

**Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**  
Σχολή Θετικών και εφαρμοσμένων Επιστημών

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών**  
**Πληροφοριακά και Επικοινωνιακά Συστήματα**  
**Μεταπτυχιακή Διατριβή**



**Ευφυή συστήματα Υποστήριξης Απόφασης για Δασικές**  
**Πυρκαγιές: Συσχέτιση Προβλημάτων - Μεθοδολογιών**  
**(Intelligent Decision Support Systems for Forest Fires**  
**Management: Association of Problems and**  
**Methodologies)**

**Τσαμασλίδης Ηρακλής**

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια**  
**Αθηνά Τοκατλίδου**

**Μάιος 2019**

**Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου**  
**Σχολή Θετικών και εφαρμοσμένων Επιστημών**

**Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών**  
**Πληροφοριακά και Επικοινωνιακά Συστήματα**  
**Μεταπτυχιακή Διατριβή**

**Ευφυή συστήματα Υποστήριξης Απόφασης για Δασικές**  
**Πυρκαγιές: Συσχέτιση Προβλημάτων - Μεθοδολογιών**  
**(Intelligent Decision Support Systems for Forest Fires**  
**Management: Association of Problems and**  
**Methodologies)**

**Τσαμασλίδης Ηρακλής**

**Επιβλέπουσα Καθηγήτρια**  
**Αθηνά Τοκατλίδου**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στα πληροφοριακά και επικοινωνιακά συστήματα από τη Σχολή Θετικών και εφαρμοσμένων επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Μάιος 2019



## Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή διερευνά την συνεργασία δύο επιστημονικών περιοχών και μελέτα τις προτάσεις εξεύρεσης λύσεων στα προβλήματα της δασοπονίας και συγκεκριμένα σ' αυτό των δασικών πυρκαγιών μέσω της τεχνητής νοημοσύνης. Στόχος της διατριβής είναι ο εντοπισμός, μέσω έρευνας στη διεθνή βιβλιογραφία, των περιπτώσεων όπου γίνεται χρήση ευφυών συστημάτων υποστήριξης λήψης απόφασης για την επίλυση του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών, καθώς και η κατηγοριοποίηση των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται και των προβλημάτων που επιλύουν, ώστε να εντοπιστούν οι συσχετίσεις τους και να προκύψουν εν τέλει χρήσιμα συμπεράσματα για την συνεργασία των δύο επιστημονικών περιοχών στον συγκεκριμένο τομέα.

Η διατριβή διαιρείται σε τρία μέρη. Στο πρώτο εξ αυτών γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση γύρω από το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών ώστε να αναδειχθεί η σημασία εξεύρεσης λύσεων για το πρόβλημα. Στο δεύτερο, περιγράφονται σύντομα τα ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και ο τρόπος λειτουργίας τους. Τέλος στο τρίτο μέρος, το οποίο αποτελεί τον πυρήνα και την πρωτοτυπία της μεταπτυχιακής διατριβής, ερευνώνται οι μεθοδολογίες τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται στην επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με τις δασικές πυρκαγιές. Οι μεθοδολογίες αυτές κατηγοριοποιούνται σε συνδυασμό με τα προβλήματα τα οποία επιλύουν, εντοπίζονται οι συσχετίσεις μεταξύ τους και αναλύονται τα συμπεράσματα.

Από την έρευνα προκύπτουν χρήσιμα συμπεράσματα για τις μεθοδολογίες τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιούν οι ερευνητές για την επίλυση των προβλημάτων που σχετίζονται με τις δασικές πυρκαγιές. Με βαθύτερη ανάλυση των ευρημάτων της έρευνας αποκαλύπτονται στοιχεία σχετικά με τη χρήση συγκεκριμένων μεθοδολογιών για συγκεκριμένες πτυχές του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών και συσχετισμοί των προβλημάτων και των μεθοδολογιών.

Τέλος γίνεται φανερό ότι η συνεργασία των δύο επιστημονικών περιοχών είναι επωφελής και αποδεικνύεται ότι η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να προσφέρει σπουδαία εργαλεία για την επίλυση του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών και προφανώς για ανάλογα προβλήματα σε άλλες επιστημονικές περιοχές.

## Summary

This dissertation explores the collaboration of two scientific areas and studies the proposals to find solutions to the problems of forestry and in particular that of forest fires through artificial intelligence. The aim of the dissertation is to identify, through research in the international literature, those cases where intelligent decision support systems are used to assist to the solution of the problem of forest fires, as well as the categorization of the methodologies used and the problems they solve in order to identify the correlations and finally to draw useful conclusions on the cooperation between the two scientific areas.

The dissertation is divided into three parts. In the first one, a bibliographic review of forest fires' problem is conducted in order to emphasize the importance of finding solutions of the problem. In the second, intelligent decision support systems are briefly reviewed. Finally, in the third part, which represents the core and the original contribution of this thesis, are studied the artificial intelligence methodologies used to solve problems related to forest fires. These methodologies are categorized in association with the problems they try to solve, the correlations between them are identified and the conclusions are analyzed.

Useful findings result from the research on artificial intelligence methodologies used by the researchers in order to solve forest fire related problems. A deeper analysis of these findings, reveals interesting patterns on the use of specific methodologies for specific aspects of the forest fires problem, relating the nature of the problem and the methodologies.

Finally, it becomes obvious that cooperation between these two scientific areas is certainly beneficial in solving the problem, as well as the fact that in the future artificial intelligence can provide great tools for solving the problem of forest fires and arguably similar problems in other scientific areas.

## Ευχαριστίες

Η συγγραφή αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής για μένα σημαίνει το τέλος μίας δύσκολης αλλά παράλληλα εποικοδομητικής περιόδου μέσα στην οποία πραγματοποιήθηκε η παρακολούθηση των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Ήταν μια περίοδος η οποία στο τέλος δυσκόλεψε πολύ και η επιτυχής ολοκλήρωση των σπουδών για ένα διάστημα έμοιαζε με κάτι ακατόρθωτο. Είναι γεγονός όμως, ότι τίποτα δεν είναι ακατόρθωτο για κανέναν. Είναι βέβαιο ότι προκειμένου να καταφέρω αυτό που έμοιαζε ακατόρθωτο, ήταν απαραίτητη η συνδρομή κάποιων ανθρώπων που είτε μου παρείχαν ψυχολογική στήριξη εν γνώση τους ή όχι, είτε συνέδραμαν με τις γνώσεις τους και το ερευνητικό τους έργο ή και ακόμα θυσιάζοντας τον προσωπικό τους χρόνο προκειμένου να με βοηθήσουν.

Οι αρχικές μου ευχαριστίες απευθύνονται σε όλους τους καθηγητές που συνάντησα στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα των πληροφοριακών συστημάτων του Ανοιχτού Πανεπιστημίου Κύπρου για την υποστήριξη και την καθοδήγηση στην πορεία προς την ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Οι πιο θερμές μου ευχαριστίες απευθύνονται στην επιβλέπουσα καθηγήτρια της μεταπτυχιακής μου διατριβής, κα Αθηνά Τοκατλίδου, για την απεριόριστη υποστήριξη, εμπιστοσύνη, ψυχολογική στήριξη και υπομονή που μου έδειξε όλο αυτό το διάστημα, καθώς και για τις γνώσεις που απλόχερα μου μετέδωσε. Είναι βέβαιο ότι χωρίς τη συνδρομή της δεν θα ολοκληρωνόταν ποτέ αυτή η μεταπτυχιακή διατριβή και κατ' επέκταση και οι σπουδές μου.

Ειδικές ευχαριστίες στον κο Σπύρο Καλούδη, Αναπληρωτή καθηγητή, του Γενικού Τμήματος του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, που παρότι δεν τον γνώρισα από κοντά η συνδρομή του στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ήταν εξαιρετικά σημαντική και καθοριστική για την επιτυχή της ολοκλήρωση.

Ειδικές ευχαριστίες στο καλό μου φίλο και συνάδελφο Τάσο Μαρκόπουλο που χωρίς να το καταλαβαίνει με στηρίζει ψυχολογικά και με βοηθά κάθε μέρα!

Ευχαριστώ με όλη μου την κάρδια την Αλεξάνδρα μου και την οικογένεια μου που μου δίνουν δύναμη να συνεχίζω και να εκπληρώνω τους στόχους μου και τα όνειρα μου!

**Αλεξάνδρα, Νικολέτα, Θεόφιλε, Μαμά, Μπαμπά, Μάρθα & γιαγιά Μάρθα σας ευχαριστώ για όλα!**

Ηρακλής Ν. Τσαμασλίδης

## Περιεχόμενα

|  |    |
|--|----|
| <b>Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου</b> .....                                   | 1  |
| <b>Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου</b> .....                                   | 2  |
| Περίληψη .....   | 4  |
| Summary.....   | 5  |
| Ευχαριστίες .....  | 6  |
| Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή .....  | 9  |
| 1.1 Στόχος της μεταπτυχιακής διατριβής.....                                | 9  |
| 1.2 Ερευνητικά ερωτήματα .....   | 10 |
| 1.3 Μεθοδολογία.....   | 11 |
| 1.4 Δομή μεταπτυχιακής διατριβής.....                                      | 11 |
| Κεφάλαιο 2 Δασικές Πυρκαγιές.....  | 13 |
| 2.1 Δάση και δασικές πυρκαγιές.....  | 14 |
| 2.2 Κίνδυνος δασικής πυρκαγιάς .....                                       | 15 |
| 2.3 Αιτίες πρόκλησης δασικών πυρκαγιών.....                                | 16 |
| 2.4 Κατηγορίες δασικών Πυρκαγιών.....                                      | 18 |
| 2.5 Δασικές πυρκαγιές και κλιματική αλλαγή.....                            | 21 |
| 2.6 Πρόληψη δασικών Πυρκαγιών .....  | 22 |
| 2.7 Διαχείριση δασικών πυρκαγιών.....                                      | 24 |
| Κεφάλαιο 3 Ευφυή Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων.....                      | 27 |
| 3.1 Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων.....                                   | 28 |
| 3.2 Μεθοδολογίες ανάπτυξης συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων .....          | 29 |
| 3.3 Τι είναι τα ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων .....                | 30 |
| 3.4 Μεθοδολογίες Ευφυών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων .....             | 32 |
| 3.4.1 Νευρωνικά δίκτυα.....  | 32 |
| 3.4.2 Fuzzy Logic .....  | 34 |
| 3.4.3 Support Vector Machines (SVM).....                                   | 35 |
| 3.4.4 Agents .....   | 36 |
| 3.4.5 Genetic Algorithms.....  | 37 |
| 3.4.6 Rule Based Systems.....  | 38 |
| 3.4.7 Μηχανική μάθηση.....   | 39 |
| 3.5 Χρήση ευφυών μεθοδολογιών στα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων          | 39 |
| Κεφάλαιο 4 Δασικές Πυρκαγιές & Ευφυή Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων ..... | 41 |
| 4.1 Εισαγωγή.....  | 41 |
| 4.2 Μεθοδολογία.....   | 43 |
| 4.3 Έρευνα.....  | 44 |
| 4.4 Ανάλυση - Αποτελέσματα .....   | 52 |

|     |                                      |    |
|-----|--------------------------------------|----|
| 4.5 | Συμπεράσματα .....                   | 70 |
| 4.6 | Μελλοντική Επέκταση της Έρευνας..... | 72 |
| 4.7 | Επίλογος.....                        | 73 |
|     | Παράρτημα.....                       | 75 |
|     | Βιβλιογραφία.....                    | 79 |

### **ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

|   |    |
|---|----|
| ΕΙΚΟΝΑ 1- ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ .....            | 15 |
| ΕΙΚΟΝΑ 2- ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ.....           | 18 |
| ΕΙΚΟΝΑ 3- ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΉ ΑΛΛΑΓΉ..... | 21 |

### **ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ**

|  |    |
|--|----|
| ΓΡΑΦΗΜΑ 1 -FOREST FIRES PROBLEMS REPORTED IN PAPERS .....                                | 55 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 2-FOREST FIRES PROBLEMS/NO OF PAPERS .....                                       | 56 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 3- PERCENTAGE OF A.I. METHODOLOGIES REPORTED IN PAPERS.....                      | 57 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 4- PERCENTAGE OF A.I. METHODOLOGIES.....   | 58 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 5-ASSOCIATION OF PROBLEMS AND METHODOLOGIES .....                                | 59 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 6- ASSOCIATION OF METHODOLOGIES AND PROBLEMS .....                               | 61 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 7- FIRE DETECTION/MONITORING (FDM) .....   | 62 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 8-ESTIMATION OF BURNED AREA (EBA) .....  | 62 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 9- FIRE DANGER ASSESMENT (FDA) .....   | 63 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 10- FOREST FIRE EVOLUTION (FE).....  | 64 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 11-FOREST FIRE SPREAD PREDICTION (FSP).....                                      | 64 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 12- FOREST FIRE PREVENTION (FP).....   | 65 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 13- FIRE PREDICTION INDEX /FACTORS (FPIF).....                                   | 65 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 14- NUMBER OF DIFFERENT METHODOLOGIES AND PAPERS PER<br>FOREST FIRE PROBLEM..... | 66 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 15-METHODOLOGIES USED IN PAPERS PER YEAR.....                                    | 68 |
| ΓΡΑΦΗΜΑ 16-PROBLEMS REFERRED IN PAPERS PER YEAR.....                                     | 69 |

### **ΠΙΝΑΚΕΣ**

|  |    |
|--|----|
| ΠΙΝΑΚΑΣ 1- ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ .....            | 20 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 2- ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ..... | 53 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 3- ΕΥΦΥΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ.....                     | 54 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 4- ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ 1& 2 .....                | 75 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 5 -ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ 3 &4.....                 | 75 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 6 -ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ 14 .....                  | 75 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 7 -ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ 5 ΕΩΣ 13 .....            | 76 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 8 -ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ 15 .....                  | 77 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ 9 -ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ 16 .....                  | 78 |



# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε μια τεράστια αύξηση στις συζητήσεις της επιστημονικής κοινότητας αλλά ακόμα και της ίδια της κοινωνίας σχετικά με την τεχνητή νοημοσύνη. Η τεχνητή νοημοσύνη και οι μεθοδολογίες της, έκαναν την εμφάνισή τους πολλά χρόνια πριν και η ανάπτυξη τους στη διάρκεια των ετών ακολούθησε μια σχετικά ομαλή πορεία με την παρουσίαση νέων τεχνολογιών και μεθοδολογιών μέχρι και τα πρώτα χρόνια του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Παρότι τα τελευταία χρόνια δεν έχουν εμφανιστεί νέες μεθοδολογίες η συζήτηση για την τεχνητή νοημοσύνη γίνεται πιο έντονη, με πληθώρα επιστημονικών περιοχών να χρησιμοποιούν τεχνητή νοημοσύνη για την επίλυση προβλημάτων. Είναι βέβαιο ότι αποτελεί μια επιστημονική περιοχή η οποία είναι ραγδαία αναπτυσσόμενη περισσότερο κυρίως λόγω του συνδυασμού της με άλλες επιστημονικές περιοχές αλλά και λόγω της αύξησης της ισχύος των υπολογιστικών συστημάτων. Αυτή η ραγδαία αύξηση της ισχύος των υπολογιστικών συστημάτων την τελευταία δεκαετία επέτρεψε τη χρήση μεθοδολογιών τεχνητής νοημοσύνης σε πολλούς επιστημονικούς και επιχειρησιακούς κλάδους με στόχο την βελτίωση της καθημερινότητας και την επίλυση προβλημάτων.

### 1.1 Στόχος της μεταπτυχιακής διατριβής

Στο πλαίσιο της συμβολής της τεχνητής νοημοσύνης σε πολλές επιστημονικές περιοχές, η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εξετάζει τη συνεργασία δύο επιστημονικών περιοχών και συγκεκριμένα της δασοπονίας και της τεχνητής νοημοσύνης με στόχο την επίλυση προβλημάτων της πρώτης. Αναλυτικότερα εξετάζεται το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών και η βοήθεια από τα ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων από την πλευρά της τεχνητής νοημοσύνης. Πρωταρχικός στόχος της μεταπτυχιακής διατριβής είναι να διερευνηθεί η διεθνής βιβλιογραφία για περιπτώσεις όπου έχουν επιλεγεί ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων για την επίλυση των προβλημάτων που σχετίζονται με τις δασικές πυρκαγιές. Στη συνέχεια να κατηγοριοποιήσει τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται από τα ευφυή συστήματα

υποστήριξης αποφάσεων στα επιμέρους προβλήματα στον ευρύτερο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών. Η μελέτη αυτής της κατηγοριοποίησης θα αποκαλύψει συσχετίσεις μεταξύ των επιμέρους προβλημάτων των δασικών πυρκαγιών και των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούν τα ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και θα παρέχει συμπεράσματα σχετικά με τη συνεργασία των δύο επιστημονικών περιοχών.

## **1.2 Ερευνητικά ερωτήματα**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή προκειμένου να επιτύχει το στόχο της πρέπει να απαντήσει σε συγκεκριμένα ερωτήματα σχετικά με τα ευφυή συστήματα υποστήριξης απόφασης και τις δασικές πυρκαγιές. Αρχικά ερευνάται το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών ώστε να διαφανεί το μέγεθος του προβλήματος και η δυσκολία διαχείρισης του από παραδοσιακές τεχνολογίες, μεθοδολογίες ή και μέσω μόνο του ανθρώπινου παράγοντα. Συμπερασματικά το πρώτο ερώτημα που προκύπτει είναι εάν υπάρχει αναγκαιότητα γύρω από το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών για χρήση νέων μεθοδολογιών καθώς αυτές που χρησιμοποιούνται ως σήμερα δεν επαρκούν σε όλες τις περιπτώσεις. Έπειτα περιγράφεται η περιοχή των ευφυών συστημάτων έτσι ώστε να σκιαγραφηθεί η δυνατότητα των ευφυών συστημάτων να προσφέρουν λύσεις για την επίλυση προβλημάτων σε διάφορους τομείς. Αντίστοιχα το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα είναι εάν τα ευφυή συστήματα υποστήριξης απόφασης είναι ικανά να προσφέρουν λύσεις σε προβληματικές περιοχές που δεν επαρκούν οι παραδοσιακές μεθοδολογίες και μέθοδοι. Το τρίτο ερώτημα είναι πολλαπλό και αποτελεί και την ουσία της μεταπτυχιακής διατριβής καθώς έχει σχέση με τη συνεργασία των δύο περιοχών, όπως απαντάται στη διεθνή βιβλιογραφία και πρακτική, και την χρήση ευφυών συστημάτων και μεθοδολογιών τεχνητής νοημοσύνης. Συμπερασματικά ερευνάται εάν υπάρχει στη διεθνή βιβλιογραφία συνεργασία των δύο περιοχών και χρήση μεθοδολογιών τεχνητής νοημοσύνης για την αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών, εάν από την μελέτη αυτής της συνεργασίας των περιοχών προκύπτουν συσχετίσεις μεταξύ των προβλημάτων και των μεθοδολογιών και εάν από αυτές τις συσχετίσεις προκύπτουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Η έρευνα δεν ανασκοπεί απλά την περιοχή αλλά αποτελεί μια προσπάθεια να ερευνηθεί σε βάθος αν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ προβλημάτων και μεθοδολογιών, και τα συμπεράσματα της να αποτελέσουν μια ενδιαφέρουσα βάση για την επιλογή κατάλληλων μεθοδολογιών για την επίλυση

προβλημάτων στις δασικές πυρκαγιές αλλά και δυνάμει σε άλλες επιστημονικές περιοχές.

