:** Συντεταγμένες (X-ENGAGE, Y-ENGAGE, όπου είναι διαθέσιμες), Νομός, Δήμος, Περιοχή και Διεύθυνση του συμβάντος.
- **Χρονικά Στοιχεία:** Ημερομηνία και ώρα έναρξης. Ημερομηνία και ώρα λήξης.
- **Επηρεαζόμενη Έκταση:** Καταγραφή της καμένης έκτασης (σε στρέμματα - acres) ανά τύπο βλάστησης/κάλυψης γης (Δάση, Δασική Έκταση, Άλση, Χορτολιβαδικές Εκτάσεις, Καλάμια-Βάλτοι, Γεωργικές Εκτάσεις, Υπολείμματα Καλλιερειών, Σκουπιδότοποι).
- **Δυνάμεις Καταστολής:** Πληροφορίες για την εμπλεκόμενη Πυροσβεστική Υπηρεσία (Υπηρεσία), τον αριθμό του προσωπικού (Π.Σ., πεζοπόρα, εθελοντές, στρατός, άλλες δυνάμεις), τα οχήματα (πυροσβεστικά, βυτιοφόρα, μηχανήματα) και τα εναέρια μέσα (ελικόπτερα, αεροσκάφη CL415, CL215, PZL, Grumman, μισθωμένα).

# ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η παρούσα ενότητα περιγράφει τη μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε για τη διερευνητική ανάλυση των δεδομένων πυρκαγιών. Η διαδικασία περιλαμβάνει την επιλογή των κατάλληλων εργαλείων, την προεπεξεργασία και τον καθαρισμό των δεδομένων, τη δημιουργία νέων χαρακτηριστικών (feature engineering) και τα βήματα της διερευνητικής ανάλυσης.

## 2.1 Εργαλεία και Βιβλιοθήκες Python

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε εξ ολοκλήρου με χρήση της γλώσσας προγραμματισμού Python χρησιμοποιώντας **Jupyter Notebook** ως περιβάλλον ανάπτυξης. Αξιοποιήθηκαν οι παρακάτω κύριες βιβλιοθήκες:

- **Pandas:** Για τη φόρτωση, διαχείριση, χειρισμό και προεπεξεργασία των δεδομένων σε δομή DataFrame.
- **NumPy:** Για αποτελεσματικούς αριθμητικούς υπολογισμούς και πράξεις πινάκων.
- **Matplotlib & Seaborn:** Για τη δημιουργία στατικών οπτικοποιήσεων (γραφήματα, διαγράμματα) με σκοπό την εξερεύνηση και παρουσίαση των δεδομένων.

## 2.2 Καθαρισμός και Προεπεξεργασία Δεδομένων

Πριν την κύρια ανάλυση, πραγματοποιήθηκαν τα απαραίτητα βήματα καθαρισμού και προεπεξεργασίας των αρχικών δεδομένων, τα οποία περιλάμβαναν:

1. **Φόρτωση Δεδομένων:** Ανάγνωση του csv αρχείου σε ένα Pandas DataFrame, με κατάλληλο χειρισμό πιθανών μικτών τύπων δεδομένων (`low_memory=False`) και ορισμό της συμβολοσειράς 'Not Found' ως ένδειξη απουσιάζουσας τιμής (`na_values`).
2. **Εκτίμηση Δεδομένων:** Έγινε έλεγχος για ελλιπείς τιμές (Nan), διπλότυπες εγγραφές και ασυνέπειες στη δομή των δεδομένων. Αξιολογήθηκαν οι κατανομές των μεταβλητών (συνεχείς & κατηγορικές) για να εντοπιστούν ακραίες τιμές ή λανθασμένα δεδομένα.
3. **Αφαίρεση Εγγραφών/Στηλών:**
  - Διαγραφή μιας συγκεκριμένης εγγραφής (index 21206) λόγω εκτεταμένων ελλিপών τιμών στις στήλες οχημάτων.
  - Αφαίρεση στηλών που κρίθηκαν μη απαραίτητες για την ανάλυση ή είχαν πολλά missing values ("A/A ΕΓΓΡΑΦΗΣ", "A/A ENGAGE", "Δασαρχείο", "ΟΧΗΜ. ΥΠΗΡΕΣΙΑΚΑ").

#### 4. Διαχείριση Έλλειπών Τιμών (Missing Values):

- Συμπλήρωση των κενών τιμών στη στήλη 'Περιοχή' με τη νέα κατηγορία 'Unknown'. Η μη γνώση της περιοχής αποτελεί μια πιθανόν χρήσιμη πληροφορία.
- Εφαρμογή μεθόδου συμπλήρωσης με τη διάμεσο (median imputation) για τις αριθμητικές στήλες 'ΜΙΣΘ. ΑΕΡΟΣΚ.', 'ΜΙΣΘ. ΕΛΙΚΟΠΤ.', 'ΠΥΡΟΣ. ΣΩΜΑ', και 'ΠΕΖΟΠΟΡΑ ΤΜΗΜΑΤΑ', ώστε να διατηρηθεί η κατανομή των δεδομένων χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά από ακραίες τιμές.

#### 5. Μετατροπή Τύπων Δεδομένων:

- Μετατροπή στηλών που περιέχουν κατηγορική πληροφορία (π.χ., 'Δήμος', 'Υπηρεσία', 'Νομός', καθώς και νεοδημιουργηθείσες κατηγορικές μεταβλητές) στον τύπο 'category' της Pandas για βελτιστοποίηση της μνήμης και της απόδοσης, αλλά και για σημασιολογική ορθότητα.
- Μετατροπή χρονικών στηλών σε datetime format για ανάλυση χρονικών τάσεων.

### 2.3 Δημιουργία Νέων Μεταβλητών (Feature Engineering)

Για την καλύτερη κατανόηση και ανάλυση των δεδομένων, δημιουργήθηκαν νέα derived features:

#### 1. Χρονικές Μεταβλητές:

- Συνδυασμός των αρχικών στηλών ημερομηνίας και ώρας για τη δημιουργία των στηλών 'Start\_Datetime' και 'End\_Datetime' με τύπο datetime. Κατά τη δημιουργία της 'End\_Datetime', προβλέφθηκε χειρισμός σφαλμάτων (errors='coerce') ώστε οι μη έγκυροι συνδυασμοί να μετατραπούν σε NaT (Not a Time).
- Υπολογισμός της διάρκειας της πυρκαγιάς σε ώρες ('Duration\_hours'), λαμβάνοντας υπόψη τις 'Start\_Datetime' και 'End\_Datetime'. Οι περιπτώσεις όπου η ώρα λήξης ήταν προγενέστερη της ώρας έναρξης διορθώθηκαν, θέτοντας τη διάρκεια σε 0.
- Δημιουργία δυαδικής μεταβλητής 'Unresolved' (1 για μη επιλυμένες/χωρίς ώρα λήξης, 0 για επιλυμένες). Η έλλειψη ημερομηνία κατάσβεσης αποτελεί σημαντική πληροφορία.

- Εξαγωγή χρήσιμων χρονικών πληροφοριών από την 'Start\_Datetime': ώρα έναρξης ('Start\_Hour'), μήνας έναρξης ('Start\_Month'), ημέρα της εβδομάδας ('Day\_of\_Week') και εποχή ('Season').
- Αφαίρεση των αρχικών, πλέον περιττών, στηλών ημερομηνίας/ώρας.

## 2. Χωρικές/Κατηγορικές Μεταβλητές:

- Δημιουργία δυαδικής μεταβλητής 'MISSING\_COORDS' για την επισήμανση συμβάντων χωρίς γεωγραφικές συντεταγμένες.

## 3. Μεταβλητές Πόρων Καταστολής & Επιπτώσεων:

- Υπολογισμός του συνολικού ανθρώπινου δυναμικού ('Total\_Personnel') αθροίζοντας τις σχετικές στήλες προσωπικού.
- Δημιουργία δυαδικής μεταβλητής 'Aircraft\_Used' που υποδεικνύει αν χρησιμοποιήθηκε τουλάχιστον ένα εναέριο μέσο.
- Υπολογισμός του συνολικού αριθμού εναέριων μέσων ('Total\_Aircraft\_Used') που χρησιμοποιήθηκαν.
- Υπολογισμός της συνολικής καμένης έκτασης ('Total\_Area\_Impacted') αθροίζοντας τις εκτάσεις από όλους τους τύπους κάλυψης γης (υποθέτοντας μονάδα μέτρησης στρέμματα).
- Προσδιορισμός του κυρίαρχου τύπου γης που επηρεάστηκε ('Dominant\_Land\_Type') για κάθε συμβάν, με βάση τη μεγαλύτερη καμένη έκταση ανά τύπο.

## 2.4 Βήματα Διερευνητικής Ανάλυσης Δεδομένων (EDA)

Μετά την προεπεξεργασία, εφαρμόστηκε η διαδικασία της Διερευνητικής Ανάλυσης Δεδομένων με στόχο την κατανόηση των χαρακτηριστικών των πυρκαγιών και τον εντοπισμό πιθανών σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών. Τα βασικά βήματα περιλάμβαναν:

### 1. Μονομεταβλητή Ανάλυση (Univariate Analysis):

- Εξετάστηκαν οι κατανομές των βασικών αριθμητικών μεταβλητών (π.χ., Total\_Area\_Impacted, Duration\_hours, Total\_Personnel, Total\_Aircraft\_Used) με χρήση περιγραφικών στατιστικών (μέση τιμή, διάμεσος, τυπική απόκλιση, εύρος) και οπτικοποιήσεων όπως ιστογράμματα (histograms) και θηκογράμματα (box plots).

- Αναλύθηκαν οι συχνότητες των κατηγορικών μεταβλητών (π.χ., Νομός, Dominant\_Land\_Type, Season, Day\_of\_Week, Aircraft\_Used) μέσω πινάκων συχνότητων και ραβδογραμμάτων (bar charts/count plots).
- Σκοπός ήταν η κατανόηση των χαρακτηριστικών κάθε μεταβλητής ξεχωριστά και ο εντοπισμός πιθανών ακραίων τιμών ή ασυνήθιστων κατανομών.

## 2. Διμεταβλητή Ανάλυση (Bivariate Analysis):

- Διερευνήθηκαν οι σχέσεις μεταξύ ζευγών μεταβλητών. Για ζεύγη αριθμητικών μεταβλητών (π.χ., Total\_Area\_Impacted vs Duration\_hours), χρησιμοποιήθηκαν διαγράμματα διασποράς (scatter plots) και υπολογίστηκαν συντελεστές συσχέτισης (π.χ., Pearson ή Spearman), οι οποίοι οπτικοποιήθηκαν και μέσω χαρτών θερμότητας (heatmaps) για πολλές μεταβλητές ταυτόχρονα.
- Για τη σύγκριση μιας αριθμητικής μεταβλητής ως προς τις κατηγορίες μιας κατηγορικής μεταβλητής (π.χ., Total\_Area\_Impacted ανά Season ή Dominant\_Land\_Type), χρησιμοποιήθηκαν θηκογράμματα, διαγράμματα βιολιού (violin plots) ή ομαδοποιημένα ραβδογράμματα που απεικόνιζαν μέσες τιμές ή διαμέσους.
- Οι σχέσεις μεταξύ δύο κατηγορικών μεταβλητών (π.χ., Dominant\_Land\_Type ανά Season) εξετάστηκαν με πίνακες συνάφειας (contingency tables) και οπτικοποιήθηκαν με ομαδοποιημένα ή στοιβαγμένα ραβδογράμματα (grouped/stacked bar charts).

## 3. Πολυμεταβλητή Ανάλυση (Multivariate Analysis):

- Έγινε προσπάθεια κατανόησης των αλληλεπιδράσεων μεταξύ τριών ή περισσότερων μεταβλητών ταυτόχρονα. Αυτό επιτεύχθηκε κυρίως μέσω οπτικοποιήσεων, όπως διαγράμματα διασποράς όπου το χρώμα ή το μέγεθος των σημείων αντιπροσώπευε μια τρίτη ή τέταρτη μεταβλητή (π.χ., Duration\_hours vs Total\_Personnel με χρώμα ανάλογα με τη Season ή μέγεθος ανάλογα με την Total\_Area\_Impacted).
- Χρησιμοποιήθηκαν επίσης διαγράμματα ζευγών (pair plots) για επιλεγμένα υποσύνολα μεταβλητών και πιθανώς διαγράμματα πτυχών (faceted plots) για την ανάλυση μιας διμεταβλητής σχέσης υπό το πρίσμα μιας τρίτης κατηγορικής μεταβλητής.

## 4. Οπτικοποίηση (Visualization): Η οπτικοποίηση αποτέλεσε κεντρικό άξονα της ανάλυσης σε όλα τα στάδια. Αξιοποιήθηκαν οι δυνατότητες των βιβλιοθηκών Matplotlib και Seaborn για τη δημιουργία ποικίλων τύπων γραφημάτων, με στόχο την άμεση και κατανοητή παρουσίαση των κατανομών, των τάσεων, των συσχετίσεων και των προτύπων που αναδείχθηκαν από τα δεδομένα.