## **1.3 Μεθοδολογία**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή βασίζεται στην συλλογή πηγών σχετικά με τα προβλήματα που σχετίζονται με τις δασικές πυρκαγιές ώστε να αναδειχθεί το σημαντικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται από την επιστημονική κοινότητα και έπειτα στην συλλογή πηγών για την περιγραφή των κυριότερων μεθοδολογιών τεχνητής νοημοσύνης (που επιλέγονται για την αντιμετώπιση τους) όπως περιγράφονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Αρχικά συλλέχθηκαν από διεθνείς βάσεις δημοσιευμένων εργασιών σχετικές με το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών εργασίες (144 εργασίες). Ακολούθησε διαλογή αυτών ώστε να εντοπιστούν εργασίες που έχουν σχέση με συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (101 εργασίες). Ακολούθησε εκ νέου διαλογή των εργασιών ώστε να επιλεγθούν αυτές που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα με ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και τη χρήση ευφύων μεθοδολογιών (69 εργασίες) και στο τελικό στάδιο επιλέχθηκαν οι εργασίες που ανταποκρίνονται πλήρως στο ερευνητικό ερώτημα (43 εργασίες). Στο επόμενο στάδιο έγινε καταγραφή των προβλημάτων και των μεθοδολογιών και ανάλυση τους μέσω πινάκων και διαγραμμάτων τα οποία παρουσιάζονται στο παράρτημα καθώς και στο κεφάλαιο 4. Στο τελευταίο μέρος της μεταπτυχιακής γίνεται καταγραφή των συμπερασμάτων και συζήτηση για μελλοντική ερευνητική εργασία.

## **1.4 Δομή μεταπτυχιακής διατριβής**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αποτελείται από 4 μέρη. Στο πρώτο μέρος ορίζονται ο σκοπός και τα ερευνητικά ερωτήματα, τεκμηριώνεται η σημασία και η πρωτοτυπία της διατριβής, περιγράφεται η μεθοδολογία και παρουσιάζεται η δομή της. Στο δεύτερο μέρος ανασκοπείται το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών ώστε να προκύψει μέσα από τη βιβλιογραφική διερεύνηση, η αναγκαιότητα για την αντιμετώπιση του προβλήματος καθώς οι συνέπειες του είναι καταστροφικές. Στο τρίτο μέρος ανασκοπούνται τα ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων ώστε να διαφανεί η δυνατότητα να παρέχουν λύσεις σε προβλήματα σε διάφορες επιστημονικές περιοχές. Στο τέταρτο μέρος ερευνάται η διεθνής βιβλιογραφία για τον εντοπισμό περιπτώσεων χρήσης ευφύων

συστημάτων και μεθοδολογιών τεχνητής νοημοσύνης για την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με τις δασικές πυρκαγιές. Οι μεθοδολογίες αυτές καθώς και το προβλήματα κατηγοριοποιούνται και εξετάζονται οι συσχετίσεις μεταξύ τους. Μέσω της εξέτασης των συσχετίσεων προκύπτουν αποτελέσματα για τη χρήση των μεθοδολογιών τεχνητής νοημοσύνης για την επίλυση του προβλήματος τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά. Επίσης στο τελευταίο μέρος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής περιγράφονται συνοπτικά η σημασία και ο σκοπός της έρευνας που διενεργήθηκε, επιχειρείται γενίκευση των συμπερασμάτων, τίθενται οι περιορισμοί της έρευνας και προτείνονται νέα ερευνητικά ζητήματα.

# Κεφάλαιο 2

## Δασικές Πυρκαγιές

Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα φαινόμενο το οποίο μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Οι δασικές πυρκαγιές έχουν κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, που ξεκινούν από την περίοδο της καύσης και συνεχίζουν να επιδρούν μέχρι και δεκαετίες μετά, ιδίως σε περιπτώσεις όπου οι πυρκαγιές είναι μεγάλης έκτασης. Αναλυτικότερα, οι πυρκαγιές επηρεάζουν την ανθρώπινη ζωή και την υγεία, την ανθρώπινη ιδιοκτησία και την ευημερία, την πολιτιστική και φυσική κληρονομιά, την απασχόληση, την αναψυχή, τις οικονομικές και κοινωνικές υποδομές και δραστηριότητες, την ποιότητα του αέρα και την ισορροπία των αερίων του θερμοκηπίου. Μπορεί επίσης να έχουν αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον που ζουν και αναπτύσσονται πληθυσμοί, στα δένδρα, στα φυτά, στις ζωικές και μικροβιακές κοινότητες, καθώς και στη βιοποικιλότητα γενικότερα.

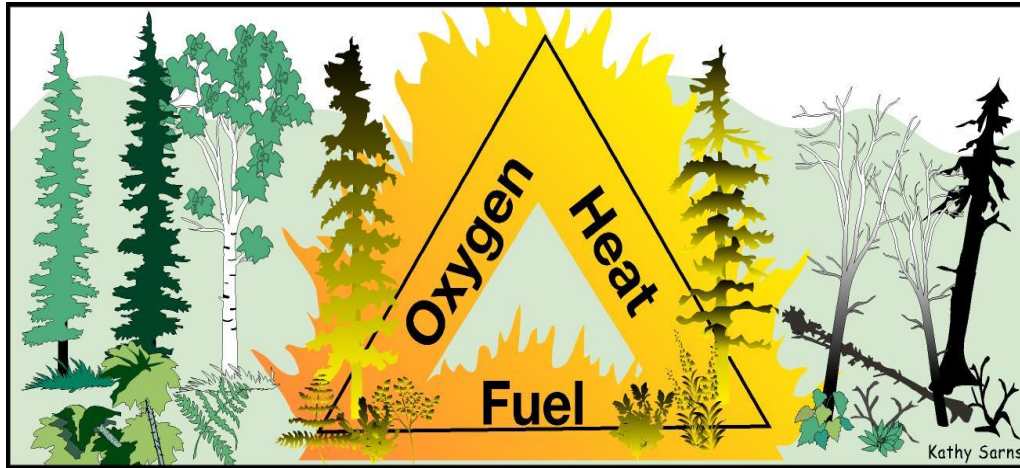
Η απειλή που προκύπτει από τις δασικές πυρκαγιές βραχυπρόθεσμα αλλά και μακροπρόθεσμα για το οικοσύστημα, την ανθρώπινη ζωή αλλά και τις περιουσίες των ανθρώπων είναι αυτή που αναγάγει το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών σε ένα πρόβλημα βαρύνουσας σημασίας για το οποίο πρέπει να βρεθούν τρόποι αντιμετώπισης.

Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα φαινόμενο που μπορεί να οφείλεται σε παράγοντες και αιτίες που η ίδια η φύση ορίζει, όπως είναι οι κεραυνοί, είτε σε ανθρώπινη παρέμβαση. Στο επόμενο τμήμα της μεταπτυχιακής διατριβής ακολουθεί συνοπτική περιγραφή των κυριότερων παραμέτρων των δασικών πυρκαγιών όπως είναι, ο κίνδυνος για έναρξη πυρκαγιάς, οι κατηγορίες πυρκαγιών, τα αίτια πρόκλησης τους, και οι τρόποι αντιμετώπισης τους, ώστε να είναι εφικτό στη συνέχεια να κατηγοριοποιηθούν τα επιμέρους προβλήματα τα σχετικά με τις δασικές πυρκαγιές που προσπαθεί να λύσει η επιστημονική κοινότητα με τη χρήση ευφυών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων και τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης.

## 2.1 Δάση και δασικές πυρκαγιές

Τα δάση και τα δασικά οικοσυστήματα έχουν ζωτική σημασία για την κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα και ανάπτυξη. Τα δάση διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις αγροτικές και αστικές κοινότητες παρέχοντας αγαθά και υπηρεσίες. Αποτελούν σημαντικό οικονομικό παράγοντα και παράλληλα συνιστούν πολύπλοκα, δυναμικά και πολύτιμα φυσικά οικοσυστήματα που διευκολύνουν και προάγουν τη βιοποικιλότητα. Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν αναπόσπαστο μέρος για ορισμένα είδη δασών στην Ευρώπη (ιδιαίτερα για τα δάση της Μεσογείου) και σε άλλες περιοχές του πλανήτη, αλλά επίσης θεωρούνται απειλή και πρόβλημα λόγω της αυξημένης συχνότητας επανεμφάνισής τους και των καταστροφικών συνεπειών τους **(Sletnes 2010)**.

Ο βαθμός απειλής μιας δασικής πυρκαγιάς εξαρτάται από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Μια δασική πυρκαγιά είναι ένας βίαιος συνδυασμός οξυγόνου, καύσιμης ύλης και θερμότητας (εικόνα 1). Το οξυγόνο υπάρχει στον ατμοσφαιρικό αέρα σε ποσοστό μεγαλύτερο από αυτό που έχει ανάγκη μια φωτιά για να εξελιχθεί **(Rawat 2003)**. Δεδομένου ότι το οξυγόνο βρίσκεται ελεύθερο στην ατμόσφαιρα το σημαντικό στοιχείο για την έναρξη μιας δασικής πυρκαγιάς είναι η δασική καύσιμη ύλη και η θερμότητα. Σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές αλλαγές στη χρήση γης έχουν επηρεάσει τη διασύνδεση δασικών και αγροτικών περιοχών και έχουν ως αποτέλεσμα αυξημένες ποσότητες καύσιμης ύλης και υψηλότερη έκθεση των δασικών περιοχών σε πυρκαγιές. Μετακινήσεις πληθυσμών από αγροτικές σε αστικές περιοχές, εγκατάλειψη παραδοσιακών χρήσεων γης σε αγροτικό περιβάλλον, μειωμένη χρήση δασών για παραγωγή πρώτων υλών, αυξημένες περίοδοι αναψυχής σε δασικές εκτάσεις, συνεχής ανάπτυξη της δασικής και αστικής διασύνδεσης, ανεπαρκής ενημέρωση και ευαισθητοποίηση του κοινού, ανεπαρκείς πολιτικές και η ανεπαρκής διαχείριση των δασών είναι μερικοί από τους βασικούς παράγοντες που οδηγούν σε αυξημένους κινδύνους δασικής πυρκαγιάς. Αυτοί οι παράγοντες συνέβαλαν στον αυξημένο αριθμό δασικών πυρκαγιών στην Ευρώπη τις τελευταίες δεκαετίες. Περισσότερες από 50.000 δασικές πυρκαγιές, προκαλούνται κάθε χρόνο στις πληγείσες χώρες, με ετήσιο μέσο όρο 500.000 εκτάρια καμένων δασών στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι δασικές πυρκαγιές που προκαλούνται από τον άνθρωπο αντιπροσωπεύουν περίπου το 95% του συνολικού αριθμού των πυρκαγιών **(Sletnes 2010)**.



ΕΙΚΟΝΑ 1- ΠΡΟΚΛΗΣΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ –  
ARTISTS RENDITION OF THE FIRE TRIANGLE - ΠΗΓΗ : USFWS ALASKA -  
[HTTPS://WWW.REDZONE.CO/2016/02/17/WILDFIRE-101-THE-FIRE-TRIANGLE-AND-THE-FIRE-TETRAHEDRON/](https://www.redzone.co/2016/02/17/wildfire-101-the-fire-triangle-and-the-fire-tetrahedron/)

## 2.2 Κίνδυνος δασικής πυρκαγιάς

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν μέρος του οικολογικού κύκλου ενός οικοσυστήματος. Ωστόσο, κατά τις τελευταίες δεκαετίες, αντιμετωπίζονται ως πρόβλημα λόγω της αύξησης των καμένων εκτάσεων και των τεράστιων συνεπειών που προκαλούνται από αυτές. Γεγονότα όπως η εγκατάλειψη των αγροτικών περιοχών που συμβάλει στην αύξηση της συσσώρευσης της βιομάζας, οι μακροχρόνιες πρακτικές αποκλεισμού από πυρκαγιές και η επέκταση της κλιματικής αλλαγής έχουν ως αποτέλεσμα αυξημένο κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιών. **(Sletnes 2010)**

Ο κίνδυνος εκδήλωσης και επέκτασης μιας πυρκαγιάς σχετίζεται άμεσα με το πόσο εύφλεκτη είναι η καύσιμη ύλη σε συνδυασμός με τις μετεωρολογικές συνθήκες και αποτελεί γενικότερα σημαντικό στοιχείο μελέτης σχετικά με τις πυρκαγιές. Ο πιο κοινά αποδεκτός ορισμός του κινδύνου πυρκαγιάς είναι ο εξής: «προκύπτουν πρότυπο του συνδυασμού σταθερών και μεταβλητών παραγόντων που επηρεάζουν την εκκίνηση, τη διάδοση και τη δυσκολία ελέγχου της πυρκαγιάς σε μια περιοχή» **(Bradshaw et al. 1984)**.

Ο κίνδυνος δασικής πυρκαγιάς μπορεί να οριστεί ως συνάρτηση του παράγοντα κινδύνου πυρκαγιάς, και της έκθεσης του υποκειμένου (π.χ. δάση ή άλλες δομές) στον κίνδυνο, μειωμένη από την ικανότητα των αρμόδιων φορέων να τον μετριάσουν και να

τον αντιμετωπίσουν. Αυξάνεται εκθετικά ως αποτέλεσμα της υψηλής και αυξανόμενης πληθυσμιακής πυκνότητας **(Tedim, Leone, and Xanthopoulos 2015)** και της πολυπλοκότητας των ζωνών μίξης δασικών περιοχών και οικισμών (WUI) και της αγροτικής και αστικής διεπαφής (RUI).

Ο κίνδυνος πυρκαγιάς είναι ένας παράγοντας μελέτης τον οποίο έχει επινοήσει ο άνθρωπος προκειμένου να διαχειριστεί το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών. Ο σχεδιασμός σχετικά με τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών βασίζεται στην εκτίμηση του κινδύνου της πυρκαγιάς και αφορά τη συχνότητα εκδήλωσης των πυρκαγιών και τις επιπτώσεις που έχουν στις δασικές και αστικές περιοχές. Με βάση την εκτίμηση κινδύνου, στη συνέχεια, διερευνώνται οι δυνατότητες βελτίωσης της κατάστασης μέσω δράσεων διαχείρισης **(Finney 2005)**.

Οι χώρες της Μεσογείου (η Πορτογαλία, η Ισπανία, τα νότια τμήματα της Γαλλίας, η Ιταλία, η Ελλάδα και η Κύπρος) αντιμετωπίζουν ιδιαίτερα σοβαρό πρόβλημα δασικών πυρκαγιών και από κοινού με την Αυστραλία, τον Καναδά και τις ΗΠΑ αντιμετωπίζουν ιδιαίτερα αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς εξαιτίας της διόγκωσης και επέκτασης του αστικού τους περιβάλλοντος **(Sletnes 2010)**.

Στην περίπτωση της Ελλάδας, οι πυρκαγιές άρχισαν να γίνονται πρόβλημα στη δεκαετία του '70. Μέχρι τη δεκαετία του 1960 θεωρούνταν ένα σχετικά μικρό πρόβλημα που αφορούσε κυρίως τους κάτοικους των χωριών, που αντιμετώπιζαν το φαινόμενο χωρίς να έχουν ακόμη στην διάθεση τους πυροσβεστικά οχήματα και με την καθοδήγηση του προσωπικού της Δασικής Υπηρεσίας. Λίγες πυροσβεστικές μηχανές της αστικής Πυροσβεστικής Υπηρεσίας ήταν περιστασιακά διαθέσιμες και δεν υπήρχαν διαθέσιμα εναέρια μέσα **(Xanthopoulos 2008)**.

## **2.3 Αιτίες πρόκλησης δασικών πυρκαγιών**

Όταν παρουσιάζονται περίοδοι ξηρασίας ή μετά από κάθε μεγάλης κλίμακας δασική πυρκαγιά η προσοχή στρέφεται στα δάση, στη διερεύνηση της πρόληψης των φυσικών πυρκαγιών, της πυρόσβεσης, των τεχνικών και οργανωτικών ζητημάτων της και των λόγων και των συνεπειών των δασικών πυρκαγιών. Οι αιτίες πρόκλησης πυρκαγιών έχουν άμεση σχέση με τις κατηγορίες των δασών. Τα δάση μπορούν να χωριστούν σε 3



κατηγορίες ανάλογα με τους τύπους των δένδρων και της βλάστησης τους (**Földi and Kuti 2016**) :

- φυλλοβόλα δάση (δρυς, οξιά, λεύκες).
- κωνοφόρα δάση (πεύκα, θάμνοι).
- μικτά δάση (μείγμα φυλλοβόλων και κωνοφόρων ειδών).

Οι παράμετροι ανάφλεξης και διάδοσης των δασικών πυρκαγιών είναι διαφορετικές στους διάφορους τύπους των δασών. Ένα φυλλοβόλο δάσος έχει γενικότερα υγρασία, επομένως δεν θεωρείται εύκολη η εκκίνηση μιας πυρκαγιάς. Στα κωνοφόρα δάση υπάρχει υψηλή περιεκτικότητα ρητίνης στα φύλλα και τους κορμούς των δέντρων που προκαλεί ευκολότερη ανάφλεξη και καύση. Περίπου το 75% των δασικών πυρκαγιών συμβαίνουν σε πευκοδάση και μόνο 25% σε δάση φυλλοβόλων. Όσον αφορά τις αιτίες πρόκλησης των δασικών πυρκαγιών, μπορούν να αναλυθούν στις κατηγορίες :

- **Φυσικές αιτίες και αβιοτικοί παράγοντες.**

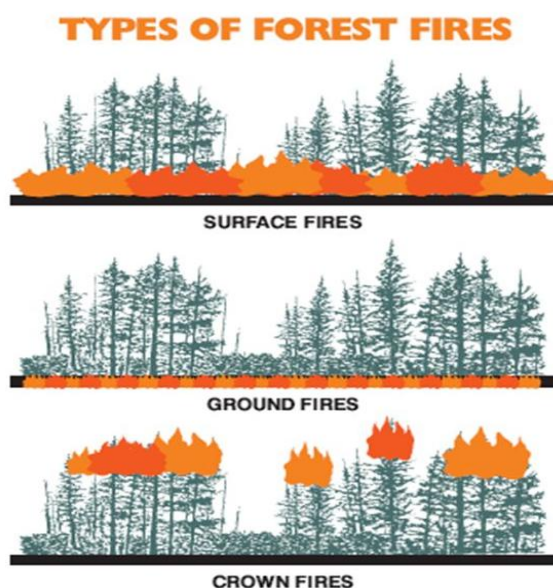
Οι αβιοτικοί παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση των φυσικών δασικών πυρκαγιών. Οι κυριότεροι αβιοτικοί παράγοντες που παίζουν ρόλο στην εκδήλωση πυρκαγιών είναι η υψηλή θερμοκρασία , η ποσότητα βροχοπτώσεων, το κλίμα , η ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα του ανέμου και η κατεύθυνση του καθώς και η μορφολογία του εδάφους. Οι παραπάνω παράγοντες και κυρίως το κλίμα είναι οι βασικές αιτίες πρόκλησης των φυσικών δασικών πυρκαγιών σε συνδυασμό με την βλάστηση της περιοχής. Σε περιοχές όπου υπάρχουν πευκοδάση και γενικά ξηρή βλάστηση, υψηλή θερμοκρασία και ισχυροί άνεμοι ευνοείται η εμφάνιση πυρκαγιών. Αυτές οι πυρκαγιές μπορεί να εκκινήσουν κατά κύριο λόγο, από αστραπές πριν ή και κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας ή από σπίθες που προκαλούνται από κατολισθήσεις και υποχωρήσεις βράχων. Οι αστραπές είναι ο λόγος εκκίνησης σχεδόν των μισών πυρκαγιών που προκύπτουν στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και του 8% των πυρκαγιών σε θάμνους στην Αυστραλία (**Rawat 2003**).