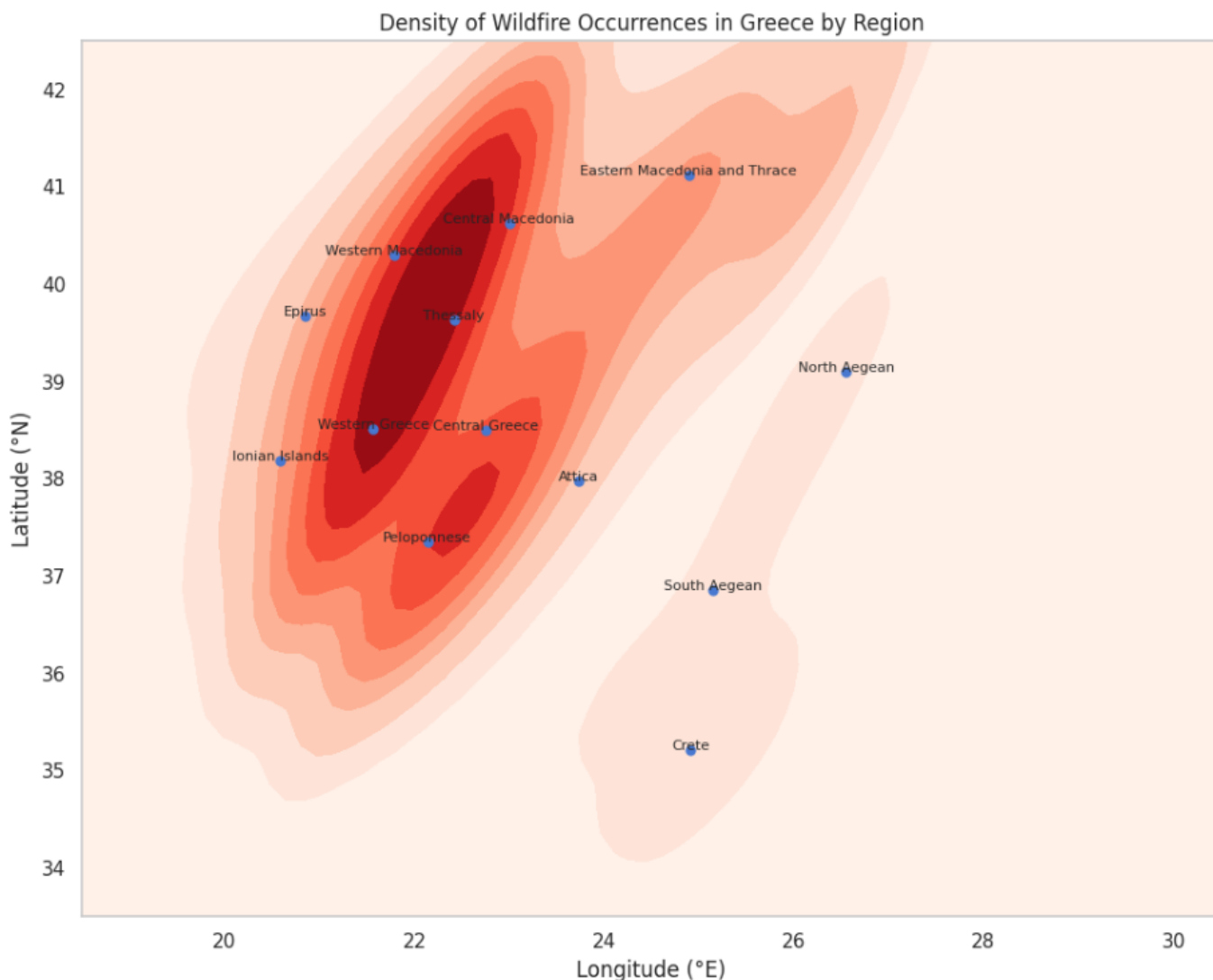
# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα κύρια αποτελέσματα και ευρήματα που προέκυψαν από τη Διερευνητική Ανάλυση Δεδομένων (EDA), όπως αυτή περιγράφηκε στη Μεθοδολογία. Η παρουσίαση εστιάζει στην κατανόηση της χωροχρονικής κατανομής των πυρκαγιών και στη διερεύνηση παραγόντων που ενδέχεται να συνδέονται με πυρκαγιές μεγάλης κλίμακας, χρησιμοποιώντας ως κύριους δείκτες τη συνολική καμένη έκταση (Total\_Area\_Impacted).

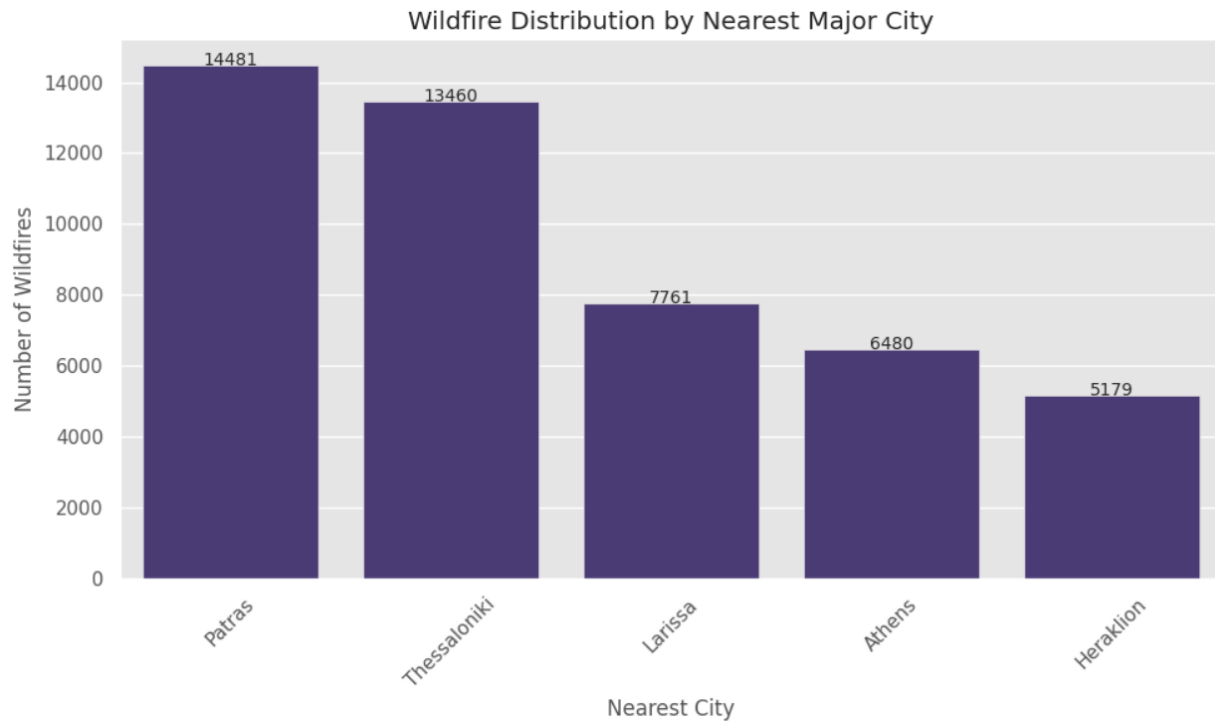
## 5.1.1 Γεωγραφική Κατανομή Πυρκαγιών

Η ανάλυση της γεωγραφικής κατανομής των συμβάντων έδειξε:

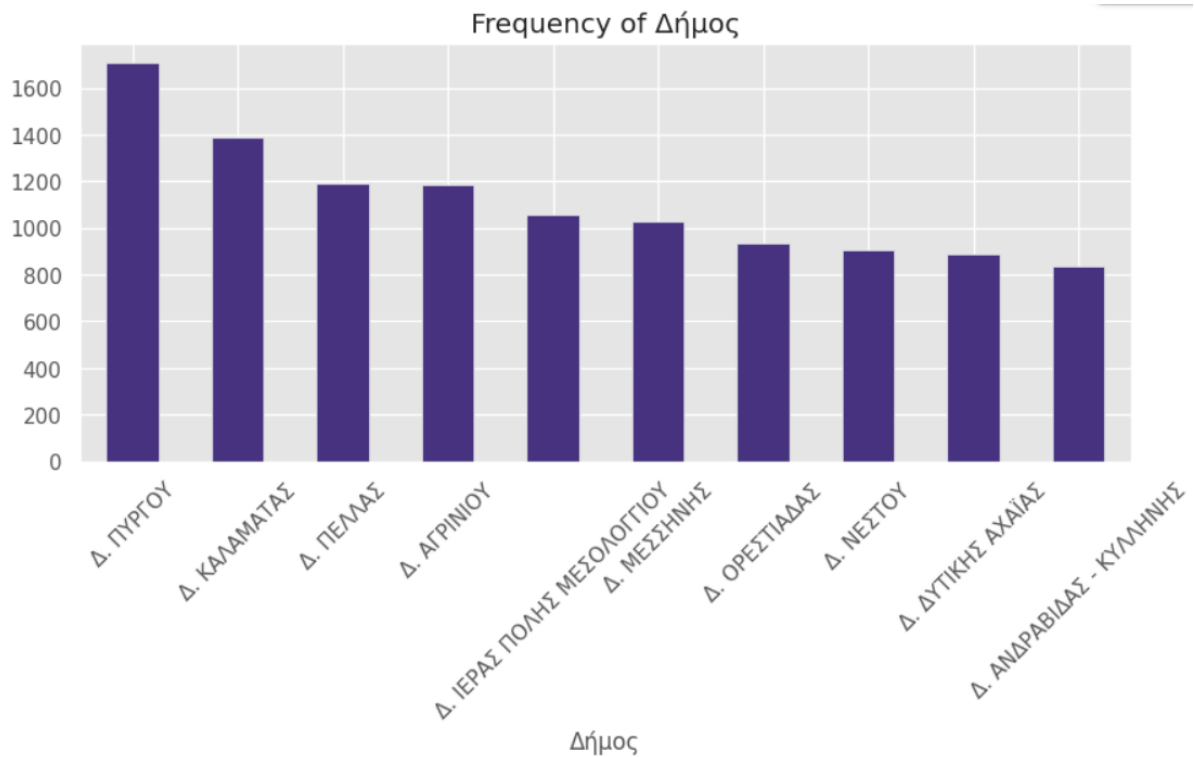
**Χωρική Πυκνότητα:** Ο χάρτης πυκνότητας των πυρκαγιών ανέδειξε υψηλότερη συγκέντρωση συμβάντων στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Ελλάδας και της Μακεδονίας.



**Συχνότητα ανά πόλη:** Η ανάλυση συχνότητας με βάση την πλησιέστερη μεγαλούπολη έδειξε ότι οι περισσότερες πυρκαγιές καταγράφηκαν κοντά στη Πάτρα.

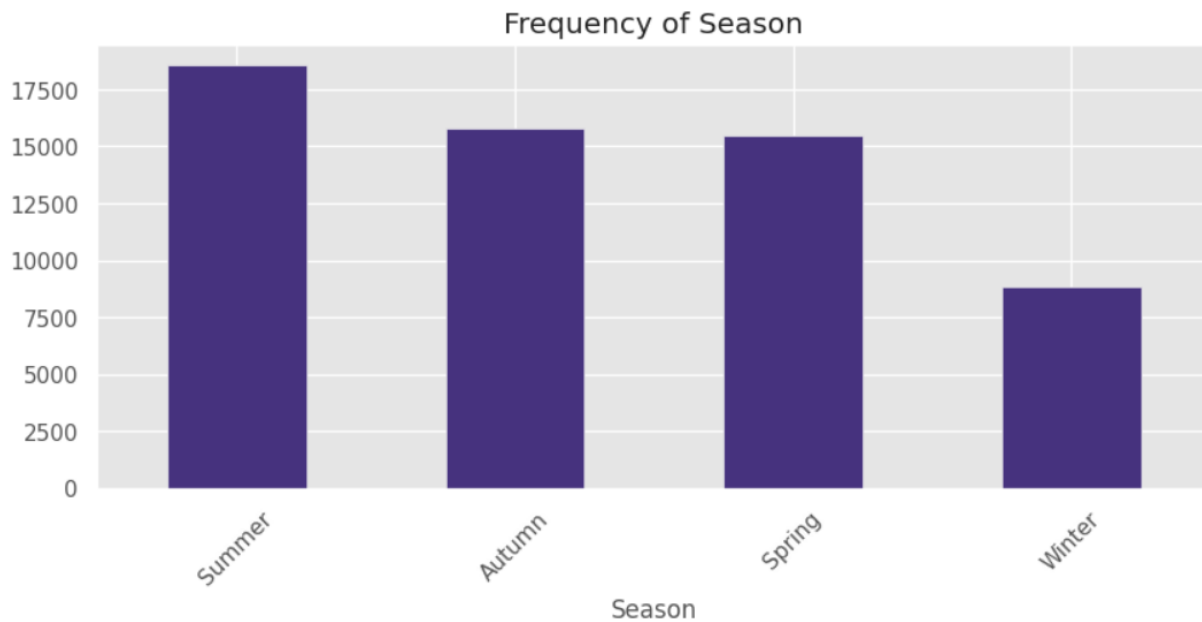


**Συχνότητα ανά Δήμο:** Ανάδειξη των δήμων που παρουσίασαν τον μεγαλύτερο αριθμό πυρκαγιών.

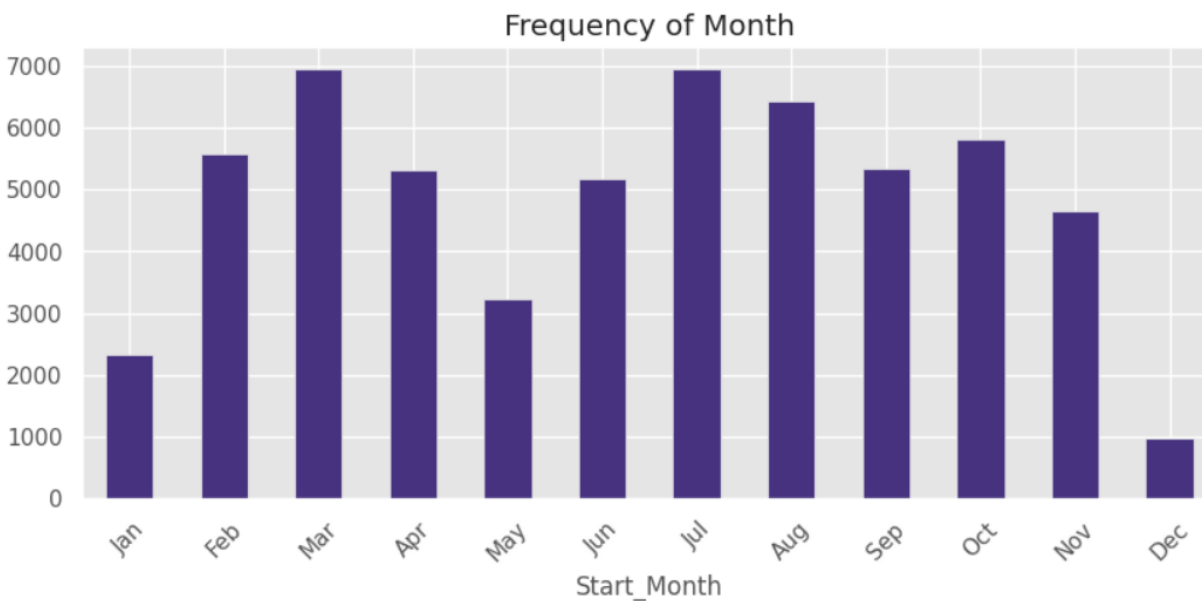


### 5.1.2 Χρονική Κατανομή Πυρκαγιών

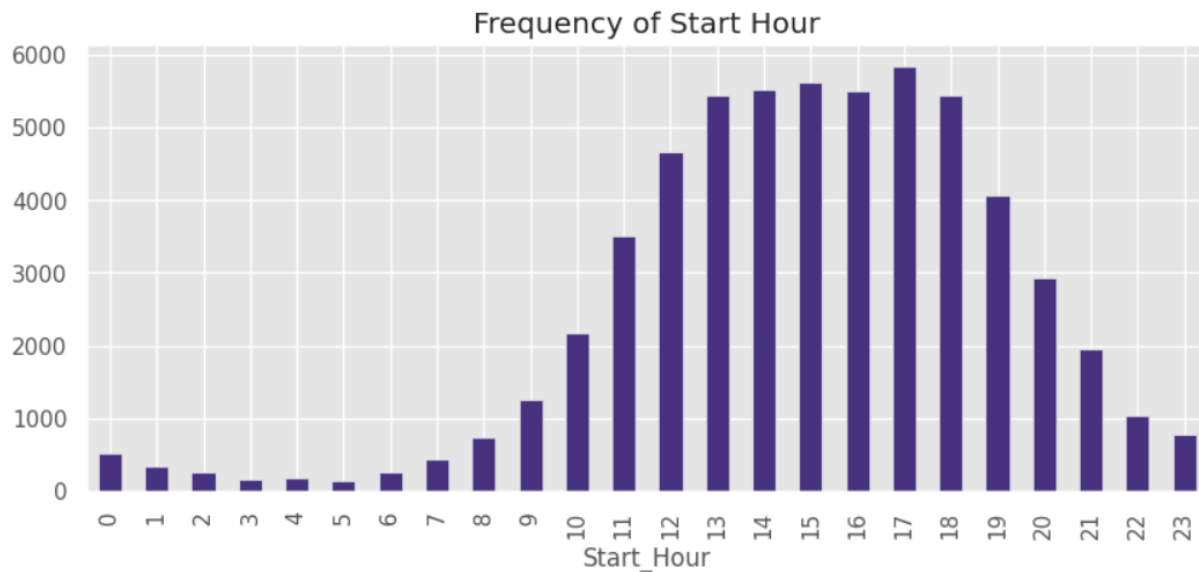
**Εποχή Έναρξης:** Η κατανομή ανά εποχή επιβεβαίωσε την κυριαρχία του Καλοκαιριού.



**Μήνας Έναρξης:** Οι περισσότερες πυρκαγιές εκδηλώνονται, όπως αναμενόταν, κατά τους θερινούς μήνες (Ιούλιο, Αύγουστο) και τον Μάρτιο.



**Ώρα Έναρξης:** Η κατανομή της ώρας έναρξης των πυρκαγιών ακολουθεί μια αναμενόμενη καμπύλη, με σαφή αιχμή τις απογευματινές ώρες, όπου οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες και η ανθρώπινη δραστηριότητα αυξημένη.

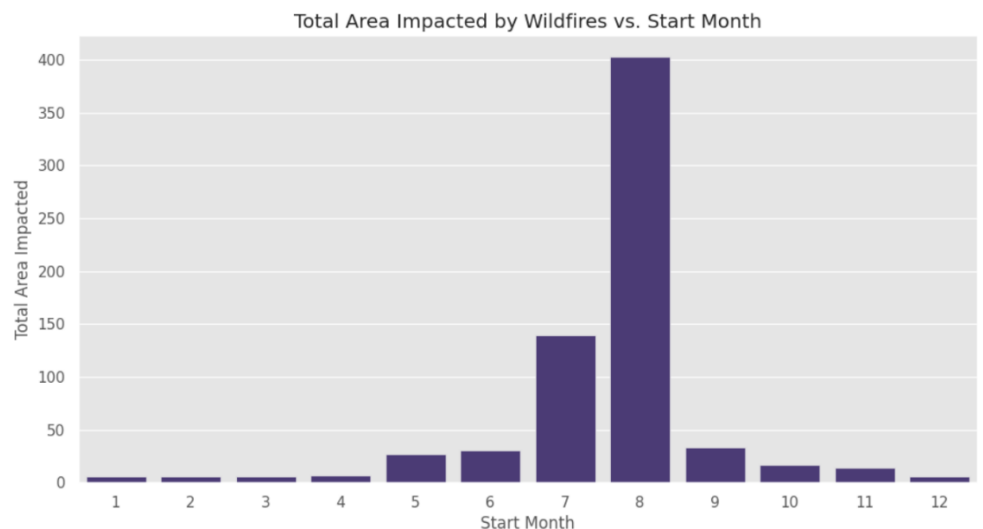


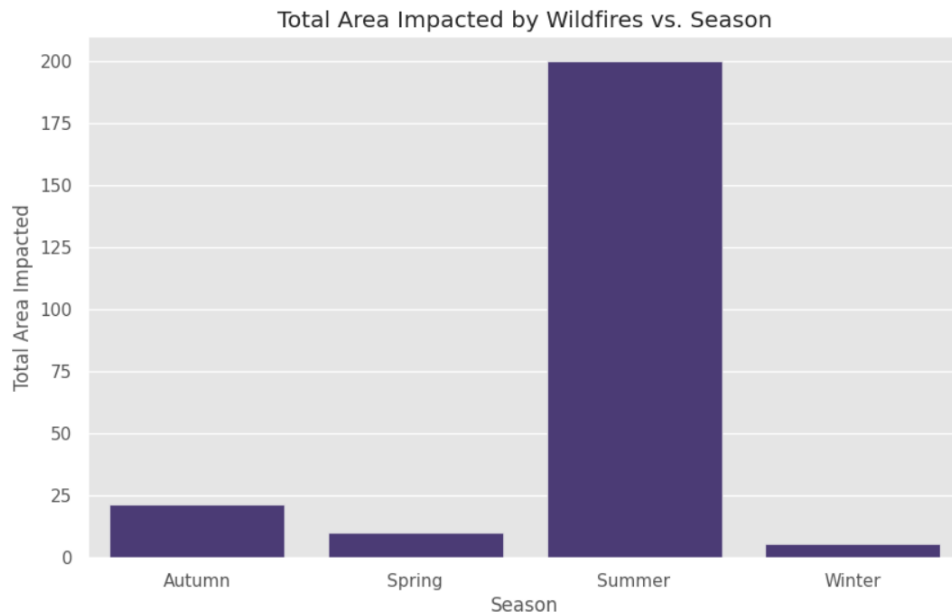
### 5.1.3 Διερεύνηση Παραγόντων Σχετιζόμενων με Πυρκαγιές Μεγάλης Κλίμακας