- **Ανθρωπογενείς αιτίες**

Ένα μεγάλο ποσοστό των πυρκαγιών οφείλεται στον ανθρώπινο παράγοντα και την ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι περισσότερες δασικές πυρκαγιές ξεκινούν λόγω ανθρώπινων σφαλμάτων, απροσεξιών ή είναι πυρκαγιές εκ προθέσεως. Σε όλο τον κόσμο είναι πολύ κοινό το φαινόμενο να καίγονται εκτάσεις προκειμένου να μπορούν μετέπειτα να καλλιεργηθούν.. Επίσης άλλες αιτίες είναι η απαγορευμένη ή αντικανονική φωτιά στο πλαίσιο περιορισμού της καύσιμης ύλης μιας περιοχής, το κάπνισμα στα δάση, ο τουρισμός με αυτοκίνητο ή μοτοσυκλέτα και η κατασκήνωση σε συνδυασμό με αντικανονικές φωτιές. Όλα τα παραπάνω αποτελούν αιτίες που έχουν ως βάση τον άνθρωπο και μπορούν να προκαλέσουν πολύ εύκολα πυρκαγιές σε συνδυασμό και με αβιοτικούς παράγοντες που περιγράφηκαν παραπάνω.

## 2.4 Κατηγορίες δασικών Πυρκαγιών

Οι δασικές πυρκαγιές δεν αφορούν μια μόνο περίπτωση αντιθέτως αν αναλυθούν μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα τον τρόπο που ξεκινούν, συμπεριφέρονται και εξαπλώνονται. Έχει μεγάλη σημασία ο τύπος της πυρκαγιάς που αντιμετωπίζεται σε κάθε δασική περιοχή καθώς αντίστοιχα μεταβάλλεται και ο τρόπος αντιμετώπισής της και η διαδικασία διαχείρισής τους. Οι τρεις βασικές κατηγορίες στις οποίες διαχωρίζονται οι δασικές πυρκαγιές είναι οι πυρκαγιές εδάφους, οι πυρκαγιές επιφάνειας ή έρπουσες και οι πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες (εικόνα 2).



ΕΙΚΟΝΑ 2- ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

ΠΗΓΗ: COURTESY INTERSTATE PUBLISHERS INC

[HTTPS://WWW.SLIDESHARE.NET/PARRC/INTRODUCTION-TO-FROESTRY](https://www.slideshare.net/PARRC/INTRODUCTION-TO-FROESTRY) (SL.65)

- **πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες**

Στις πυρκαγιές εδάφους καίγεται οργανική ύλη κάτω από την επιφάνεια του φυλλοστρώματος ή/και του εδάφους (υπόγειες πυρκαγιές) . Το κυριότερο χαρακτηριστικό τους είναι η αργή καύση και λόγω του γεγονότος ότι μπορεί να μην έχουμε ύπαρξη καπνού γίνονται πολύ δύσκολα αντιληπτές. Οι πυρκαγιές εδάφους συνήθως εξελίσσονται σε επιφανειακές πυρκαγιές. Η μετεξέλιξη αυτή σε επιφανειακές πυρκαγιές εξαρτάται από το επίπεδο υγρασίας και το περιεχόμενο του οργανικού στρώματος. Οι πυρκαγιές εδάφους είναι ο πιο καταστροφικός τύπος πυρκαγιών παρότι είναι ο λιγότερο «θεαματικός» λόγω έλλειψης ιδιαίτερης φλόγας και καπνού(**Rawat 2003**). Αιτίες πρόκλησης αυτού του τύπου πυρκαγιών μπορεί να είναι η αυτό-ανάφλεξη ή η φωτιά επιφανείας που διεισδύει από ρωγμές του εδάφους κάτω από το υπέδαφος (**Athanasίου 2016; Földi and Kuti 2016**).

- **πυρκαγιές επιφανείας ή έρπουσες**

Σ' αυτές τις πυρκαγιές καίγεται ο ξηροτάπητας και η χαμηλή βλάστηση. Αποτελούν το συνηθέστερο είδος δασικής πυρκαγιάς και από αυτές προέρχεται το επόμενο είδος δασικών πυρκαγιών, οι πυρκαγιές κόμης. Χαρακτηριστικά τους είναι η μεγάλη ταχύτητα διάδοσης ειδικά εάν έχουν σύμμαχο τον άνεμο και εμφανίζουν έντονη φλόγα και θερμότητα.

- **πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες**

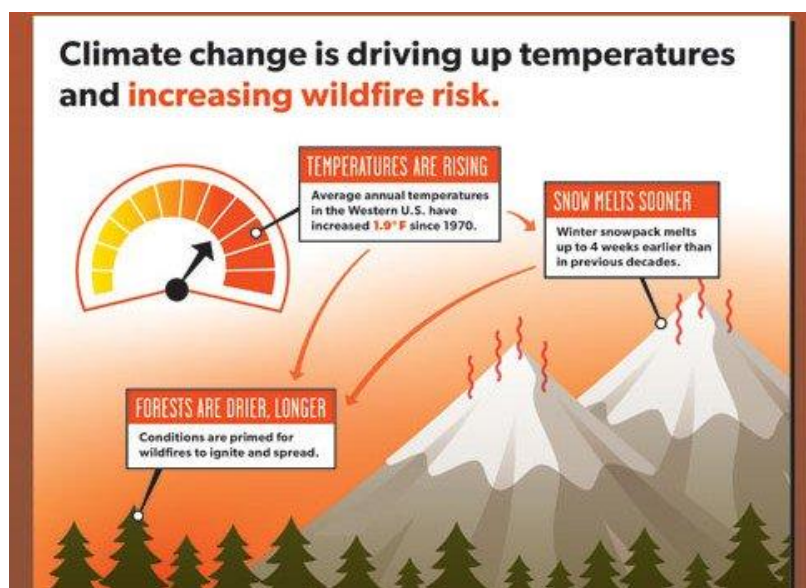
Σ' αυτές τις πυρκαγιές καίγεται η κόμη των δέντρων. Είναι από τις πιο καταστροφικές πυρκαγιές καθώς μπορούν να προκαλέσουν την καταστροφή ολόκληρων δασών. Οι πυρκαγιές κόμης αναπτύσσονται ψηλά και συνήθως πάνω από τις επίγειες δυνάμεις πυρόσβεσης και δεν μπορούν να ελεγχθούν εύκολα μέχρι τη στιγμή που θα ξανακατέβουν σε χαμηλό επίπεδο. Είναι εξαιρετικά επικίνδυνες για τους πυροσβέστες καθώς και για τα ζώα λόγω της μεγάλης ταχύτητας τους και του θερμικού φορτίου που εκλύεται (**Rawat 2003**). Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά και ο κίνδυνος που προκύπτει από κάθε κατηγορία δασικών πυρκαγιών. Βέβαια οι τρεις κατηγορίες πυρκαγιών ενδέχεται να συνυπάρχουν την ίδια στιγμή αλλά και σε όλους τους συνδυασμούς σε μια δασική περιοχή, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών τους, άρα και αντίστοιχα πολλοί περισσότεροι παράγοντες να αντιμετωπιστούν για την πρόληψη και διαχείριση τους,

| Κατηγορίες<br>Δασικών<br>Πυρκαγιών  | Χαρακτηριστικά   | Επικινδυνότητα  |
|---|--|---|
| <p><b>Πυρκαγιές<br/>εδάφους</b></p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Σπάνιος τύπος</li> <li>• Αργή ταχύτητα<br/>εξάπλωσης</li> <li>• Εξάπλωση σε μεγάλη<br/>έκταση</li> <li>• Δύσκολα αντιληπτές</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ιδιαίτερα καταστροφικές<br/>αν εξαπλωθούν</li> <li>• Μετεξέλιξη σε<br/>επιφανειακές πυρκαγιές.</li> </ul>              |
| <p><b>πυρκαγιές<br/>επιφανείας<br/>ή<br/>έρπουσες</b></p>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Μπορούν να είναι<br/>αδύναμες, μέτριες ή<br/>δυνατές</li> <li>• Η ταχύτητα εξάπλωσης<br/>εξαρτάται από την<br/>ταχύτητα του ανέμου</li> <li>• Μπορούν να<br/>εξελισσονται γρήγορα ή<br/>να είναι συνεχιζόμενες</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Καταστροφή βλάστησης<br/>και επιφάνειας των<br/>δένδρων .</li> <li>• Πλήρως καταστροφικές<br/>αν εξελιχθούν</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>πυρκαγιές<br/>κόμης ή<br/>επικόρυφες</b></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Μπορούν να είναι<br/>αδύναμες, μέτριες ή<br/>δυνατές</li> <li>• Μπορούν να<br/>εξελισσονται γρήγορα ή<br/>να είναι συνεχιζόμενες</li> <li>• Αναπτύσσονται σε<br/>μεγάλο ύψος με μεγάλη<br/>ταχύτητα.</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Πλήρης δασική<br/>καταστροφή</li> <li>• Επικίνδυνες για τις<br/>δυνάμεις πυρόσβεσης και<br/>τα ζώα</li> </ul>          |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1- ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ**

## 2.5 Δασικές πυρκαγιές και κλιματική αλλαγή

Οι κλιματικές αλλαγές που επηρεάζουν αυτή τη στιγμή τον πλανήτη μας πιθανότατα θα επιδεινώσουν τον κίνδυνο εμφάνισης δασικών πυρκαγιών. Συγκεκριμένα, το κλίμα της Νότιας Ευρώπης και της λεκάνης της Μεσογείου προβλέπεται να θερμανθεί με ρυθμό που υπερβαίνει τον παγκόσμιο μέσο όρο. Τα μετεωρολογικά κατακρημνίσματα προβλέπεται να μειωθούν, ενώ η διακύμανση της θερμοκρασίας, οι περίοδοι ξηρασίας και η ένταση των κυμάτων θερμότητας αναμένεται να αυξηθούν. Κατά συνέπεια, το μέγεθος και η σοβαρότητα των πυρκαγιών, οι ακραίες συνθήκες σε πολλές περιοχές, η επέκταση των περιοχών κινδύνου και η πιθανότητα μεγάλων πυρκαγιών θα αυξηθούν (Hirschberger 2016; Sletnes 2010).



ΕΙΚΟΝΑ 3- ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ  
ΠΗΓΗ: UNION OF CONCERNED SCIENTISTS 2013-  
[HTTPS://WWW.UCSUSA.ORG/WESTERNWILDFIRES](https://www.ucsus.org/westernwildfires)

Ως αποτέλεσμα, οι πυρκαγιές θα αποτελέσουν τη σοβαρότερη απειλή για τα δάση της Νότιας Ευρώπης και ταυτόχρονα θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε πολλές περιοχές του πλανήτη μας.

## 2.6 Πρόληψη δασικών Πυρκαγιών

Σε αντίθεση με άλλους φυσικούς κινδύνους (σεισμοί, καταιγίδες κ.λπ.), ο κίνδυνος των δασικών πυρκαγιών είναι δυνατόν να προβλεφθεί με ικανοποιητική ακρίβεια. Αυτό το γεγονός δίνει τη δυνατότητα στις σύγχρονες κοινωνίες να έχουν ένα βαθμό ελευθερίας και ένα πλεονέκτημα ως προς την εφαρμογή αποτελεσματικών προληπτικών στρατηγικών και μέτρων για την αντιμετώπιση του φαινομένου. Ωστόσο, αυτή η ευκαιρία, για πολλούς λόγους, δεν έχει ακόμη αξιοποιηθεί σωστά και στο βαθμό που πιθανότατα θα μπορούσε (Sletnes 2010).

Με τους περιορισμένους οικονομικούς πόρους και τις αυξημένες περιοχές που υπόκεινται σε δασικές πυρκαγιές, η συνετή αντίδραση δεν μπορεί να περιοριστεί στην προώθηση μεγαλύτερης χρηματοδότησης και εξοπλισμού για την αποτελεσματική διαχείριση των πυρκαγιών. Θα πρέπει να αναγνωριστεί ότι η πρόληψη των πυρκαγιών δεν είναι μόνο προτιμότερη αλλά και οικονομικά αποδοτικότερη μέθοδος για τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών αν συγκριθεί με την προσπάθεια πυρόσβεσης και καταστολής τους. Ακόμη και περιοχές με κατάλληλα προετοιμασμένα πυροσβεστικά τμήματα, προετοιμασμένο και εξελιγμένο εδαφικό και εναέριο εξοπλισμό και με έναν σημαντικό αριθμός πυροσβεστών δεν μπόρεσαν να εμποδίσουν τις ανά τον κόσμο μεγάλες καταστροφικές δασικές πυρκαγιές που έχουν προκληθεί τα τελευταία χρόνια. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, οι πυρκαγιές προκάλεσαν σοβαρές οικολογικές ζημιές, οι οποίες είχαν τεράστιο αντίκτυπο στα μέσα διαβίωσης, στην υποδομή και στον τουρισμό της κάθε χώρας. Έχουν επίσης δραματικές επιπτώσεις ακόμα στην ανθρώπινη ζωή. Ως εκ τούτου, για να αντιμετωπιστούν οι κίνδυνοι που προέρχονται από τις πυρκαγιές, είναι προτιμότερο να υπάρχουν ολοκληρωμένες στρατηγικές και πολιτικές, λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη όλες τις απαραίτητες παραμέτρους σχετικά με τα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά στοιχεία που αφορούν τις δασικές εκτάσεις και τις πυρκαγιές.

Παρά τις πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα της πρόληψης των δασικών πυρκαγιών, για διάφορους λόγους, η πρόληψη εξακολουθεί να αποτελεί ένα μικρό ποσοστό των προϋπολογισμών των κρατών και λαμβάνει ελάχιστη προσοχή από την κοινωνία. Η χρηματοδοτική στήριξη είναι αδύναμη και κατακερματισμένη και υπάρχει έλλειψη αποτελεσματικών μέσων και ανταλλαγής βέλτιστων πρακτικών μεταξύ των κρατών. Όσον αφορά την προστασία των δασών στην Ευρωπαϊκή περιοχή, δεν υπάρχει κοινό

νομικό πλαίσιο για την πρόληψη των δασικών πυρκαγιών. Υπάρχει συνεπώς σημαντικό περιθώριο βελτίωσης και καινοτομίας στις δραστηριότητες πρόληψης της πυρκαγιάς. Η πρόληψη της πυρκαγιάς πρέπει να θεωρείται ως αναπόσπαστο μέρος της βιώσιμης διαχείρισης των δασών. Υπογραμμίζοντας ότι η πρόληψη είναι καλύτερη από τη θεραπεία, στόχος θα πρέπει να είναι να προσδιοριστούν καινοτόμες στρατηγικές για την πρόληψη των πυρκαγιών.

Στα προληπτικά μέτρα ελάττωσης του κινδύνου των δασικών πυρκαγιών ανήκει η εντός των δασών διάνοιξη δρόμων και αντιπυρικών ζωνών ή λωρίδων. Ο σκοπός τους είναι αποτελέσουν ένα ανασταλτικό παράγοντα ώστε να διασπάσουν τη συνέχεια της καύσιμης ύλης. Και τα δύο μέτρα έχουν διπλή εφαρμογή. Οι δρόμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αντιπυρικές ζώνες, αλλά και οι αντιπυρικές ζώνες ως βοηθητικοί δρόμοι με σκοπό την μετακίνηση των ανθρώπων και των μέσων πυρόσβεσης. Βέβαια η διάνοιξη των δρόμων θεωρείται ότι αυξάνει και τον κίνδυνο πρόκλησης της πυρκαγιάς λόγω της αυξημένης ανθρώπινης παρουσίας . Ένα άλλο σημαντικό προληπτικό μέτρο είναι η απομάκρυνση καύσιμης ύλης από τα δάση και η διαχείριση της δασικής περιοχής με τέτοιο τρόπο ώστε να γίνεται ανθεκτικότερη σε μια πιθανή ανάφλεξη.

Οι περιπολίες και γενικότερα η φύλαξη των δασών από την Πυροσβεστική Υπηρεσία άλλες , αρμόδιες αρχές αλλά και εθελοντές αποτελεί ένα αρκετά σημαντικό μέτρο πρόληψης καθώς μπορεί να λειτουργήσει είτε αποτρεπτικά ως προς την πρόκληση πυρκαγιάς, είτε να ενεργοποιήσει ταχύτερα τους μηχανισμούς για την καταστολή της.

Η εκπαίδευση και ενημέρωση των πολιτών για τους τρόπους αντιμετώπισης των δασικών πυρκαγιών αλλά και η αύξηση και ευρύτερη χρήση οικονομικών πόρων σε μέτρα προστασίας και πρόληψης αποτελούν ένα ακόμη ισχυρό προληπτικό μέτρο **(Birot and Mavsar 2009)**. Οι τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις βοήθησαν στο να εξελιχθούν και να αναπτυχθούν συστήματα που πρόκειται να αποτελέσουν το θέμα των επόμενων κεφαλαίων και έχουν ως πεδίο εφαρμογής το πρόβλημα των πυρκαγιών, την εκτίμηση των παραμέτρων των πυρκαγιών, τη διαχείριση, την πρόβλεψη, την καταστολή και το συντονισμό της διαχείρισης των πυρκαγιών. Η διαχείριση μιας δασικής περιοχής σχετικά με τις δασικές πυρκαγιές έχει πολλές παραμέτρους λόγω των

ιδιοτήτων των πυρκαγιών που περιγράφηκαν παραπάνω και δεν μπορεί να γίνει από τον άνθρωπο χωρίς υποστήριξη από τεχνολογικά μέσα.