Εστιάζοντας στον δείκτη *Total\_Area\_Impacted* (Συνολική Καμένη Έκταση) ως ενδεικτικό του μεγέθους μιας πυρκαγιάς, προέκυψαν τα παρακάτω ενδιαφέροντα ευρήματα:

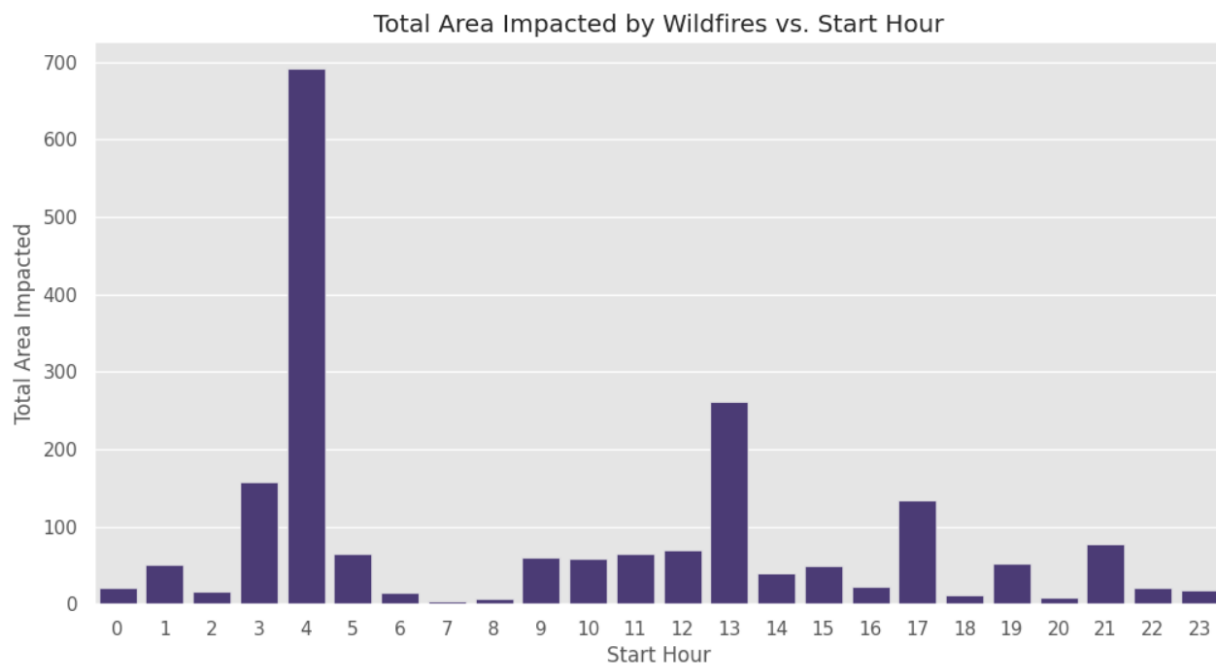
#### Χρονικοί Παράγοντες και Μέγεθος Πυρκαγιάς:

- **Εποχή/Μήνας:** Η ανάλυση της συνολικής καμένης έκτασης ανά μήνα και εποχή (3 plots) έδειξε ότι το **Καλοκαίρι** είναι η εποχή με τη μεγαλύτερη απώλεια γης από πυρκαγιές, με τον **Αύγουστο** να ξεχωρίζει ως ο μήνας με τη μακράν μεγαλύτερη συνολική καταστροφή.



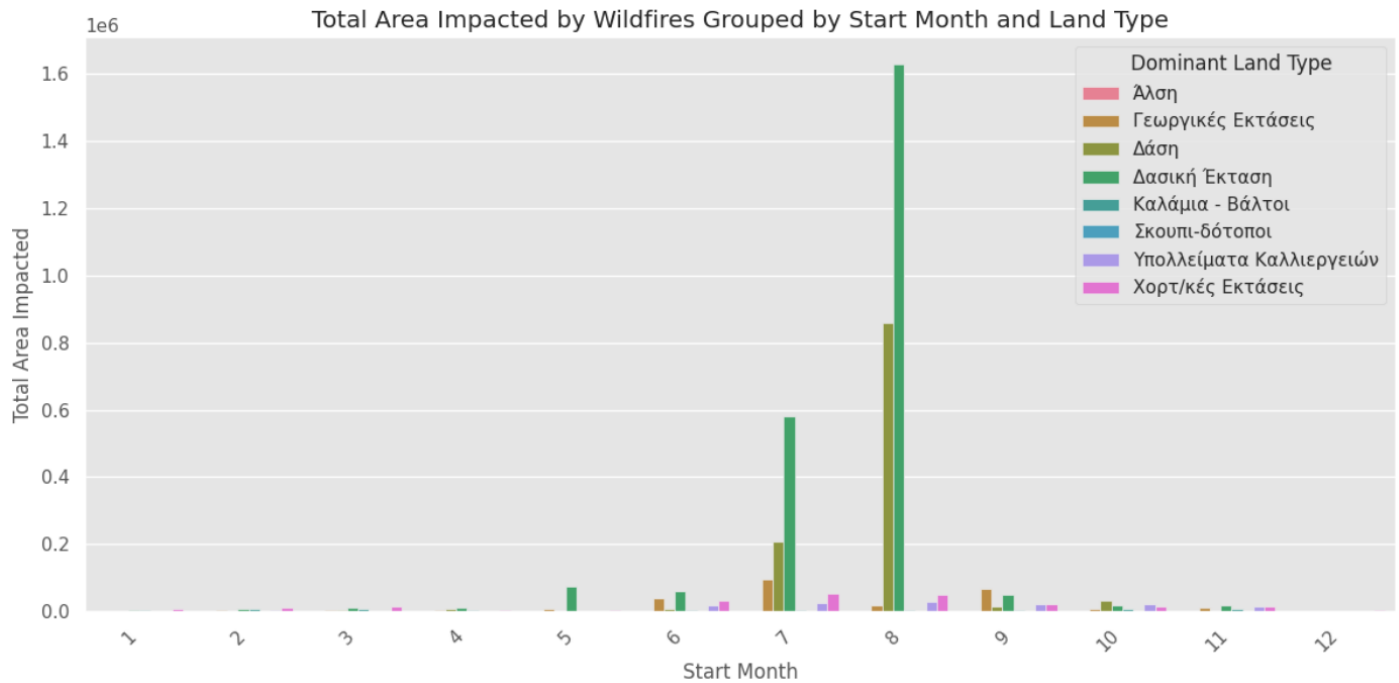


- **Ώρα Έναρξης:** Ένα ιδιαίτερα σημαντικό εύρημα προέκυψε από την ανάλυση της καμένης έκτασης σε σχέση με την ώρα έναρξης της πυρκαγιάς. Παρόλο που οι περισσότερες πυρκαγιές ξεκινούν το απόγευμα, οι πυρκαγιές που άρχισαν τις **πρώτες πρωινές ώρες (περίπου στις 3 π.μ.) συνδέονται με σημαντικά μεγαλύτερες μέσες καμένες εκτάσεις**. Αυτό υποδηλώνει ότι οι νυχτερινές/πρωινές πυρκαγιές, αν και λιγότερο συχνές, έχουν δυνητικά πολύ πιο καταστροφικές συνέπειες, πιθανώς λόγω δυσκολιών στην άμεση ανίχνευση και επέμβαση.