## 2.7 Διαχείριση δασικών πυρκαγιών

Η διαχείριση των δασικών πυρκαγιών είναι μια διαδικασία με αυξανόμενη πολυπλοκότητα η οποία εξαρτάται από την αλλαγή του κλίματος, τις αλλαγές στην καύσιμη ύλη, τις κοινωνικές απαιτήσεις, τις προσδοκίες και τους οικονομικούς περιορισμούς. Οι άνθρωποι που ασχολούνται με τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών καλούνται να πάρουν σημαντικές αποφάσεις σε όποιο επίπεδο της ιεραρχίας και να βρίσκονται. Είτε είναι αρμόδιοι για το σχεδιασμό της πολιτικής σχετικά με τη διαχείριση μια δασικής έκτασης, είτε είναι αρμόδιοι να οργανώσουν την διαδικασία αντιμετώπισης μιας δασικής πυρκαγιάς από τη στιγμή που θα ξεκινήσει και έπειτα, πρέπει να πάρουν κάποιες πολύπλοκες αποφάσεις σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Οι αποφάσεις αυτές έχουν σχέση με τη διαχείριση της καύσιμης ύλης, την πρόληψη των πυρκαγιών, την καταστολή των ενδεχόμενων πυρκαγιών και την διαχείριση των εκτάσεων μετά την πυρκαγιά, ώστε να τηρείται η απαιτούμενη ισορροπία και αυτή να είναι επωφελής, μεταξύ από κοινωνική, οικονομική θεώρηση (**Martell 2015**). Όλες αυτές οι σημαντικές αποφάσεις πρέπει να ληφθούν από ανθρώπους είτε πριν την εκδήλωση πυρκαγιών, είτε κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Για τη λήψη αυτών των αποφάσεων είναι απαραίτητη η υποστήριξη των ανθρώπων από μεθοδολογίες ή τεχνικές που διευκολύνουν τη λήψη αποφάσεων.

Η διαχείριση των δασικών πυρκαγιών είναι ένα μεγάλο πρόβλημα και μέσα σ' αυτό εντοπίζονται πολλά μικρότερα τα οποία ενδεχόμενα διευκολύνουν τη διαδικασία διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών εφόσον αντιμετωπίζονται ξεχωριστά. Μια σημαντική πτυχή του προβλήματος των πυρκαγιών έχει σχέση **με τον εντοπισμό των πυρκαγιών και την παρακολούθησή τους**. Οι δασικές εκτάσεις είναι τεράστιες και η παρακολούθησή τους δεν είναι απλή διαδικασία. Είναι σαφώς πολύ σημαντικό να εντοπιστεί μια πυρκαγιά πολύ γρήγορα και να μπορεί να εποπτευθεί η πορεία της και η κατάσταση της. Ένας γρήγορος εντοπισμός μιας πυρκαγιάς παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην καταστολή της. Ειδικά στις πυρκαγιές εδάφους ο εντοπισμός και η ανίχνευση είναι ένα από τα κυριότερα προβλήματα και θέματα που λαμβάνουν υπόψη τους οι διαχειριστές δασικών περιοχών.



Επόμενη πτυχή του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών είναι η **εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης μια πυρκαγιάς σε μια δασική περιοχή**. Η ανάλυση ρίσκου σχετικά με τις δασικές πυρκαγιές μπορεί να προσφέρει πολλά και σημαντικά αποτελέσματα σχετικά με τη διαχείριση της περιοχής, την κατανομή των πυροσβεστικών δυνάμεων καθώς και τις διαδικασίες δημιουργίας αντιπυρικών περιοχών. Σε συνδυασμό με την εκτίμηση του κινδύνου μια ακόμα πτυχή του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών μπορεί να εστιαστεί στη δημιουργία ενός **δείκτη πρόβλεψης μιας δασικής πυρκαγιάς σε συνδυασμό με τους παράγοντες που επηρεάζουν** τη φωτιά όπως το κλίμα, η θερμοκρασία, ο αέρας, η καύσιμη ύλη κλπ. Είναι ίσως από τις πιο σημαντικές πτυχές του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών καθώς ένας δείκτης πρόβλεψης μιας δασικής πυρκαγιάς θα είχε ως αποτέλεσμα την έγκαιρη διαχείριση της πυρκαγιάς και ίσως και την αποτροπή της. Σημαντικό στοιχείο του προβλήματος των πυρκαγιών που έχει άμεση σχέση με τον τύπο των δασών είναι η **εξέλιξη των πυρκαγιών**. Είναι επιμέρους πρόβλημα στο ευρύτερο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών ο τρόπος εξέλιξης της πυρκαγιάς, καθώς από την εξέλιξη εξαρτάται και η αντίδραση των δυνάμεων καταστολής της. Ένα ακόμα πρόβλημα σχετικά με τις δασικές πυρκαγιές που έχουν να αντιμετωπίσουν οι διαχειριστές δασικών εκτάσεων, έχει σχέση με την **πρόβλεψη της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς**. Είναι πολύ σημαντικό να μπορεί να προβλεφθεί η εξάπλωση μιας πυρκαγιάς καθώς αυτό θα λειτουργήσει ως ένα σενάριο σε μια ενδεχόμενη πυρκαγιά ώστε να έχουν προβλεφθεί αντίστοιχα και τρόποι διαχείρισης ανάλογα με την κάθε περίπτωση και τον τρόπο εξάπλωσης. Η **αποτροπή των πυρκαγιών** σε μια δασική περιοχή είναι από μόνη της μια ξεχωριστή ενότητα που έχουν να αντιμετωπίσουν οι διαχειριστές δασικών εκτάσεων και μπορεί να συνδυάζεται ως πρόβλημα με όλα τα παραπάνω που αναφέρθηκαν. Τέλος μέσα στο ευρύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι διαχειριστές δασικών εκτάσεων υπάρχει και το θέμα των δασικών εκτάσεων που τελικά καίγονται από δασικές πυρκαγιές και η διαχείριση τους μετέπειτα. Ως εκ τούτου μια σημαντική πτυχή του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών είναι η **εκτίμηση των εκτάσεων που θα καούν**.

Για όλα τα παραπάνω επιμέρους προβλήματα που ανήκουν κάτω από την ομπρέλα του γενικότερου προβλήματος που είναι οι δασικές πυρκαγιές έχουν αναπτυχθεί συστήματα υποστήριξης αποφάσεων τα οποία υποβοηθούν τους διαχειριστές να λάβουν τις σωστές αποφάσεις. Τα έξυπνά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και η χρήση τους στα παραπάνω προβλήματα, είναι αυτά θα μελετηθούν και θα ερευνηθούν στα επόμενα

κεφάλαια της μεταπτυχιακής διατριβής με στόχο να εντοπιστούν συσχετίσεις αυτών των προβλημάτων με τα ευφυή συστήματα και τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται.

# Κεφάλαιο 3

## Ευφυή Συστήματα

### Υποστήριξης Αποφάσεων

Είναι γεγονός ότι σήμερα συζητάμε καθημερινά ολοένα και περισσότερο για την τεχνητή νοημοσύνη. Η τεχνητή νοημοσύνη έχει εισβάλλει στη ζωή μας σε πολλούς τομείς και έχει μια πορεία εξελισσόμενη και αυξανόμενη ως προς την χρήση της σε διάφορες εκφάνσεις της ζωής. Η τεχνολογία έχει κάνει σπουδαία άλματα τις τελευταίες δεκαετίες, οι ταχύτητες των υπολογιστών έχουν εκτοξευθεί και δεν φαίνεται να υπάρχουν όρια στην ανοδική πορεία τους. Η ζωή μας, είτε προσωπική είτε επαγγελματική περιλαμβάνει πλήθος ηλεκτρονικών συσκευών και λογισμικών που ως στόχο έχουν να την κάνουν πιο απλή, πιο εύκολη και να μας προσφέρουν περισσότερη ευχαρίστηση. Ο άνθρωπος είναι ένα ον με πολλές δυνατότητες, ένα ον χωρίς όρια στη σκέψη αλλά με όρια στην ταχύτητα και την αντοχή. Ζούμε σε μια εποχή όπου μεγαλύτερη σημασία έχει η πληροφορία και η γνώση για τα έθνη παρά ο αριθμός των στρατιωτών που έχουν. Όλα αυτά είναι στοιχεία που υποδηλώνουν ότι ο άνθρωπος έχει ικανότητες και δεξιότητες που χρησιμοποιεί σε όλους τους τομείς της ζωής του. Οι δυνατότητες αυτές αν συνδυαστούν με τα υπολογιστικά συστήματα και την ταχύτητα που αυτά προσφέρουν, μπορούν να αποφέρουν σπουδαία αποτελέσματα για τον άνθρωπο και τα προβλήματα που αντιμετωπίζει. Η προσπάθεια συνδυασμού των υπολογιστικών συστημάτων με τις δεξιότητες του ανθρώπου ώστε να προκύψουν συστήματα που μιμούνται την ανθρώπινη συμπεριφορά και επιδεικνύουν ευφυΐα όπως λογική, μάθηση, κατανόηση, εξαγωγή συμπερασμάτων και ικανότητα λήψης αποφάσεων είναι στοιχεία που ερευνά η τεχνητή νοημοσύνη. Αυτά τα συστήματα που εμφανίζουν ευφυή συμπεριφορά σε επίπεδα τέτοια που να προσομοιάζουν τις επιδόσεις του ανθρώπου ονομάζονται ευφυή συστήματα. Τα ευφυή συστήματα χρησιμοποιούνται για την επίλυση προβλημάτων και την υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων καθώς επιχειρούν να συνδυάσουν την εμπειρία των ανθρώπων και την ταχύτητα των υπολογιστών. Στο επόμενο κεφάλαιο ακολουθεί μια παρουσίαση των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων και πως αυτά συνδυάζονται με τα ευφυή συστήματα, τι μεθοδολογίες χρησιμοποιούν, που χρησιμοποιούνται και πως συνδυάζονται με τη λήψη αποφάσεων σε προβληματικές

περιοχές με σκοπό την επίλυση των προβλημάτων και την παροχή πιο αποτελεσματικών λύσεων σε πολλούς τομείς.

### 3.1 Συστήματα υποστήριξης αποφάσεων

Ο **Little (2004)** υποστηρίζει ότι ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων είναι ένα σύνολο από μοντελοποιημένες διαδικασίες για την επεξεργασία δεδομένων και κρίσεων με στόχο την υποβοήθηση ανθρώπων σε καταστάσεις που πρέπει να πάρουν αποφάσεις. Επίσης υποστηρίζει ότι προκειμένου να είναι επιτυχημένο ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να είναι απλό, ισχυρό, εύκολο στη χρήση, ολοκληρωμένο σε σημαντικά ζητήματα και εύκολο στην επικοινωνία. Οι **Moore & Chang (1980)** διατείνονται ότι ο ορισμός των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων δεν πρέπει να βασίζεται σε άκαμπτα δομημένες καταστάσεις. Ένα πρόβλημα μπορεί να είναι δομημένο ή μη δομημένο και αυτό εξαρτάται από τον άνθρωπο που λαμβάνει τις αποφάσεις καθώς και την κατάσταση. Έτσι ορίζουν ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων ως ένα σύστημα ικανό να υποστηρίξει την ανάλυση ad-hoc δεδομένων και να μοντελοποιήσει αποφάσεις με προσανατολισμό τον μελλοντικό σχεδιασμό και με χρήση του σε άτακτα χωρίς προγραμματισμό διαστήματα

Οι **Bonczek et al. (1980)** ορίζουν ένα σύστημα απόφασης ως ένα σύστημα βασισμένο σε κάποιον ηλεκτρονικό υπολογιστή με τρία βασικά μέρη : ένα σύστημα επικοινωνίας με τον χρήστη , ένα σύστημα γνώσης(παραδείγματα επίλυσης προβλημάτων, δεδομένα), και μια διαδικασία επεξεργασίας ενός προβλήματος. Το κυριότερο σημείο αυτού του ορισμού που προτείνεται εδώ είναι η σύνδεση και η σχέση μεταξύ της γνώσης και του συστήματος υποστήριξης απόφασης. Τέλος ο **Keen (1980)** ορίζει ένα σύστημα υποστήριξης απόφασης ως το αποτέλεσμα μιας εξελισσόμενης διαδικασίας όπου ο χρήστης του συστήματος υποστήριξης απόφασης, το ίδιο το σύστημα και ο δημιουργός του συστήματος είναι όλοι ικανοί να επηρεάζουν ο ένας τον άλλον με αποτέλεσμα την εξέλιξη το συστήματος και την δημιουργία προτύπων σχετικά με τη χρήση του . Από τους παραπάνω ορισμούς προκύπτει ότι ο ορισμός ενός συστήματος υποστήριξης απόφασης βασίζεται στο τι πραγματικά το σύστημα κάνει, καθώς και στο πώς οι στόχοι του συστήματος μπορούν να επιτευχθούν. Δυστυχώς οι επίσημοι ορισμοί των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων δεν είναι σταθερά εστιασμένοι αλλά ο καθένας εστιάζει σε ξεχωριστό σημείο. Επίσης φαίνεται να αγνοείται ο κεντρικό σκοπός που είναι

«η υποστήριξη και η βελτίωση της διαδικασίας λήψη αποφάσεων». Δυστυχώς δεν είναι εύκολο να μετρηθούν τα αποτελέσματα ενός συστήματος υποστήριξης απόφασης και γι' αυτό το λόγο οι ορισμοί εξετάζουν περισσότερο τα εσωτερικά στοιχεία των συστημάτων υποστήριξης απόφασης και μετά τα εξωτερικά (**Turban, Aronson, and Liang 2005**).

Τέλος σύμφωνα με τους πρόσφατους ορισμούς των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων είναι ένα σύστημα για την υποστήριξη ανθρώπων που λαμβάνουν αποφάσεις σε μη δομημένες καταστάσεις και προβλήματα (**Turban, Aronson, and Peng Liang 2007**). Τα συστήματα αυτά αναπτύσσονται μέσα από τις μεθοδολογίες που θα παρουσιαστούν παρακάτω.

### 3.2 Μεθοδολογίες ανάπτυξης συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων

Η εύρεση κατάλληλων διαδικασιών και μεθοδολογιών ανάπτυξης ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων (**Gachet and Sprague 2005**) είναι ένα θέμα το οποίο έχει κρατήσει τους ερευνητές στην κοινότητα υποστήριξης αποφάσεων απασχολημένους για τις τελευταίες τρεις δεκαετίες στο ελάχιστο. Δεν θα εξετάσουμε μελέτες πριν από το 1995, επειδή η ερευνητική κοινότητα που εξετάζει συστήματα υποστήριξης αποφάσεων έχει δείξει μεγάλο ενδιαφέρον για την υποκείμενη τεχνολογία και τις ταχέως αναπτυσσόμενες πληροφορίες. Μελέτες σχετικά με την ανάπτυξη DSS πριν από το 1995 (**Arinze 1991; Saxena 1991**) έχουν εντοπίσει περισσότερες από τριάντα διαφορετικές προσεγγίσεις στο σχεδιασμό και την κατασκευή συστημάτων υποστήριξης απόφασης. Είναι ενδιαφέρον ότι δεν επικρατεί καμία από αυτές τις προσεγγίσεις και οι διάφορες διαδικασίες ανάπτυξης DSS συνήθως παραμένουν πολύ διακριτές και συγκεκριμένες για κάθε διαφορετικό έργο.

Στη βιβλιογραφία των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, οι ερευνητές σημειώνουν ποικίλες προσεγγίσεις ή μεθοδολογίες σχετικά με τον σχεδιασμό και ανάπτυξη ενός συστήματος. Υπάρχει διαφωνία σχετικά με το ποια μεθοδολογία λειτουργεί καλύτερα για την κατασκευή διαφορετικών τύπων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων. Για παράδειγμα, ο **Gachet (2003)** πρότεινε μια διμερή προσέγγιση στην οποία το τμήμα μηχανικής λογισμικού διαχωρίζεται από το τμήμα μηχανικής γνώσης. Ένα άλλο

παράδειγμα είναι οι **Turban, Aronson, and Liang (2005)** που περιγράφουν μια διαδικασία ανάπτυξης που αποτελείται από 11 φάσεις για συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που κατασκευάζονται από τελικούς χρήστες.

Ο **Power (2000)** ανέφερε τρεις προσεγγίσεις για την οικοδόμηση ενός DSS: ο κύκλος ζωής του συστήματος ανάπτυξης (SDLC), ο οποίος είναι ο πιο συνηθισμένος όρος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των βημάτων σε μια παραδοσιακή μεθοδολογία ανάπτυξης συστημάτων, η προσέγγιση πρωτοτύπων και ο τελικός χρήστης στην ανάπτυξη του DSS είναι τα κομβικά στοιχεία αυτού. Και στις δύο μεταγενέστερες προσεγγίσεις ένα τμήμα του DSS κατασκευάζεται, δοκιμάζεται, βελτιώνεται και επεκτείνεται. Το πρωτότυπο είναι παρόμοιο με ένα σχετικό, προσέγγιση που ονομάζεται ταχεία ανάπτυξη εφαρμογών (RAD).

Οι **Gachet and Haettenschwiler (2006)** εξέτασαν εννέα διαδικασίες ανάπτυξης συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων και μεθοδολογίες ανάλογα με το πως αυτά επικεντρώνονται σε οργανωτικά θέματα, τεχνικά ζητήματα ή και τα δύο. Στη συνέχεια προτείνουν ένα καινοτόμο πλαίσιο για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη του συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων με ιδιαίτερη προσοχή στα θέματα διαχείρισης της γνώσης και στη σχέση των οργανωτικών και τα τεχνικών ζητημάτων. Αυτή ήταν μια νέα οπτική στην εξέλιξη μεθοδολογιών ανάπτυξης συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που δίνει ιδιαίτερη βαρύτητα στη γνώση, γεγονός που συνδέει τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων με την ευφυΐα και την τεχνητή νοημοσύνη. Αυτά τα συστήματα είναι το αντικείμενο μελέτης μας όταν συνδυάζονται με την τεχνητή νοημοσύνη και τις μεθοδολογίες που θα παρουσιαστούν παρακάτω.

### **3.3 Τι είναι τα ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων**

Δύο μεγάλα ερωτήματα έχουν απασχολήσει την φιλοσοφία για χιλιάδες χρόνια και αποτελούν και τα μεγαλύτερα ίσως ερωτήματα του ανθρώπου: πώς λειτουργεί το ανθρώπινο μυαλό; Θα μπορούσε κάποιος άλλος εκτός από τους ανθρώπους να έχει νου; Αυτά τα ερωτήματα παραμένουν αναπάντητα έως και σήμερα (**Negnevitsky 2005**). Ωστόσο η επιστημονική κοινότητα εδώ και πάρα πολλά χρόνια στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης έχει κάνει σπουδαία βήματα τα οποία δεν απαντούν στα ερωτήματα αλλά

προσθέτουν σημαντική γνώση στη διαδικασία απάντησης των ερωτημάτων. Έχουν κατασκευαστεί λογισμικά, μηχανήματα και μεθοδολογίες τα οποία μιμούνται δράσεις οι οποίες προκειμένου να υλοποιηθούν από τον άνθρωπο, χρειάζονται ευφυΐα. Αυτά τα συστήματα που εμφανίζουν στοιχεία ευφυΐας και προσομοίωσης του ανθρώπου ονομάζονται ευφυή συστήματα.

Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (DSS) είναι συστήματα βασισμένα σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές με σκοπό να βοηθήσουν τους ανθρώπους που λαμβάνουν αποφάσεις, να χρησιμοποιούν τα δεδομένα και τα μοντέλα που έχουν στη διάθεση τους ώστε να λύσουν προβλήματα, να αυτοματοποιήσουν πληθώρα εργασιών και να λάβουν τις βέλτιστες αποφάσεις σε διάφορους τομείς **(Rauscher 1999)**. Ο συνδυασμός των συστημάτων υποστήριξης απόφασης με τα ευφυή συστήματα και η χρήση στα συστήματα αυτά, μεθοδολογιών τεχνητής νοημοσύνης αναβαθμίζει τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων σε ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων αποτελείται από πολλά υποσυστήματα που το καθένα εκτελεί μια διαφορετική λειτουργία. Το σύστημα υποστήριξης αποφάσεων είναι δυνατόν να εμφανίζει ευφυΐα στο σύνολο του ή σε κάποιο υποσύστημα του με τη χρήση κάποιας μεθοδολογίας τεχνητής νοημοσύνης. Ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων μπορεί να είναι μια μεθοδολογία τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιείται σε κάποιον ηλεκτρονικό υπολογιστή για την επίλυση κάποιου περίπλοκου προβλήματος ή από την μεθοδολογία να προκύπτει ένα μοντέλο συμφωνά με το οποίο, θα ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις σε προβλήματα που η ανθρώπινη κρίση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο **(Rauscher 1999)**. Η λήψη αποφάσεων υπόκειται σε περιορισμούς που εξαρτώνται από την ανθρώπινη γνώση, την εμπειρία και την ανθρώπινή κρίση. Τα ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων μπορούν να προσφέρουν ρεαλιστικές και αξιόπιστες λύσεις, όπως και να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας λήψης αποφάσεων **(Tariq and Rafi 2012)**. Τα ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων χρησιμοποιούν πληθώρα τεχνικών και προσεγγίσεων ξεκινώντας από απλά εργαλεία παραγωγής αναφορών έως πολύπλοκες διαδικασίες τεχνητής νοημοσύνης προκειμένου να υποστηρίξουν τις διεργασίες λήψης αποφάσεων. Ενισχύουν τους ανθρώπους που πρέπει να λάβουν αποφάσεις σε στάδια υψηλού επιπέδου της λήψης αποφάσεων μοντελοποιώντας την ανθρώπινη γνώση. Τα ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων είναι ένα εργαλείο το οποίο μπορεί να δώσει σημαντικά πλεονεκτήματα σε όποιον τα χρησιμοποιεί, από μια εταιρεία έως μια

υπηρεσία ή ένα ολόκληρο κράτος και να προσφέρουν λύσεις σε πολλούς τομείς της ζωής του ανθρώπου.

### **3.4 Μεθοδολογίες Ευφυών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων**

Τα ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων χρησιμοποιούν σε ένα μέρος τους ή στο σύνολο τους τεχνητή νοημοσύνη ή μια μεθοδολογία τεχνητής νοημοσύνης. Η τεχνητή νοημοσύνη είναι μια επιστήμη που έκανε την εμφάνισή της πολλά χρόνια πριν και αναπτύχθηκε στη διάρκεια των τελευταίων τριών δεκαετιών, καθώς και αναδείχθηκε ευρέως με την θεαματική αύξηση των ταχυτήτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών(Negnevitsky 2005). Σε αυτά τα χρόνια αναπτύχθηκαν αρκετές μεθοδολογίες τεχνητής νοημοσύνης. Τα κλασικά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων υιοθετούν μεθοδολογίες και τεχνικές της τεχνητής νοημοσύνης ώστε να παρέχουν υποστήριξη σε συνδυασμό με ευφυΐα και εξειδίκευση(Turban, Aronson, and Liang 2005). Με τη χρήση αυτών των μεθοδολογιών τα συστήματα υποστήριξης απόφασης χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς καθώς και στο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών. Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά οι κυριότερες μεθοδολογίες τεχνητής νοημοσύνης.

#### **3.4.1 Νευρωνικά δίκτυα**

Ένα νευρωνικό δίκτυο είναι ένα δίκτυο συνδεδεμένων νευρώνων. Στην περίπτωση των βιολογικών νευρώνων πρόκειται για ένα τμήμα νευρικού ιστού. Στην περίπτωση ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου πρόκειται για μια μεθοδολογία η οποία εμπίπτει στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης, και στόχος της οποίας είναι η επίλυση κάποιου υπολογιστικού προβλήματος με τη μίμηση της λειτουργίας των βιολογικών νευρώνων του εγκεφάλου και της δομής των βιολογικών νευρωνικών δικτύων.

Τα νευρωνικά δίκτυα είναι μια σχετικά νέα περιοχή της τεχνητής νοημοσύνης. Σε διεθνές επίπεδο εμφανίστηκαν λίγο μετά το 1940, αλλά η μεγάλη ανάπτυξη τους ήρθε μετά το 1980 όπου παρουσιάστηκε και η τεράστια αύξηση της ισχύος των υπολογιστικών συστημάτων και η ανάπτυξη νέων αλγορίθμων μηχανικής μάθησης. Το 1<sup>ο</sup> νευρωνικό



δίκτυο παρουσιάστηκε το **1947** από τους **McCulloch και Pitts** όπου για πρώτη φορά γίνεται αναφορά στην ιδέα ενός δικτύου που αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό νευρώνων διασυνδεμένων μεταξύ τους και παρουσιάζεται ο τρόπος που θα μπορούσαν να λειτουργούν. Έπειτα ακολούθησαν πολλές έρευνες σχετικά με τα νευρωνικά δίκτυα, όπου μέσα από την τεχνητή νοημοσύνη και τη διαδικασία μίμησης των βιολογικών νευρωνικών δικτύων πρόέκυψαν πολλά μοντέλα τεχνητών νευρωνικών δικτύων.

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα με απλά λόγια είναι ένα είδος «προφήτη». Μπορούν να προβλέπουν την τιμή μια μεταβλητής  $x$  η ενός σετ μεταβλητών για μια δοσμένη μεταβλητή  $y$  ή ενός σετ μεταβλητών και έχουν τη δυνατότητα να βελτιώνουν τις προβλέψεις τους, ελαχιστοποιώντας τα λάθη όταν υπάρχουν μεγαλύτερα παραδείγματα εκπαίδευσης τους. Ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από νευρώνες (υπολογιστικούς κόμβους) διασυνδεμένους μεταξύ τους, οι οποίοι και αποτελούν τα δομικά στοιχεία του δικτύου, δέχονται εισόδους, επιτελούν ή όχι υπολογισμούς σύμφωνα και με τα ειδικά βάρη και παράγουν μια έξοδο εάν ενεργοποιηθούν σύμφωνα με τη συνάρτηση ενεργοποίησης. Οι εισοδοί και οι έξοδοι στην πραγματικότητα περιγράφουν χαρακτηριστικά του προς επίλυση. Ο στόχος του τεχνητού νευρωνικού δικτύου είναι να απεικονίσει με ορθό τρόπο διανύσματα εισόδου σε κατάλληλα διανύσματα εξόδου, οπότε το πρόβλημα μετατρέπεται σε μία συνάρτησης πολλαπλών μεταβλητών κατά κανόνα περίπλοκη και με άγνωστο ακριβή τύπο. Αυτή η απεικόνιση λειτουργεί ως αριθμητικό μοντέλο για πολλά διαφορετικά ζητήματα. Το ίδιο δίκτυο μπορεί να υλοποιήσει πολλές διαφορετικές απεικονίσεις, μία για κάθε διαφορετική επιλογή συνόλου συνοπτικών βαρών.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των τεχνητών νευρωνικών δικτύων είναι η ικανότητα μάθησης, δηλαδή η σταδιακή βελτίωση της ικανότητας του δικτύου να επιλύει κάποιο πρόβλημα. Η μάθηση επιτυγχάνεται μέσω της εκπαίδευσης, μιας διαδικασίας προσαρμογής των παραμέτρων του δικτύου σε κατάλληλες τιμές με τέτοια σύνολα δεδομένων ώστε να λύνεται επιτυχώς το πρόβλημα που εξετάζεται. Τέλος χαρακτηριστικό ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου είναι η γενίκευση δυνατότητα δηλαδή να εκτιμά τους στόχους για πρότυπα εισόδου που δεν έχει ξαναδεί και δεν έχουν σχέση με τα πρότυπα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν στην εκπαίδευση.

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα χρησιμοποιούνται ευρέως τα τελευταία χρόνια σε πολλούς τομείς όπως η Ιατρική, οι χρηματιστηριακές προβλέψεις και παρακολούθηση καταστάσεων, καθώς προσφέρουν ευκολία στην υλοποίηση και αξιοπιστία με ειδικευση σε προβλήματα που αφορούν πρόβλεψη, εύρεση προτύπων, αυτόματο έλεγχο και άλλα που αντιμετωπίζουν οι παραπάνω τομείς.

### **3.4.2 Fuzzy Logic**

Η fuzzy logic ή ασαφής λογική είναι μια μεθοδολογία της τεχνητής νοημοσύνης που αποτελεί γενίκευση της κλασσικής λογικής και παρέχει μηχανισμούς προσεγγιστικού συλλογισμού και εξαγωγής συμπερασμάτων. Η ασαφής λογική σε συνδυασμό με τα ασαφή σύνολα είναι μια προσπάθεια αποτελεσματικής περιγραφής της ασάφειας του πραγματικού κόσμου. Η ασαφής λογική βασίζεται πάνω στην παρατήρηση ότι οι άνθρωποι λαμβάνουν αποφάσεις βασισμένοι σε πληροφορίες οι οποίες δεν είναι ακριβείς και δεν περιέχουν αναγκαστικά αριθμητικά δεδομένα. Τα ασαφή σύνολα είναι μαθηματικά μοντέλα τα οποία υποστηρίζουν και αντιπροσωπεύουν την ασάφεια και την ανακρίβεια στην πληροφορία και έχουν τη δυνατότητα να χειρίζονται, να ερμηνεύουν και να χρησιμοποιούν δεδομένα και πληροφορίες οι οποίες είναι ανακριβείς και στερούνται βεβαιότητας.

Η ασαφής λογική έχει εξελιχθεί σήμερα σε μια πολύ σημαντική επέκταση της λογικής πολλαπλών μεταβλητών του Αριστοτέλη με εφαρμογές σε όλο το φάσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων (**Voskoglou 2018**). Αυτή η λογική εξελίχθηκε ραγδαία τα τελευταία πενήντα χρόνια και βασίζεται στην εισαγωγή της θεωρίας των ασαφών συνόλων από τον **Lotfi Zadeh το 1965**.

Η ασαφής λογική χρησιμοποιείται σε αρκετούς τομείς για την επίλυση προβλημάτων και ειδικότερα σε εκείνους όπου εντοπίζεται μεγάλο ποσοστό ασάφειας καθώς και όταν τα δεδομένα εμφανίζουν στοιχεία ανακρίβειας. Η ασαφής λογική έχει πληθώρα εφαρμογών στις οποίες χρησιμοποιείται όπως η αναγνώριση προσώπου, εξειδικευμένη λειτουργία στις λευκές συσκευές, έλεγχος συστημάτων, πρόβλεψη καιρού, ιατρικές διαγνώσεις και άλλα (**Singh et al. 2013**).

Η επιτυχία της χρήσης της ασαφούς λογικής στους παραπάνω τομείς αλλά και ένας λόγος επιλογής της στην διαδικασία επίλυσης ενός προβλήματος, είναι η διαχείριση της αβεβαιότητας. Σε προβλήματα με σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας η ασαφής λογική δείχνει να έχει πολύ καλά αποτελέσματα και η χρήση της σε τομείς που αντιμετωπίζουν τέτοιου είδους προβλήματα είναι συνεχώς αυξανόμενη τα τελευταία χρόνια.

### 3.4.3 Support Vector Machines (SVM)

Τα support vector machines (**SVM**) ή και support vector networks αποτελούν μια μεθοδολογία που χρησιμοποιεί η τεχνητή νοημοσύνη και αποτελούν μια σύγχρονη και αποτελεσματική προσέγγιση της επίλυσης ζητημάτων κατηγοριοποίησης.

Η μεθοδολογία των SVM προέκυψε από την βαθύτερη ανάλυση της στατιστικής θεωρίας μάθησης. Πρωτοεμφανίστηκαν από τον Vapnik και τους συνεργάτες του το 1963 και η πραγματική παρουσίαση και χρήση του ήρθε το 1992. Έπειτα έγιναν πάρα πολύ γνωστά λόγω της ικανότητας τους να επιλύουν προβλήματα κατηγοριοποίησης με επιτυχία.

Η κύρια ιδέα ενός support vector machines είναι να δημιουργήσει ένα υπερεπίπεδο ως την επιφάνεια απόφασης με τέτοιο τρόπο ώστε ανάμεσα στα θετικά και αρνητικά αποτελέσματα να είναι το μέγιστο. Συγκεκριμένα χρησιμοποιεί μη - γραμμικό μετασχηματισμό του χώρου εισόδου σε ένα πολυδιάστατο χώρο χαρακτηριστικών στον οποίο κατασκευάζεται ένα βέλτιστο υπερεπίπεδο που επιχειρεί να διαχωρίσει δύο κλάσεις. Εφόσον το βέλτιστο υπερεπίπεδο ανταποκρίνεται σε μια μη- γραμμική επιφάνεια στο χώρο εισόδου, έπεται ότι η μέθοδος άμεσα, κατασκευάζει μια βέλτιστη διαχωριστική επιφάνεια στο χώρο εισόδου που επιχειρεί να διαχωρίσει δύο κλάσεις. Ένα support vector machines έχει την ικανότητα να παράγει καλά αποτελέσματα γενίκευσης σε προβλήματα pattern classification (κατηγοριοποίηση προτύπων) παρά το γεγονός ότι δεν έχει ενσωματωμένη γνώση για το πρόβλημα.

Τα support vector machines έχουν πλήθος εφαρμογών στον πραγματικό κόσμο. Είναι πολύ χρήσιμα στην κατηγοριοποίηση κειμένων καθώς επίσης και στην ταξινόμηση εικόνων λόγω του γεγονότος ότι πετυχαίνουν μεγαλύτερα ποσοστά ακρίβειας. Τα SVM χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου είναι απαραίτητη η κατανόηση της ανθρώπινης

γραφής από ένα υπολογιστικό σύστημα καθώς και σε εφαρμογές αναγνώρισης προσώπων. Λόγω της μεγάλης επιτυχίας των αποτελεσμάτων των Support Vector Machines σε προβλήματα που έχουν σχέση με την κατηγοριοποίηση, ο κύριος όγκος των εφαρμογών αντιμετωπίζει θέματα κατηγοριοποίησης. Η εφαρμογή των support vector machines στα διάφορα προβλήματα έχει επιτυχία όταν δεν υπάρχει καμιά γνώση σχετικά με τα δεδομένα, και ανεξαρτήτως αν γίνεται σε δομημένα ή μη δομημένα δεδομένα. Πολλά εργαλεία λογισμικού είναι διαθέσιμα για την υλοποίηση των support vector machines. Τα support vector machines είναι καλά στην εύρεση του καλύτερου γραμμικού διαχωριστή. Η επιλογή ενός κατάλληλου πυρήνα είναι το κλειδί για την αποτελεσματική χρήση ενός SVM και η επιλογή της σωστής λειτουργίας του πυρήνα δεν είναι εύκολη. Πρέπει να είμαστε υπομονετικοί ενώ κατασκευάζουμε support vector machines σε μεγάλα σύνολα δεδομένων γιατί χρειάζεται αρκετός χρόνος για εκπαίδευση.

#### 3.4.4 Agents

Οι agents ή αυτόνομοι πράκτορες ή ευφυείς πράκτορες στην τεχνητή νοημοσύνη είναι μια μεθοδολογία που χρησιμοποιείται ως μέρος συστημάτων και εφαρμογών. Οι agents είναι αυτόνομες οντότητες που έχουν τη δυνατότητα να αντιλαμβάνονται το περιβάλλον γύρω τους (ενίοτε μέσω αισθητήρων) και μπορούν να ενεργούν μέσα σ' αυτό, εφόσον ισχύουν κάποιες συνθήκες που τους ενεργοποιούν. Ένας agent έχει κάποιους στόχους και εστιάζει τη δραστηριότητα του με τέτοιους τρόπους ώστε να τους πετύχει. Επίσης έχει τη δυνατότητα να αποκτά γνώση και να την χρησιμοποιεί για την επίτευξη των στόχων του. Οι agents μπορούν να είναι οτιδήποτε μπορεί να πάρει αποφάσεις όπως ένας άνθρωπος, ένα λογισμικό, ή ένα μηχάνημα. Τις αποφάσεις αυτές τις λαμβάνει έτσι, ώστε η πράξη που απορρέει από την απόφαση να έχει το καλύτερο αποτέλεσμα σύμφωνα με τις αντιλήψεις του (την λαμβανόμενη πληροφορία από το περιβάλλον του agent). Στο περιβάλλον που δρα ένας agent είναι δυνατόν να υπάρχουν και άλλοι agents με τους οποίους μπορεί να συνεργάζεται.

Κανείς δεν θεωρούσε παλιότερα τους θερμοστάτες ή τους δαίμονες των Unix συστημάτων ως agents πολύ περισσότερο ως intelligent agents. Ξεκίνησε η επιστημονική κοινότητα να αναγνωρίζει τους agents και πολύ περισσότερο τους intelligent agents από το **1995** και μετά όπου οι **Wooldridge and Jennings** όρισαν τα

χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει ένας intelligent agent. Ένας Intelligent agent θα πρέπει να έχει reactivity δηλαδή να μπορεί να έχει εισόδους από το περιβάλλον και να μπορεί να ανταπεξέλθει στις αλλαγές που συμβαίνουν ώστε να ικανοποιηθούν οι αρχικοί στόχοι του. Επίσης ένας agent πρέπει να εμφανίζει proactiveness δηλαδή συμπεριφορά οδηγούμενη από τους στόχους και τέλος να είναι κοινωνικός δηλαδή να μπορεί να συνεργαστεί με άλλους agents (**Wooldridge 2002**). Οποιοδήποτε software, μηχανήμα ή άνθρωπος εμφανίζει τα τρία παραπάνω χαρακτηριστικά είναι ένας intelligent agent. Οι agents χωρίζονται σε κατηγορίες σύμφωνα με τον βαθμό νοημοσύνης και ικανότητας τους (**Russell, Norvig, and Davis 2010**). Οι κατηγορίες αυτές είναι οι simple reflex agents, οι model-based reflex agents, οι goal-based agents, οι utility-based agents και οι learning agents. Επίσης σύμφωνα με τον **Weiss (2013)** χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες σύμφωνα με την αρχιτεκτονική τους Logic-based agents, τους Reactive agents, τους belief-desire-intention agents και τους agents με Layered architectures.

Οι agents έχουν πολλές εφαρμογές στην καθημερινότητα μας καθώς και σε πλήθος δραστηριοτήτων του ανθρώπου. Εφαρμόζονται σε πολλές περιπτώσεις όταν είναι απαραίτητη η χρήση ενός έξυπνου αυτόματου βοηθού. Έχουν πολλές εφαρμογές στο διαδίκτυο π.χ. μηχανές αναζήτησης, crawlers κλπ. Επίσης χρησιμοποιούνται σε οικιακές συσκευές ακόμα και στα αυτοκίνητα ή σε περιπτώσεις όπου είναι αναγκαία η δράση αλλά δεν είναι δυνατή η φυσική παρουσία του ανθρώπου. Τέλος η χρήση agents συνδυάζεται με περιοχές του διαδικτύου και του εμπορίου. Οι agents επιτελούν εργασίες των βοηθών αγορών σε site ώστε να ανιχνεύουν τις προτιμήσεις των χρηστών και να τους προσφέρουν εξατομικευμένη εξυπηρέτηση βάση των αναγκών τους.