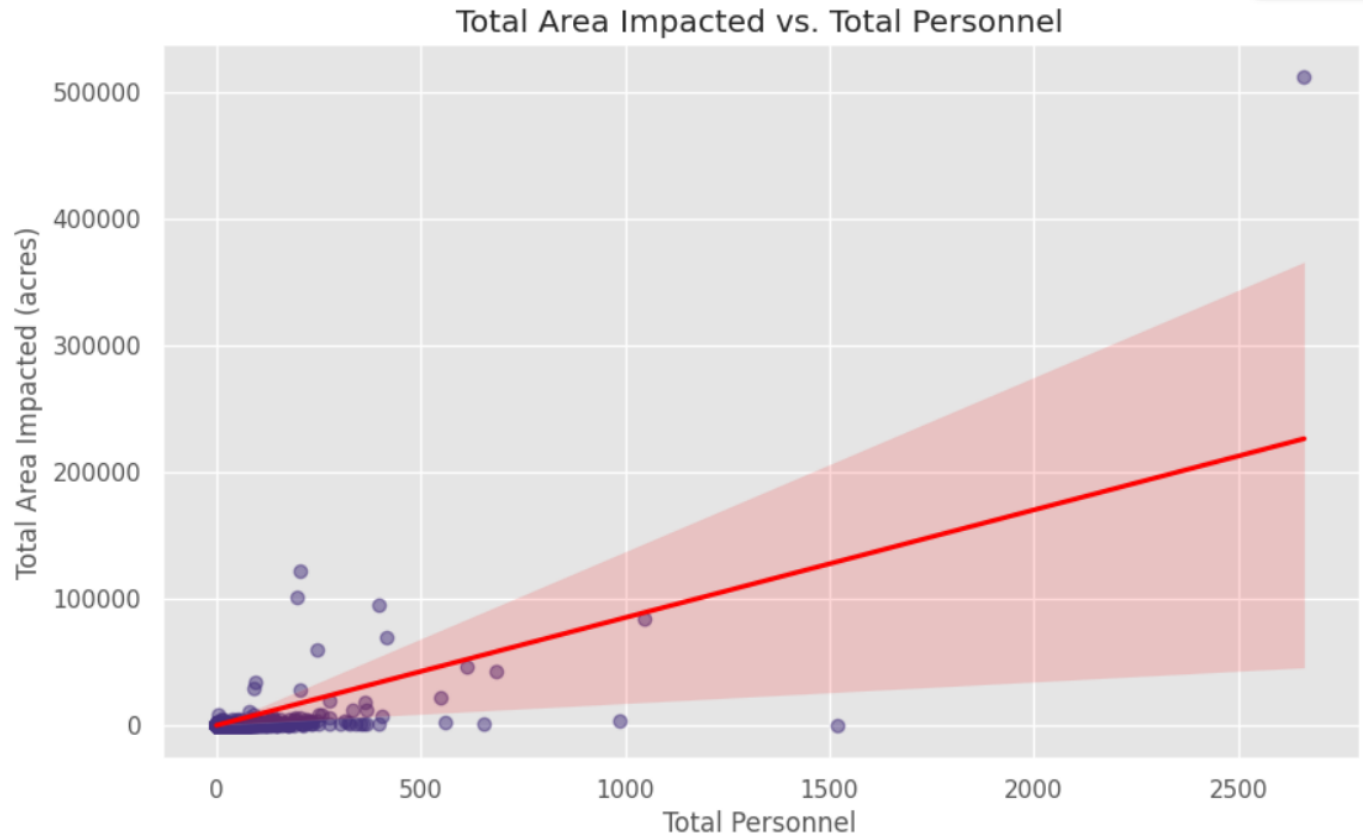
- **Τύπος Γης και Μέγεθος Πυρκαγιάς:**

- ο Η ομαδοποιημένη ανάλυση της καμένης έκτασης ανά μήνα και κυρίαρχο τύπο γης κατέδειξε ότι οι τύποι γης **Δάση και Δασικές Εκτάσεις υφίστανται τη συντριπτικά μεγαλύτερη ζημιά** από πυρκαγιές μεγάλης κλίμακας, ιδιαίτερα κατά τους μήνες **Ιούλιο και Αύγουστο**. Αυτό υπογραμμίζει την ευπάθεια των δασικών οικοσυστημάτων κατά την κορύφωση της αντιπυρικής περιόδου.