### 3.4.5 Genetic Algorithms

Οι γενετικοί αλγόριθμοι ανήκουν στον κλάδο της επιστήμης των υπολογιστών και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές της τεχνητής νοημοσύνης. Αποτελούν μια μέθοδο αναζήτησης βέλτιστων λύσεων σε διάφορους τύπους προβλημάτων. Ο τρόπος λειτουργίας των γενετικών αλγορίθμων είναι εμπνευσμένος από τη βιολογία και χρησιμοποιεί την ιδέα της εξέλιξης. Οι γενετικοί αλγόριθμοι θεωρούνται ικανοί να προσφέρουν λογικές λύσεις σε περίπλοκα ζητήματα. Οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούν τεχνικές όπως η επιλογή, η κληρονομικότητα, η μετάλλαξη και άλλες, οι οποίες ως τρόπο λειτουργίας είναι εμπνευσμένες από την βιολογία. Η πιο ευρέως

χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η δημιουργία μιας ομάδας λύσεων τυχαία από ένα δοθέντα πληθυσμό και έπειτα η αξιολόγηση αυτών των λύσεων μέσω μιας συνάρτησης ώστε να προκύψει το σκορ της κάθε λύσης το οποίο δείχνει το κατά πόσο η λύση ανταποκρίνεται στο πρόβλημα. Στη συνέχεια οι δύο καλύτερες λύσεις χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθούν νέες λύσεις οι οποίες μεταλλάσσονται έτσι ώστε να προκύψει η καλύτερη αποδεκτή λύση ή ως τη στιγμή που θα επιτευχθεί ένας συγκεκριμένος αριθμός επαναλήψεων της παραπάνω διαδικασίας.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι παρουσιάζουν πλήθος πλεονεκτημάτων σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους της τεχνητής νοημοσύνης. Είναι πιο ανθεκτικοί και ανταποκρίνονται καλύτερα σε μικρές αλλαγές στις εισροές. Σε σχέση με άλλες μεθόδους βελτιστοποίησης όπως ο γραμμικός προγραμματισμός, και τα heuristics, , ένας γενετικός αλγόριθμος μπορεί να προσφέρει καλύτερα και πιο σημαντικά αποτελέσματα κατά την αναζήτηση λύσεων σε μεγάλου εύρους και δεδομένων προβλήματα.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλούς τομείς, όπως η ρομποτική, ο σχεδιασμός αυτοκινήτων, η βελτιστοποιημένη δρομολόγηση των τηλεπικοινωνιών, ο σχεδιασμός μηχανικής, τα παιχνίδια των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η κρυπτογραφία και το «σπάσιμο κωδικών», το marketing, το merchandising και ο υπολογιστικός μοριακός σχεδιασμός.

### **3.4.6 Rule Based Systems**

Τα συστήματα βασισμένα σε κανόνες ή Rule based systems είναι μια μεθοδολογία που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης ως τρόπος αποθήκευσης και χειρισμού γνώσης ώστε να μεταφράζεται πληροφορία σ' ένα χρήσιμο τρόπο. Είναι συνήθως τμήματα ενός έμπειρου συστήματος βασισμένο σε κανόνες, μιας βάσης γνώσης που χρησιμοποιείται ως ένας μηχανισμός εξαγωγής συμπερασμάτων σ' ένα συγκεκριμένο χώρο εργασίας (γεγονότα). Επίσης τα Rule based systems λειτουργούν και ως ένας μηχανισμός μοντέλου επικοινωνίας με το χρήστη και απόκτησης γνώσης.

Τα Rule based systems είναι συστήματα που βασίζονται σε κανόνες. Πιο ειδικά περιέχουν ένα σύνολο κανόνων/βάση γνώσης, ένα διερμηνέα κανόνων ο οποίος λειτουργεί ως μηχανή εξαγωγής συμπερασμάτων που αποφασίζει πότε και ποιους

κανόνες θα εφαρμόσει, τη διεπαφή με το χρήστη, καθώς και τον χώρο εργασίας που περιέχει τα δεδομένα, τους στόχους και συμπεράσματα που προκύπτουν κατά τη διαδικασία εκτέλεσης του προγράμματος ενός Rule based system. Οι κανόνες των Rule based systems έχουν την μορφή «Εάν <συνθήκη> τότε <ενέργειες> » .

Τα rule based systems έχουν αρκετές εφαρμογές ως τμήματα των έμπειρων συστημάτων στο τομέα της Ιατρικής για την υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων σχετικά με μια διάγνωση καθώς επίσης χρησιμοποιούνται σε προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστών ως compilers ή interpreters λόγω της δυνατότητας να υλοποιούν εύκολα λεκτικές αναλύσεις τόσο για ηλεκτρονικούς υπολογιστές αλλά και για φυσική γλώσσα.

### 3.4.7 Μηχανική μάθηση

Η μηχανική μάθηση είναι ένα πεδίο της τεχνητής νοημοσύνης που αναπτύχθηκε από την μελέτη αναγνώρισης προτύπων και της υπολογιστικής θεωρίας μάθησης και ασχολείται με τη μελέτη αλγορίθμων που βελτιώνουν τη συμπεριφορά τους, σε κάποια εργασία που τους έχει ανατεθεί χρησιμοποιώντας την εμπειρία τους. Σε μεγάλο βαθμό η επίλυση προβλημάτων με ευφυείς προσεγγίσεις οφείλεται στη δυνατότητα των συστημάτων να μαθαίνουν. Η μηχανική μάθηση θεωρείται ως το κυριότερο εργαλείο εργασίας στην νέα εποχή των big-data (**Naqa and Murphy 2015**). Η μηχανική μάθηση καθώς και οι τεχνικές που βασίζονται σ' αυτήν έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε ποικίλους τομείς όπως η αναγνώριση προσώπων, την μηχανική σκαφών, τις οικονομικές επιστήμες, την βιολογία και σ ένα πολύ μεγάλο βαθμό την ιατρική και διάφορες εφαρμογές της (**Naqa and Murphy 2015**).

## 3.5 Χρήση ευφυών μεθοδολογιών στα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων

Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων έχουν ως στόχο να υποβοηθούν τους ανθρώπους στη λήψη αποφάσεων. Η δομή των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων περιλαμβάνει πολλά ξεχωριστά υποσυστήματα όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη

ενότητα. Στα ξεχωριστά αυτά υποσυστήματα μπορεί να χρησιμοποιείται οποιαδήποτε από τις παραπάνω μεθοδολογίες τεχνητής νοημοσύνης που περιγράφηκαν είτε συνδυαστικά με κάποια άλλη είτε και μόνη της. Οι μεθοδολογίες της τεχνητής νοημοσύνης λόγω των χαρακτηριστικών τους, έχουν διαφορετικά αποτελέσματα στα προβλήματα που μπορεί να χρησιμοποιούνται. Για τον παραπάνω λόγο κατά τον σχεδιασμό ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων αφού εξετάζεται η φύση του προβλήματος επιλέγεται η κατάλληλη μεθοδολογία για την απεικόνιση και την επίλυση του. Έχει μεγάλη η σημασία η δυνατότητα και το χαρακτηριστικό των μεθοδολογιών, να μπορούν αν χρησιμοποιηθούν σε πολλούς τύπους προβλημάτων και σε ποικίλες περιοχές. Στο επόμενο τμήμα εξετάζεται η χρήση μεθοδολογιών της τεχνητής νοημοσύνης σε συστήματα υποστήριξης απόφασης σχετικά με το πρόβλημα των πυρκαγιών έτσι ώστε υπάρξουν συμπεράσματα για τον εάν κάποια μεθοδολογία είναι καταλληλότερη για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα ή αποδίδει καλύτερα από κάποια άλλη στο πρόβλημα. Αυτά τα συμπεράσματα θα προκύψουν από τους συσχετισμούς των χαρακτηριστικών των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων με τα χαρακτηριστικά των ευφυών μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση.



# Κεφάλαιο 4

## Δασικές Πυρκαγιές & Ευφυή Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων

Στις προηγούμενες ενότητες της μεταπτυχιακής διατριβής παρουσιάστηκε το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών, οι αιτίες του και οι συνέπειες του, καθώς και αναδείχθηκε η μεγάλη αναγκαιότητα αντιμετώπισης του. Επίσης παρουσιάστηκαν τα ευφυή συστήματα υποστήριξης απόφασης και κάποιες από τις μεθοδολογίες της τεχνητής νοημοσύνης οι οποίες χρησιμοποιούνται σ' αυτά. Στην ενότητα που ακολουθεί γίνεται η σύνδεση μεταξύ του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών και των ευφυών συστημάτων υποστήριξης απόφασης. Παρουσιάζεται μέσω της έρευνας και της ανάλυσης των αποτελεσμάτων η συνεργασία των δύο περιοχών, αυτή της τεχνητής νοημοσύνης και της δασοπονίας σχετικά με το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών.

### 4.1 Εισαγωγή

Ο σκοπός αυτής της ενότητας είναι να κατηγοριοποιήσει τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται για την επίλυση του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών και να παρουσιάσουν οι συσχετίσεις μεταξύ των μεθοδολογιών και του προβλήματος που επιλύουν.

Οι δασικές πυρκαγιές ως πρόβλημα είναι ένας τεράστιος τομέας, όσον αφορά την αντιμετώπιση του και υπάρχουν πολλές πτυχές του προβλήματος οι οποίες χρήζουν αντιμετώπισης. Πρέπει για παράδειγμα να αντιμετωπιστεί το θέμα της διαχείρισης μιας πυρκαγιάς αφού έχει ξεσπάσει ή να υπολογιστεί ο κίνδυνος να ξεσπάσει μια πυρκαγιά ή ακόμα και να προβλεφθεί ο τρόπος εξέλιξης μιας πυρκαγιάς. Όλα τα παραπάνω αποτελούν μικρότερα κομμάτια κάτω από το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών.

Το κάθε κομμάτι από αυτά, έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και η αντιμετώπιση του ως πρόβλημα, απαιτεί αντίστοιχα και κατάλληλους τρόπους επίλυσης. Δεν είναι αποτελεσματικό να εφαρμόζονται ίδιες λύσεις και αντίστοιχα να λαμβάνονται παρόμοιες αποφάσεις σε προβλήματα που διαφέρουν. Αντίστοιχα και τα ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που υλοποιούνται για να υποβοηθούν τους ανθρώπους στη λήψη αποφάσεων χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθοδολογίες, για την επίλυση των διαφορετικών προβλημάτων. Μια μεθοδολογία ενδέχεται να έχει καλύτερα αποτελέσματα σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα ή σε μια ομάδα προβλημάτων που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά.

Ο συσχετισμός αυτών των χαρακτηριστικών με τα χαρακτηριστικά της μεθοδολογίας είναι το ενδιαφέρον στοιχείο αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής καθώς η ένδειξη για την περισσότερο χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία για την επίλυση ενός τύπου προβλήματος, συμβάλλει στη διαδικασία επιλογής κατάλληλης μεθοδολογίας. Κατ' επέκταση μπορεί με αντιστοίχιση χαρακτηριστικών μεθοδολογίας και προβλήματος να επιλεγεί η κατάλληλη μεθοδολογία και σε κάποια άλλη προβληματική περιοχή. Ο τρόπος με τον οποίο ένα ευφυές σύστημα υποστήριξης αποφάσεων σχεδιάζεται ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του προβλήματος που έχει να αντιμετωπίσει και την γνώση που μπορεί να αποκτήσει. Μ' αυτό το δεδομένο επιλέγονται τα κατάλληλα εργαλεία για το κάθε πρόβλημα προς επίλυση σε διάφορες προβληματικές περιοχές.

Τα κατάλληλα εργαλεία είναι αριθμητικά μοντέλα αλλά και μεθοδολογίες της τεχνητής νοημοσύνης καθώς η χρήση τους προσφέρει εξειδίκευση και ευελιξία, χαρακτηριστικά τα οποία είναι πολύ χρήσιμα σε διαδικασίες μάθησης αλλά και λήψης αποφάσεων. Ο συσχετισμός προβλήματος και μεθοδολογίας προσφέρει ενδείξεις σχετικά με την αποτελεσματικότητα της μεθοδολογίας έτσι ώστε να υποβοηθήσει την μελλοντική ανάπτυξη ενός συστήματος υποστήριξης απόφασης και την επιλογή της καταλληλότερης μεθοδολογίας για την επίλυση του προβλήματος.

Οι δασικές πυρκαγιές και η διαχείριση τους ως πρόβλημα, λόγω της πολυπλοκότητας τους, της κλιματικής αλλαγής, της αβεβαιότητας, των συνεχών αλλαγών στην καύσιμη ύλη, της δυσκολίας στη διαχείριση και των οικονομικών περιορισμών συγκεντρώνουν ένα πλήθος παραμέτρων που για την επίλυση του προβλήματος απαιτούνται μεθοδολογίες που έχουν χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά των μεθοδολογιών της

τεχνητής νοημοσύνης που μπορούν να εξελίσσονται, να μαθαίνουν, να μεταβάλλονται και να είναι ευέλικτες **(Martell 2015)**.

Ως εκ τούτου είναι βέβαιο ότι ο συσχετισμός του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών με τις μεθοδολογίες των ευφυών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων είναι ένα θέμα εξαιρετικά σημαντικό για πολλές επιστημονικές περιοχές σχετικά με την επίλυση των προβλημάτων που αντιμετωπίζουν.

## 4.2 Μεθοδολογία

Για την εύρεση των συσχετίσεων μεταξύ των ευφυών συστημάτων υποστήριξης απόφασης και του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών πραγματοποιήθηκε έρευνα στη διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με δημοσιευμένες εργασίες για την αντιμετώπιση του προβλήματος ή προβλημάτων σχετικών με τις δασικές πυρκαγιές μέσω συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων. Η έρευνά αυτή πραγματοποιήθηκε σε μηχανές αναζήτησης που περιέχουν τέτοιου είδους βιβλιογραφία όπως είναι το Google scholar και το Scopus. Από την έρευνα προέκυψε ένας μεγάλος αριθμός εργασιών και βιβλίων τα οποία αναφερόντουσαν στο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών και στα συστήματα υποστήριξης απόφασης.

Οι εργασίες μελετήθηκαν και έγινε αξιολόγηση τους σχετικά με το αν στην επίλυση του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών χρησιμοποιούνται συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και ευφυείς μεθοδολογίες. Από την πρώτη αξιολόγηση της βιβλιογραφίας που συλλέχθηκε προέκυψαν 101 σχετικές με συστήματα υποστήριξης απόφασης και δασικές πυρκαγιές που για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιούσαν συστήματα που εμφάνιζαν ευφυΐα. Έπειτα ακολούθησε η τελική αξιολόγηση των εργασιών από την οποία προέκυψαν οι εργασίες που ανταποκρίνονται πλήρως στο ερευνητικό ερώτημα, σχετικά με την επίλυση του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών με ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και ευφυείς μεθοδολογίες.

Οι 43 σχετικές εργασίες ανασκοπούνται στην επόμενη ενότητα. Έπειτα οι εργασίες ομαδοποιούνται σχετικά με τα προβλήματα που επιλύουν και την ευφυή μεθοδολογία που χρησιμοποιείται. Για να είναι πιο εύκολη η ανάλυση των αποτελεσμάτων για τις

κατηγορίες προβλημάτων σχετικά με τις δασικές πυρκαγιές αλλά και για τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται, δημιουργούνται πίνακες με συντομογραφίες οι οποίες χρησιμοποιούνται στην ενότητα της ανάλυσης. Με την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτουν συμπεράσματα για τις μεθοδολογίες και το δασικό πρόβλημα τα οποία παρουσιάζονται. Επίσης δίνεται απάντηση το ερώτημα σχετικά με τη συνεργασία των δύο επιστημονικών περιοχών, της δασοπονίας και της τεχνητής νοημοσύνης. Σχετικά με τα συμπεράσματα προτείνεται και μελλοντική εργασία πάνω στο ερευνητικό ερώτημα.

### 4.3 Έρευνα

Το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών αντιμετωπίζεται τις τελευταίες δεκαετίες μέσω των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων. Στην ενότητα αυτή ανασκοπείται το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών όπου γίνεται χρήση ευφύων συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων και ευφύων μεθοδολογιών για την αντιμετώπιση τους. Η έρευνα που πραγματοποιήθηκε συνετέλεσε στην εύρεση 43 σχετικών με το παραπάνω πρόβλημα δημοσιευμένων εργασιών.