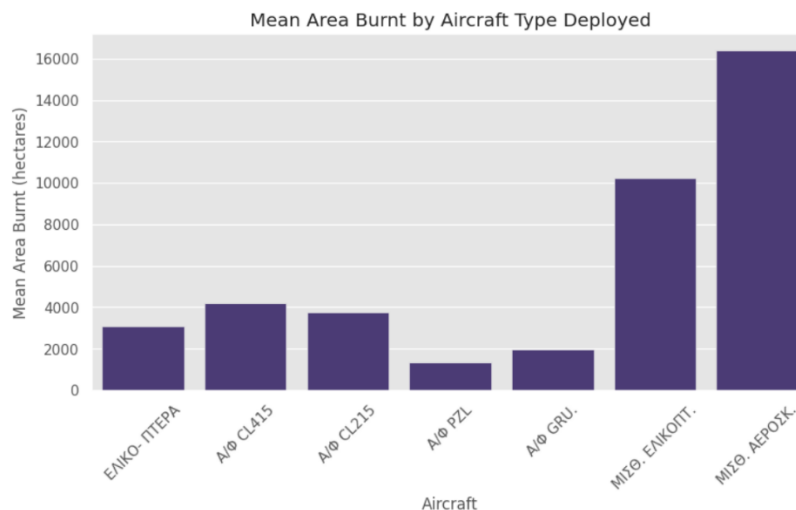


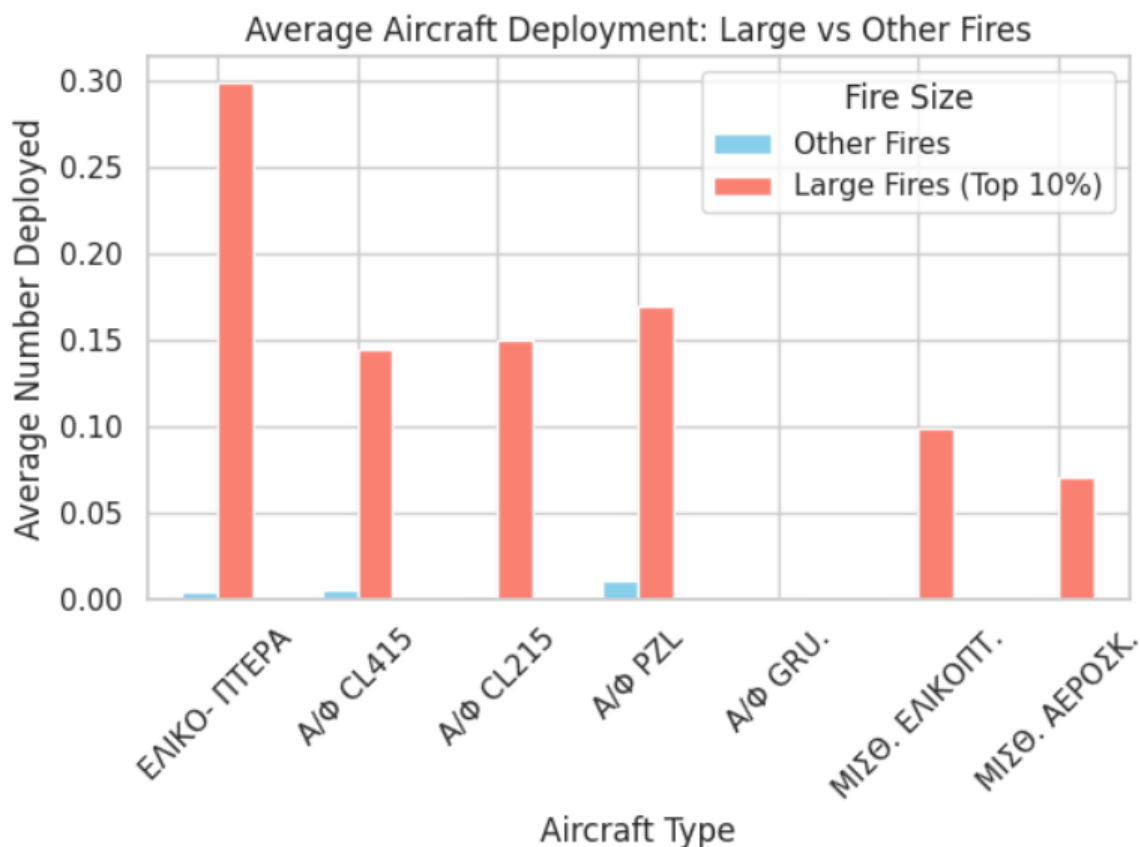
- **Κινητοποίηση Πόρων και Μέγεθος Πυρκαγιάς:**

- ο **Σχέση Προσωπικού-Καμένης Έκτασης:** Το διάγραμμα διασποράς (Scatter plot) που απεικονίζει τη σχέση μεταξύ της συνολικής καμένης έκτασης (Total\_Area\_Impacted) και του συνολικού προσωπικού που κινητοποιήθηκε (Total\_Personnel) έδειξε ότι πολλά σημεία βρίσκονται κάτω από το regression line (ένδειξη trend). Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ως ένδειξη ότι **η μαζική κινητοποίηση προσωπικού, αν και αποτελεί αντίδραση σε ήδη μεγάλες ή επικίνδυνες πυρκαγιές, ενδεχομένως συμβάλλει στον περιορισμό της τελικής έκτασης** σε σχέση με το τι θα μπορούσε να συμβεί χωρίς την αντίστοιχη παρέμβαση.



- **Χρήση Εναέριων Μέσων:** Η ανάλυση της μέσης καμένης έκτασης για πυρκαγιές όπου χρησιμοποιήθηκαν (ή όχι) εναέρια μέσα, και ειδικότερα τα μέσα υψηλότερου κόστους/δυνατοτήτων, έδειξε ότι αυτά τα μέσα **κινητοποιούνται κατά κύριο λόγο σε συμβάντα που έχουν ήδη αποκτήσει σημαντικές διαστάσεις**. Το εύρημα αυτό υποστηρίζει την άποψη μιας **αντιδραστικής στρατηγικής** στην κατανομή των κρίσιμων εναέριων πόρων, εστιάζοντας σε πυρκαγιές που έχουν ήδη εκδηλώσει μεγάλη δυναμική.





## 5.2 Συνοπτικά Ευρήματα για Παράγοντες που Σχετίζονται με Μεγάλες Πυρκαγιές

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, οι παράγοντες που, βάσει της παρούσας διερευνητικής ανάλυσης, φαίνεται να συνδέονται ισχυρότερα με τις πυρκαγιές μεγάλης κλίμακας (μεγαλύτερη καμένη έκταση) είναι:

- **Χρόνος:** Η θερινή περίοδος (ιδίως ο **Αύγουστος**) και, παραδόξως, η **έναρξη της πυρκαγιάς τις πρώτες πρωινές ώρες (~3 π.μ.)**.
- **Τύπος Γης:** Οι πυρκαγιές που επηρεάζουν **Δάση και Δασικές Εκτάσεις**.
- **Αντίδραση:** Οι μεγάλες πυρκαγιές πυροδοτούν τη μαζική κινητοποίηση **προσωπικού και εξειδικευμένων εναέριων μέσων**, υποδηλώνοντας μια συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους της πυρκαγιάς και της κλίμακας της αντίδρασης, η οποία φαίνεται να είναι κυρίως αντιδραστική όσον αφορά την ανάπτυξη των πόρων υψηλής αξίας.



## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα ευρήματα της διερευνητικής ανάλυσης δεδομένων παρέχουν σημαντικές ενδείξεις για τα χαρακτηριστικά και τους παράγοντες που συνδέονται με τις πυρκαγιές στην Ελλάδα, με ιδιαίτερη έμφαση σε αυτές που εξελίσσονται σε συμβάντα μεγάλης κλίμακας.

Οι προτεινόμενες κατευθύνσεις για τη βελτίωση της διαχείρισης μεγάλων πυρκαγιών περιλαμβάνουν την ενίσχυση προληπτικών μέτρων σε ζώνες υψηλής συχνότητας (π.χ. Αττική) και η βελτιστοποίηση της νυχτερινής/πρωινής ετοιμότητας με τεχνολογικές λύσεις (θερμικές κάμερες, drones) για την έγκαιρη αντιμετώπιση πυρκαγιών που εκδηλώνονται στις πρώτες πρωινές ώρες και συσχετίζονται με εκτεταμένες καταστροφές. Τέλος, προτείνεται η αξιολόγηση των στρατηγικών κινητοποίησης πόρων, με έμφαση στην αποδοτικότητα των εναέριων μέσων και την υιοθέτηση πιο προληπτικών προσεγγίσεων για πυρκαγιές σε περιοχές υψηλού κινδύνου.

Για την περαιτέρω ανάλυση προτείνεται η ενσωμάτωση κρίσιμων εξωτερικών δεδομένων, όπως λεπτομερή μετεωρολογικά και γεωχωρικά δεδομένα, για την καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των πυρκαγιών. Ακολουθεί η ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων μηχανικής μάθησης που θα εκτιμούν την πιθανότητα μιας πυρκαγιάς να εξελιχθεί σε μεγάλη κλίμακα, με βάση αρχικές συνθήκες.. Τέλος, απαιτείται προχωρημένη γεωχωρική ανάλυση για τον εντοπισμό και τη μελέτη περιοχών με συστηματικά υψηλή σοβαρότητα πυρκαγιών, συσχετιζόμενων με παράγοντες όπως το ανάγλυφο, η καύσιμη ύλη και η προσβασιμότητα.