Μια προβληματική περιοχή στο ευρύτερο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών και μια σημαντική παράμετρος σχετικά με αποφάσεις για τη διαχείριση δασών έχει σχέση με τον εντοπισμό μια πυρκαγιάς και την παρακολούθηση μιας περιοχής που υπάρχει κίνδυνος να ξεσπάσει πυρκαγιά. Ο **Angayarkkani (2010)** παρουσιάζει ένα έξυπνό σύστημα για τον έγκαιρο εντοπισμό δασικών πυρκαγιών. Υποστηρίζει πως ο έγκαιρος εντοπισμός μιας δασικής πυρκαγιάς είναι ένα πολύ ζωτικό σημείο στην μετέπειτα αποτελεσματική διαχείριση της. Τα έξυπνο αυτό σύστημα βασίζεται στη συλλογή εικόνων από δασικές περιοχές, οι οποίες μέσω της μεθόδου της ανισοτροπικής διάχυσης μετατρέπονται σε τιμές για έναν νευρωνικό δίκτυο το οποίο εκπαιδεύεται από τις χρωματικές τιμές των εικόνων όπου υπάρχει πυρκαγιά, έτσι ώστε να μπορεί να εντοπίσει τις περιοχές με πυρκαγιές έγκαιρα. Τα πειραματικά αποτελέσματα χρήσης του νευρωνικού δικτύου έδειξαν ότι το σύστημα μπορεί με επιτυχία να εντοπίσει περιοχές με πυρκαγιές. Στα ίδια πλαίσια σχετικά με τον έγκαιρο εντοπισμό των πυρκαγιών ο **Stipanicev (2010)** παρουσιάζει ένα εξελιγμένο σύστημα παρακολούθησης και εντοπισμού δασικών πυρκαγιών που ονομάζεται iForestFire. Είναι ένα ευφύες σύστημα καθώς χρησιμοποιεί μεθοδολογίες τεχνητής νοημοσύνης όπως οι αυτόνομοι πράκτορες

και βασίζεται στην αρχιτεκτονική ενός πολυπρακτορικού συστήματος. Το σύστημα αναπτύχθηκε ως ένα συγκεκριμένο πειραματικό έργο, αλλά πλέον έχει μετατραπεί σε ένα εμπορικό σύστημα που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση περιοχών σχετικά με δασικές πυρκαγιές σε πολλά εθνικά και φυσικά πάρκα της Κροατίας και της ευρύτερης περιοχής της Ίστριας. Κινούμενοι σε ένα παρόμοιο επίπεδο οι **Bolourchi and Uysal (2013)** κατασκεύασαν ένα σύστημα παρακολούθησης το οποίο λειτουργεί αυτόνομα και παίρνει αποφάσεις ώστε να κάνει τις απαραίτητες ενέργειες όταν χρειάζεται. Η αποτελεσματικότητα του συστήματος δοκιμάστηκε από τους ερευνητές στο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών καθώς είναι μια προβληματική περιοχή η οποία με αναγκαιότητα την παρακολούθηση περιοχών αλλά και την λήψη αποφάσεων όταν συμβούν κάποια γεγονότα. Το σύστημα συλλέγει δεδομένα σχετικά με την υγρασία, τον αέρα, τη θερμοκρασία και την απόσταση και εφαρμόζει μεθοδολογίες τεχνητής νοημοσύνης όπως η ασαφής λογική και τα συστήματα βασισμένα σε κανόνες ώστε να υπολογιστεί η πιθανότητα να υπάρχει πυρκαγιά σε μια περιοχή και να γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες αν όντως αυτό συμβαίνει. Κινούμενοι στην ίδια λογική οι **Dutta, Bhowmik, and Giri (2014)** ερευνούν την αποτελεσματικότητα της χρήσης ασαφούς λογικής και συστημάτων βασισμένων σε κανόνες για τον καθορισμό της πιθανότητας να υπάρχει πυρκαγιά, σε κάποια δασική περιοχή από την οποία προέκυψαν δεδομένα μέσω αισθητήρων. Το σύστημα που χρησιμοποιεί τις παραπάνω μεθόδους βελτιώνει την ακρίβεια στον εντοπισμό των δασικών πυρκαγιών καθώς επίσης είναι ένα σύστημα πραγματικού χρόνου αφού τα δεδομένα εισόδου συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο. Στο πλαίσιο των δεδομένων που συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο οι **Arrue, Ollero, and Matinez de Dios (2000)** προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν την ανθρώπινη παρουσία για την παρακολούθηση δασικών εκτάσεων για τον κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς, προτείνουν ένα σύστημα με στόχο την μείωση των ψεύτικων συναγερμών σχετικά με τις πυρκαγιές. Το σύστημα κάνει χρήση κανόνων ασαφούς λογικής καθώς και νευρωνικών δικτύων για την επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνει από κάμερες, ώστε να προσφέρει στον χρήστη του συστήματος που λαμβάνει αποφάσεις, καινούρια και αποτελεσματικά εργαλεία για τον εντοπισμό των ψεύτικων συναγερμών σχετικά με τις πυρκαγιές. Το σύστημα ονομάζεται FAR και σύμφωνα με τα πειράματα, εμφανίζεται πολύ αποτελεσματικό καθώς εντόπισε τους ψεύτικους συναγερμούς αφού τροφοδοτήθηκε με τα αντίστοιχα data σε ποσοστό 90.05%. Οι **Soliman, Sudan, and Mishra (2010)** προτείνουν τον συνδυασμό ενός δικτύου αισθητήρων με ένα νευρωνικό δίκτυο ώστε να κατασκευαστεί ένα έξυπνο σύστημα εντοπισμού δασικών πυρκαγιών

μέσω αισθητήρων. Το σύστημα βασίζεται στα δεδομένα που λαμβάνονται μέσω αισθητήρων χαμηλού κόστους και μετατρέπονται σε γνώση για να τροφοδοτηθεί το νευρωνικό δίκτυο. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων για το σύστημα είναι πολλά υποσχόμενα καθώς όχι μόνο καταφέρνει να εντοπίσει έγκαιρα πυρκαγιές αλλά και να δώσει πληροφορίες σχετικά με την κατεύθυνση της πυρκαγιάς.

Οι **Alonso-Betanzos et al. (2003)** για την αντιμετώπιση του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών στην περιοχή της Γαλικίας πρότειναν ένα σύστημα με πολλές δυνατότητες, μια εκ των οποίων είναι η παρακολούθηση της πυρκαγιάς μέσω αισθητήρων και ο εντοπισμός της. Το σύστημα λειτουργεί μέσω ενός νευρωνικού δικτύου και είναι βασισμένο σε κανόνες. Η παρακολούθηση και η πρόβλεψη αποτελούν μέρος μόνο του συνολικού συστήματος υποστήριξης αποφάσεων που εφαρμόστηκε στην περιοχή της Γαλικίας. Στα πλαίσια ενός συστήματος για την πρόληψη δασικών πυρκαγιών σε περιοχή της Κροατίας οι **Bodrozic, Stipanicev, and Stula (2006)** εφάρμοσαν μεθοδολογία πρακτόρων για την συλλογή και την επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικά δεδομένα ώστε να εντοπίσουν έγκαιρα περιοχές στις οποίες έχει ξεκινήσει μια δασική πυρκαγιά. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης σύμφωνα με τους συγγραφείς είναι η ευκολία του γενικού ελέγχου του συστήματος λόγω της μεγάλης δυνατότητας προσαρμογής του με την προσθήκη νέων αισθητήρων, στην ουσία νέων πρακτόρων οι οποίοι διαχειρίζονται τα δεδομένα με διαφορετικό τρόπο και σε διαφορετικό επίπεδο. Στο ίδιο πλαίσιο των πρακτόρων οι **Stula, Krstinic, and Seric (2012)** επεκτείνουν το παραπάνω σύστημα που εφαρμόζεται στην περιοχή της Κροατίας με την προσθήκη πρακτόρων με διαφορετικές ιδιότητες ώστε να είναι πιο εφικτός ο έγκαιρος εντοπισμός των πυρκαγιών καθώς και το σύστημα να γίνει περισσότερο ευέλικτο και να μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλες προβληματικές περιπτώσεις για την ανίχνευση φυσικών φαινομένων.

Πολλά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων σχετικά με τις πυρκαγιές προκειμένου να βοηθήσουν τους αρμόδιους να παίρνουν αποφάσεις έχουν μηχανισμούς εκτίμησης των συνεπειών από μια ενδεχόμενη πυρκαγιά. Αυτό βοηθάει στη λήψη μέτρων σχετικά με την συγκεκριμένη περιοχή καθώς και στην οργάνωση των δυνάμεων αποτροπής και αντιμετώπισης των πυρκαγιών. Οι **Özbayoğlu and Bozer (2012)** χρησιμοποιούν νευρωνικά δίκτυα, ασαφή λογική και Support Vectors machines σε δεδομένα που αφορούν περίπου 8000 πυρκαγιές στην Τουρκία με στόχο να συγκρίνουν τους

αλγορίθμους και να καταλήξουν σ αυτόν που έχει τα καλύτερα αποτελέσματα για την πρόβλεψη των εκτάσεων που θα καούν από μια ενδεχόμενη πυρκαγιά, γεγονός το οποίο όπως αναφέραμε έχει μεγάλη σημασία στην διαχείριση των δασών και των πυρκαγιών. Στην ίδια λογική για την πρόβλεψη των εκτάσεων που θα καούν από μια ενδεχόμενη πυρκαγιά οι **Castelli, Vanneschi, and Popovič (2015)** χρησιμοποιούν γενετικούς αλγόριθμους βασισμένους στα μετεωρολογικά δεδομένα και τα δεδομένα μιας βάσης δεδομένων 517 πυρκαγιών. Χρησιμοποιώντας Support Vector Machines οι **Cortez and Morais (2007)** αφού πρώτα συγκρίναν την μεθοδολογία SVM με άλλες μεθοδολογίες καταλήγουν πως έχει τα καλύτερα αποτελέσματα για την πρόβλεψη των εκτάσεων που θα καούν σε μικρού μεγέθους πυρκαγιές οι οποίες είναι και οι πιο συχνές. Στον τομέα της πρόβλεψης των εκτάσεων που θα καούν από μια ενδεχόμενη πυρκαγιά οι **Sasikala and Petrou (2001)** χρησιμοποιούν ασαφή λογική ώστε να προβλέψουν τις εκτάσεις αλλά και προκειμένου να υπολογίσουν το ρίσκο ερημοποίησης μιας περιοχής που κάηκε. Δοκιμάζονται και προτείνονται δύο μέθοδοι ώστε να ελεγχθεί ποια από τις δύο αποδίδει καλύτερα σχετικά με το παραπάνω πρόβλημα. Τέλος μέρος του συστήματος που ανέπτυξαν οι **Alonso-Betanzos et al. (2003)** για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών στην περιοχή της Γαλικίας που περιεγράφηκε παραπάνω χρησιμοποιεί ένα σύστημα βασισμένο σε κανόνες για την πρόβλεψη των περιοχών που θα επηρεαστούν από μια ενδεχόμενη πυρκαγιά.

Για να προβλέψουν την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς αφού έχει ξεκινήσει, \στοιχείο που αποτελεί σημαντικό παράγοντα στη λήψη αποφάσεων ενός διαχειριστή μιας πυρκαγιάς οι **Ghisu et al. (2015)** σύγκριναν την μέθοδο των Cellular Automata με μεθόδους βασισμένες σε διανύσματα και φάνηκε να είναι αποτελεσματική και να έχει τη δυνατότητα να προβλέψει την εξάπλωση μιας πυρκαγιάς καθώς και την ταχύτητα της. Το ίδιο πρόβλημα της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς αντιμετωπίζουν και οι **Mata et al. (2010)** χρησιμοποιώντας όμως την μεθοδολογία case based reason (CBR). Η μεθοδολογία CBR βασίζεται στην επίλυση προβλημάτων με την βοήθεια των λύσεων που δόθηκαν σε παρόμοια προβλήματα στο παρελθόν. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθοδολογίας CBR στο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών από τους **Mata et al. (2010)** η μεθοδολογία υπερτερεί έναντι άλλων με πολύ ποιοτικά αποτελέσματα.

Η διαχείριση όλων των δασικών περιοχών είναι μια διαδικασία ανέφικτη λόγω των τεράστιων εκτάσεων. Για το λόγο αυτό για την κάθε περιοχή μπορεί να υπολογιστεί ο κίνδυνος δασικής πυρκαγιάς από ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων ώστε να δοθεί η κατάλληλη πληροφορία στον άνθρωπο που παίρνει αποφάσεις για τη ορθή διαχείριση της δασικής περιοχής, όπως η μείωση της καύσιμης ύλης και η κατάλληλη τοποθέτηση των πυροσβεστικών μονάδων. Οι **Wybo, Guarniéri, and Richard (1995)** για το λόγο αυτό προτείνουν ένα σύστημα βασισμένο σε κανόνες το οποίο κάνει εκτίμηση του κινδύνου για την εμφάνιση πυρκαγιάς βάση παραμέτρων όπως η συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιών στην περιοχή, η ευφλεκτότητα της καύσιμης ύλης, η σοβαρότητα των πυρκαγιών από τα ιστορικά δεδομένα κ.α. Το σύστημα αυτό αναπτύχθηκε για ερευνητικούς σκοπούς. Στην ίδια λογική οι **Alonso-Betanzos et al. (2002)** αναπτύσσουν ένα σύστημα για την πρόβλεψη του κινδύνου μιας δασικής πυρκαγιάς στην περιοχή της Γαλικίας το οποίο βασίζεται σε ένα νευρωνικό δίκτυο που εκπαιδεύεται και ελέγχεται με ιστορικά δεδομένα δεκαεσσάρων ετών σχετικά με πυρκαγιές, καθώς και μετεωρολογικά δεδομένα. Το σύστημα εμφάνισε αποδεκτά αποτελέσματα σε πειραματικό επίπεδο σχετικά με την πρόβλεψη του κινδύνου δασικών πυρκαγιών. Ένα ευφύες σύστημα υποστήριξης αποφάσεων βασισμένο σε κανόνες παρουσιάζουν οι **Hessburg et al. (2007)** για την εκτίμηση του κινδύνου σοβαρών δασικών πυρκαγιών το οποίο δοκιμάζεται σε μια μεγάλη έκταση στα Βραχώδη όρη. Μέσω του συστήματος και της χρήσης του, είναι εμφανής σύμφωνα με τους συγγραφείς, η τεράστια σημασία των συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων που βασίζονται σε ευφυής μεθοδολογίες για την διαχείριση της περιοχής, καθώς η εκτίμηση του κινδύνου δίνει σημαντικές πληροφορίες για τους διαχειριστές. Στην ίδια λογική για των υπολογισμό του κινδύνου εμφάνισης δασικών πυρκαγιών σε μια δασική περιοχή της Βολιβίας οι **Devisscher, Boyd, and Malhi (2016)** λόγω της μεγάλης αβεβαιότητας που υπάρχει για την εκτίμηση του κινδύνου χρησιμοποιούν ασαφή λογική με πολύ ελπιδοφόρα αποτελέσματα για την περιοχή και δυνατότητα γενίκευσης των αποτελεσμάτων σ' άλλες παρόμοιες και μη δασικές περιοχές. Ασαφή λογική σε συνδυασμό με νευρωνικά δίκτυα σε ένα υβριδικό μοντέλο χρησιμοποιούν και οι **Tien Bui et al. (2017)** για να υπολογίσουν τον κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιών στα τροπικά δάση περιοχής του Βιετνάμ. Το παραπάνω μοντέλο συγκρίνεται με άλλες μεθοδολογίες όπως η support vector machines με καλύτερα αποτελέσματα. Το σύστημα μπορεί να προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για τον σχεδιασμό σχετικά με την αποτροπή δασικών πυρκαγιών.



Η αποτροπή των δασικών πυρκαγιών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη διαχείριση των δασικών εκτάσεων. Προκειμένου να ληφθούν αποφάσεις σχετικά με την αποτροπή των δασικών πυρκαγιών χρειάζεται ανάλυση μεγάλου πλήθους πληροφοριών που δεν είναι εύκολο να την υλοποιήσει ο άνθρωπος μόνος του. Σ αυτό το πλαίσιο οι **Jaber, Guarnieri, and Wybo (2001)** ανέπτυξαν ένα σύστημα που χρησιμοποιεί ευφυής μεθόδους όπως αυτήν των αυτόνομων πρακτόρων για την αποτροπή μιας δασικής πυρκαγιάς. Το σύστημα έχει τη δυνατότητα μέσω των πρακτόρων να περιπολεί την περιοχή, να την ελέγχει, να πραγματοποιεί τις επικοινωνίες μεταξύ των πρακτόρων και να δίνει σημαντικές πληροφορίες στο κέντρο ελέγχου των πυροσβεστών. Στην αποτροπή των δασικών πυρκαγιών σημαντικό ρόλο παίζει η αβεβαιότητα σχετικά με τους παράγοντες που επηρεάζουν την πιθανότητα εμφάνισης μιας δασικής πυρκαγιάς. Οι **Dutta, Bhowmik, and Giri (2014)** προτείνουν μια προσέγγιση για την αποτροπή των δασικών πυρκαγιών που διαχειρίζεται την αβεβαιότητα μέσω της ασαφούς λογικής. Το σύστημα επίσης βελτιώνει την ακρίβεια για τον εντοπισμό δασικών πυρκαγιών και προσφέρει εντοπισμό σε πραγματικό χρόνο. Οι **Kalabokidis et al. (2012)** υλοποιούν ένα σύστημα υποστήριξης απόφασης με πολλά modules για την αποτροπή των δασικών πυρκαγιών. Τα διάφορα modules χρησιμοποιούν μοντέλα και τεχνικές ευφυής ή μη. Το module που ασχολείται με τον υπολογισμό του κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιών προκειμένου να υπολογίσει τον κίνδυνο κάνει χρήση νευρωνικών δικτύων και ευφυών μεθοδολογιών.

Για τον καλύτερο προγραμματισμό της διαχείρισης μιας πυρκαγιάς είναι σημαντικό πλεονέκτημα ο υπολογισμός του τρόπου εξάπλωσης της. Ο τρόπος εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς εξαρτάται από πάρα πολλούς παράγοντες όπως τον τύπο της φωτιάς, την καύσιμη ύλη της περιοχής, τις μετεωρολογικές συνθήκες, το έδαφος, την απόσταση των δυνάμεων αποτροπής και άλλα. Είναι βέβαιο ότι είναι ένα περίπλοκο μέρος του προβλήματος και η αντιμετώπιση του δεν είναι απλή, καθώς η αβεβαιότητα κυριαρχεί σε όλους τους παραπάνω παράγοντες που αναφέρθηκαν. Οι **Cencerrado et al. (2015)** χρησιμοποιούν γενετικούς αλγόριθμους προκειμένου να υπολογίσουν τον τρόπο εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς αντιμετωπίζοντας έτσι την αβεβαιότητα που προκύπτει από τους μετεωρολογικούς παράγοντες. Σε μια παρόμοια παλιότερη προσέγγιση οι **Cencerrado, Cortés, and Margalef (2012b)** υποστηρίζουν ότι οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι μια πολύ ικανοποιητική στρατηγική για τον υπολογισμό της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς λόγω της δυνατότητας της μεθοδολογίας για πολλές επαναλήψεις. Οι ίδιοι συγγραφείς την ίδια χρονιά **Cencerrado, Cortés, and Margalef (2012a)** προχωράνε

ένα βήμα παρακάτω και καθώς έχουν προτείνει τους γενετικούς αλγόριθμους ως μια αποτελεσματική μεθοδολογία για τον υπολογισμό του τρόπου εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς, μέσω στατιστικών αναλύσεων αποδεικνύουν την ποιότητα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και δίνουν τη δυνατότητα για τη χρήση συγκεκριμένων παραμέτρων στους γενετικούς αλγόριθμους. Με παρόμοιο τρόπο στο σύστημα που ανέπτυξαν οι **Brun et al. (2012)** χρησιμοποιούν γενετικούς αλγόριθμους και προβλέπουν τον τρόπο εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς με τα αποτελέσματα να είναι πολύ σημαντικά και να δείχνουν σημαντική μείωση στις λάθος προβλέψεις. Συνεχίζοντας τη δουλειά του πάνω στην πρόβλεψη της εξάπλωσήςνμιας πυρκαγιάς οι **Artés et al. (2016)** δοκιμάζουν μια προσέγγιση με γενετικούς αλγόριθμους σε τρεις συνδυασμούς σε σχέση με το χρόνο, σε πραγματικά δεδομένα και η εφαρμογή τους δείχνει σπουδαία βελτίωση στην ακρίβεια. Σε αντίθεση με τις παραπάνω προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν μόνο γενετικούς αλγορίθμους οι **Wang Xuehua et al. (2016)** χρησιμοποιούν την μεθοδολογία των Cellular Automata που έχει πολύ σημαντικές δυνατότητες σε θέματα προσομοίωσης. Μέσω των cellular automata υλοποιείται ένα σύστημα πρόβλεψης πυρκαγιών. Οι προσομοιώσεις στο σύστημα δείχνουν ότι το μοντέλο αυτό θα μπορούσε εύκολα να προσομοιώσει τον τρόπο εξάπλωσης μια δασικής πυρκαγιάς σε ποικίλες συνθήκες. Μια ακόμα μεθοδολογία αυτή της μηχανικής μάθησης χρησιμοποιούν οι **Ganapathi Subramanian and Crowley (2018)** για να προβλέψουν την εξάπλωση μιας πυρκαγιάς. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται έχει πολύ καλά αποτελέσματα τις πειραματικές δοκιμές με ψηλά ποσοστά ακρίβειας στις προβλέψεις του.

Η πρόβλεψη μιας δασικής πυρκαγιάς και ο υπολογισμός ενός δείκτη κινδύνου για την εμφάνιση της, εξαρτώνται από πλήθος παραμέτρων όπως οι κλιματολογικές συνθήκες, η μορφολογία της περιοχής, ο τύπος της καύσιμης ύλης και πολλών άλλων. Οι παράμετροι αυτοί εξετάζονται ως παράγοντες με μεγάλο πλήθος και να ποικίλουν για τον υπολογισμό δεικτών για την πρόβλεψη μιας δασικής πυρκαγιάς. Οι **Sakr et al. (2010)** χρησιμοποιούν παλιότερα μετεωρολογικά δεδομένα στην περιοχή του Λίβανου ως παράγοντες για τον υπολογισμό του κινδύνου εμφάνισης μιας πυρκαγιάς και την πρόβλεψη της με μεγάλη ακρίβεια μέσω της μεθοδολογίας support vector machines. Επίσης από την περιοχή του Λιβάνου καθώς θεωρείτε πλούσια σε δάση με πολλά είδη δέντρων και αποτελεί τουριστικό προορισμός οι **Hamadeh et al. (2015)** χρησιμοποιούν μετεωρολογικά δεδομένα του 2012 ως παράγοντες που επηρεάζουν τον κίνδυνο

εμφάνισης μιας πυρκαγιάς. Τον έλεγχο αυτό των πραγματοποιούν με τη χρήση ενός νευρωνικού δικτύου στο οποίο μελετάνε τη συμπεριφορά ανάλογα με τις αλλαγές στους παράγοντες. Το νευρωνικό δίκτυο επιδεικνύει μια πολύ καλή απόδοση σύμφωνα με τους ερευνητές στην πρόβλεψη. Ένα νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιούν ως προσέγγιση και οι **Safi and Bouroumi (2013)** ώστε να ελέγξουν αν μπορεί να προβλέψει τον κίνδυνο για δασικές πυρκαγιές στην περιοχή της Πορτογαλίας κάνοντας χρήση ως παράγοντες τα μέρη του Καναδικού συστήματος για την αξιολόγηση του κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιών που ονομάζεται Fire Weather Index(FWI). Στην ίδια λογική οι **Satir, Berberoglu, and Donmez (2016)** με τη χρήση ενός νευρωνικού δικτύου προσπαθούν να υπολογίσουν την πιθανότητα εμφάνισης πυρκαγιάς και πως αυτή επηρεάζεται από τους μετεωρολογικούς παράγοντες στην περιοχή της Τουρκίας. Λίγο αργότερα όπως περιεγράφηκε και παραπάνω οι **Tien Bui et al. (2017)** μέσω μιας υβριδικής μεθόδου που χρησιμοποιεί νευρωνικά δίκτυα και ασαφή λογική δημιουργούν ένα σύστημα για την πρόβλεψη των δασικών πυρκαγιών στην περιοχή του Βιετνάμ. Με ίδια μεθοδολογία στο σύστημα για την περιοχή της Γαλικίας οι **Alonso-Betanzos et al. (2003)** μέσω ενός νευρωνικού δικτύου κάνουν πρόβλεψη για την εμφάνιση πυρκαγιών με σημαντικά αποτελέσματα σχετικά με την ακρίβεια στις προβλέψεις .

Στην κατηγορία αυτή της πρόβλεψης των δασικών πυρκαγιών μέσω της αξιολόγησης των παραγόντων που επηρεάζουν τον κίνδυνο εμφάνισης της πυρκαγιάς πολλοί ερευνητές κάνουν χρήση της ασαφούς λογικής. Οι **Arrue, Ollero, and Matinez de Dios (2000)** κατασκευάζουν ένα σύστημα για τον εντοπισμό των δασικών πυρκαγιών το οποίο μέσω ασαφούς λογικής προβλέπει τις δασικές πυρκαγιές μέσα από μετεωρολογικά δεδομένα. Οι **Kaloudis et al. (2005)** προτείνουν έναν δείκτη για τον εκτίμηση του κινδύνου μιας δασικής πυρκαγιάς, ο οποίος υπολογίζεται βάση παραγόντων όπως η σοβαρότητα στις πυρκαγιές, το ιστορικό εμφάνισης των πυρκαγιών, η ευαισθησία της καύσιμης ύλης κ.α. Ο δείκτης υπολογίζεται μέσω των ασαφών συνόλων και της ασαφούς λογικής στα πλαίσια ενός συστήματος υποστήριξης αποφάσεων. Την ίδια χρονιά ο **L. S. Iliadis (2005)** προτείνει ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων για την εκτίμηση του κινδύνου μιας δασικής πυρκαγιάς που χρησιμοποιεί ασαφή σύνολα και εφαρμόστηκε σε περιοχές της Ελλάδας. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι εκτιμά επιτυχώς τις περιοχές με μεγάλο κίνδυνο εμφάνισης μιας δασικής πυρκαγιάς. Για τα Ελληνικά δάση οι **L. Iliadis et al. (2010)** αλλά και οι **L. S. Iliadis, Vangeloudh, and Spartalis (2010)** προτείνουν δύο συστήματα που κάνουν χρήση της ασαφούς

λογικής και των fuzzy c –means αντίστοιχα προκειμένου μέσω παραγόντων(αριθμός πυρκαγιών, ετήσιος αριθμός καμένων εκτάσεων κ.α.) να προβλέψουν τον κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιάς στις περιοχές που εφαρμόζονται. Σε παρόμοια λογική με τη χρήση των προσεγγιστικών συνόλων υπολογίζουν τον κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιάς και οι **Tsatalzinos, Iliadis, and Spartalis (2011)** με εφαρμογή και πάλι σε δασικές περιοχές της Ελλάδος οι οποίες όμως για τις ανάγκες της μελέτης χωρίστηκαν σε μικρά κομμάτια.

Την μεθοδολογία FUZZY-AHP χρησιμοποιούν οι **Kant Sharma et al. (2012)** για την πρόβλεψη του κινδύνου των δασικών πυρκαγιών στα πλαίσια της διαχείρισης μιας δασικής περιοχής. Η βάση γνώσης που χρησιμοποιείται περιέχει τοπογραφικά κριτήρια καθώς και πλήθος άλλων παραγόντων που επηρεάζουν τον κίνδυνο μιας δασικής πυρκαγιάς. Σε μια από τις πιο πρόσφατες μελέτες σχετικά με την πρόβλεψη των δασικών πυρκαγιών με χρήση μεθοδολογιών που έχουν σχέση με την ασαφή λογική, οι **Ali Akbar, Ali, and Heydar (2017)** χρησιμοποιούν fuzzy- cmeans ώστε να ομαδοποιήσουν τους παράγοντες που επηρεάζουν τον κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιάς και να τον υπολογίσουν.

Το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών είναι εξαιρετικό σημαντικό λόγω των σοβαρών και δυσάρεστων συνεπειών που έχει, παράλληλα, όμως προσφέρει και ένα εξαιρετικό πεδίο ελέγχου αλγορίθμων και τεχνικών λόγω των πολλών παραμέτρων που υπάρχουν στην προβληματική περιοχή, καθώς επίσης και λόγω του μεγάλου βαθμού αβεβαιότητας, γεγονός που ευνοεί της μεθοδολογίες της τεχνητής νοημοσύνης. Στην επόμενη ενότητα ακολουθεί ανάλυση των παραπάνω εργασιών και μελετών που ερευνήθηκαν.

## 4.4 Ανάλυση - Αποτελέσματα

Από την έρευνα προκύπτουν συγκεκριμένες κατηγορίες προβλημάτων κάτω από το γενικότερο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών. Σύμφωνα με τις εργασίες που συλλέχθηκαν ορίστηκαν 7 ξεχωριστές κατηγορίες προβλημάτων.

- Η πρώτη κατηγορία είναι αυτή του εντοπισμού και της παρακολούθησης μιας πυρκαγιάς (**Fire Detection/Monitoring**),

- η δεύτερη κατηγορία προβλημάτων είναι αυτή της εκτίμησης των καμένων περιοχών (**Estimation of Burned Area**),
- η τρίτη είναι η εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης μιας δασικής πυρκαγιάς (**Fire Danger Assesment**),
- η τέταρτη ο τρόπος εξέλιξης μιας πυρκαγιάς αφού ξεσπάσει (**Forest Fire Evolution**),
- η πέμπτη η πρόβλεψη του τρόπου εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς (**Forest Fire Spread Prediction**),
- η έκτη η πρόβλεψη πυρκαγιών μέσω δεικτών και παραγόντων (**Fire Prediction Index /Factors**)
- και η έβδομη η αποτροπή των πυρκαγιών (**Forest Fire Prevention**).

Οι κατηγορίες παρουσιάζονται στον πίνακα 2 καθώς και οι συντομογραφίες (**Abbreviation**) τους, με τις οποίες θα αναφέρονται στην υπόλοιπη μεταπτυχιακή διατριβή για την διευκόλυνση του αναγνώστη καθώς και της συγγραφής.

| A/A | PROBLEM CATEGORIES             | Abbreviation |
|-----|--------------------------------|--------------|
| 1   | Fire Detection/Monitoring      | FDM          |
| 2   | Estimation of Burned Area      | EBA          |
| 3   | Fire Danger Assesment          | FDA          |
| 4   | Forest Fire Evolution          | FE           |
| 5   | Forest Fire Spread Prediction  | FSP          |
| 6   | Fire Prediction Index /Factors | FPIF         |
| 7   | Forest Fire Prevention         | FP           |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2- ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ**

Για την επίλυση των παραπάνω κατηγοριών προβλημάτων μέσα από την επιστημονική κοινότητα προτείνονται λύσεις και συστήματα υποστήριξης αποφάσεων που περιγράφηκαν στην προηγούμενη ενότητα και χρησιμοποιούν ευφυείς μεθοδολογίες. Συνολικά από την έρευνα προέκυψε η χρήση 9 μεθοδολογιών της τεχνητής νοημοσύνης από τα ευφυή συστήματα υποστήριξης αποφάσεων. Οι μεθοδολογίες αυτές είναι:

- νευρωνικά δίκτυα (**NEURAL NETWORKS**),

- ασαφής λογική (**FUZZY LOGIC**),
  - μεθοδολογία support vector machines (**SVP**),
  - συστήματα βασισμένα σε κανόνες (**RULE BASED**),
  - γενετικοί αλγόριθμοι (**GENETIC ALGORITHMS**),
  - μεθοδολογία Case Based Reason(**CBR**),
  - Cellular Automata (**CA**),
  - μηχανική μάθηση(**MACHINE LEARNING**)
  - πράκτορες (**AGENTS**).
- Οι μεθοδολογίες παρουσιάζονται στον πίνακα 3 όπου και υπάρχουν αντίστοιχα οι συντομογραφίες τους (**Abbreviation**), σύμφωνα με τις οποίες θα αναφέρονται στην υπόλοιπη μεταπτυχιακή διατριβή για την διευκόλυνση του αναγνώστη καθώς και της συγγραφής.

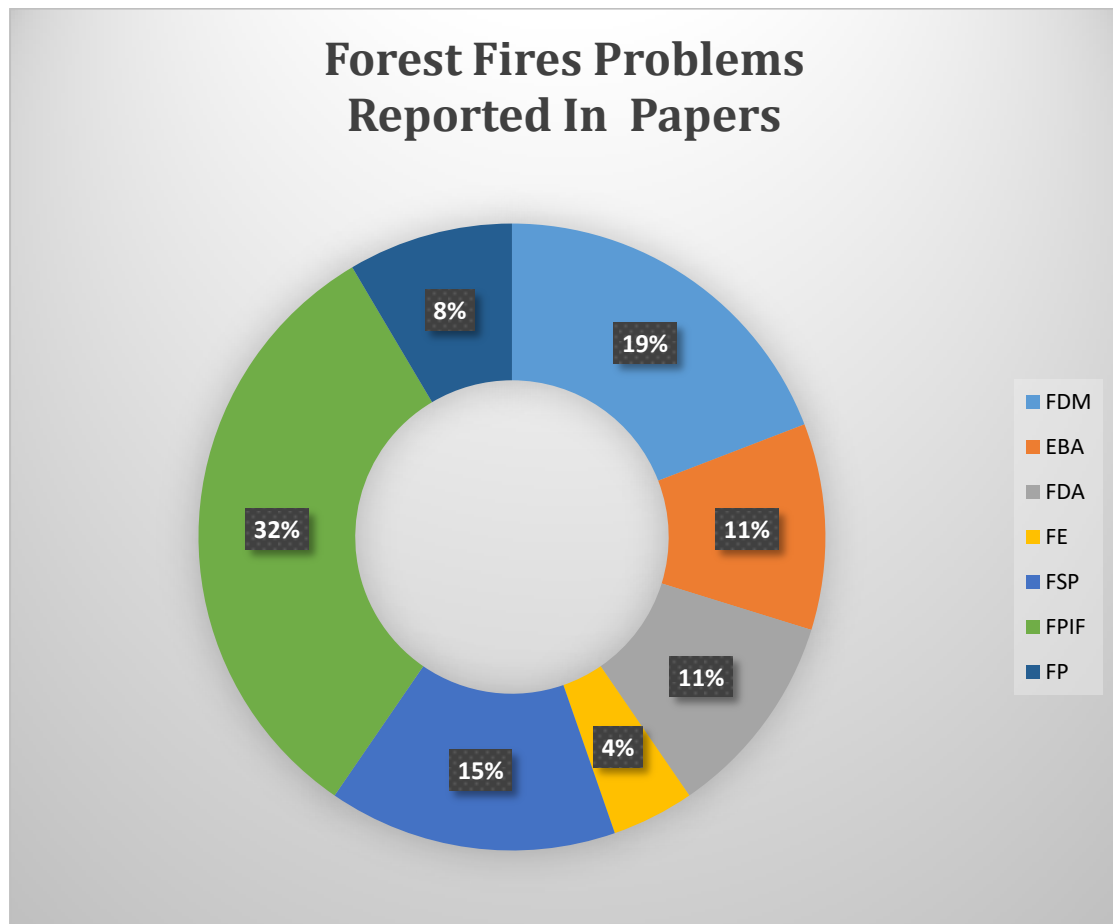
| <b>A/A</b> | <b>A. I. Methodology</b>       | <b>Abbreviation</b> |
|------------|--------------------------------|---------------------|
| <b>1</b>   | <b>NEURAL NETWORKS</b>         | <b>NN</b>           |
| <b>2</b>   | <b>FUZZY LOGIC</b>             | <b>FL</b>           |
| <b>3</b>   | <b>SUPPORT VECTOR MACHINES</b> | <b>SVP</b>          |
| <b>4</b>   | <b>RULE BASED</b>              | <b>RB</b>           |
| <b>5</b>   | <b>GENETIC ALGORITHMS</b>      | <b>GA</b>           |
| <b>6</b>   | <b>CASE BASED REASON</b>       | <b>CBR</b>          |
| <b>7</b>   | <b>CELLULAR AUTOMATA</b>       | <b>CA</b>           |
| <b>8</b>   | <b>MACHINE LEARNING</b>        | <b>ML</b>           |
| <b>9</b>   | <b>AGENTS</b>                  | <b>AG</b>           |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3- ΕΥΦΥΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ**

Σύμφωνα με την έρευνα, σε αρκετά papers στα ευφυή συστήματα που περιγράφονται και υλοποιούνται, χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία μεθοδολογίες για την επίλυση του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών. Επίσης ενδέχεται το σύστημα να έχει modules που μπορούν να δώσουν λύσεις σε περισσότερες από μια κατηγορίες προβλημάτων από αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Συγκεκριμένα υπάρχουν τρεις εργασίες όπου το πρόβλημα στο οποίο εστιάζουν ανήκει σε περισσότερες από μια κατηγορίες καθώς και υπάρχουν έντεκα εργασίες που χρησιμοποιούν περισσότερες από μια ευφυή μεθοδολογία για την αντιμετώπιση του προβλήματος που πραγματεύονται.

Οι εργασίες αυτές στα πλαίσια της ανάλυσης αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστές περιπτώσεις επίλυσης του προβλήματος με την αντίστοιχη μεθοδολογία. Θεωρείτε στην ανάλυση των αποτελεσμάτων ότι υπάρχουν 2 εργασίες όταν χρησιμοποιείται μια μεθοδολογία αλλά το σύστημα πραγματεύεται πρόβλημα που ανήκει σε περισσότερες από μια από τις 7 κατηγορίες δασικών προβλημάτων που αναφέραμε. Αντίστοιχα προσμετράτε η εργασία που χρησιμοποιεί περισσότερες από μια μεθοδολογίες για την επίλυση ενός η περισσότερων προβλημάτων. Η παραδοχή αυτή είναι και λογικά ορθή αλλά και απαραίτητη καθώς διαφορετικά θα αγνοούσαμε ένα σημαντικό μέρος των εργασιών που φτάνει περίπου το 10%.

Στο γράφημα 1 παρουσιάζονται οι εργασίες ανάλογα με το πρόβλημα δασικών πυρκαγιών στο οποίο επικεντρώνονται και προσπαθούν να επιλύσουν με ποσοστά. Είναι φανερό ότι ένας μεγάλος όγκος των εργασιών επικεντρώνεται στην κατηγορία **FPIF** (32%) σχετικά με τον υπολογισμό ενός δείκτη για την πρόβλεψη των δασικών πυρκαγιών λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες οι οποίοι τον επηρεάζουν.



**ΓΡΑΦΗΜΑ 1 - FOREST FIRES PROBLEMS REPORTED IN PAPERS**

Η δεύτερη κατά σειρά μεγέθους κατηγορία προβλημάτων είναι η **FDM** (19%) σχετικά με τον εντοπισμό των δασικών πυρκαγιών και της παρακολούθησής τους και ακολουθεί η κατηγορία **FSP** (15%) σχετικά με την εκτίμηση της εξάπλωσης μιας δασικής πυρκαγιάς.

Έπειτα ακολουθούν με μικρότερη συμμετοχή οι κατηγορίες **EBA** (11%) και **FDA** (11%) σχετικά με την πρόβλεψη των καμένων περιοχών και την εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης μιας δασικής πυρκαγιάς. Λιγότερη ενασχόληση των ερευνητών εντοπίζεται σχετικά με την κατηγορία **FP** (8%) και την κατηγορία προβλημάτων **FE** (4%) σχετικά με την αποτροπή πυρκαγιών και την εξέλιξη τους μετά την ανάφλεξη αντίστοιχα. Αριθμητικά βρέθηκαν 15 εργασίες σχετικά με την κατηγορία **FPIF**, 10 σχετικές με **FDM**, 7 που πραγματεύονται το πρόβλημα της κατηγορίας **FSP**, από 5 για τις κατηγορίες **EBA** και **FDA** και τέλος 4 και 2 εργασίες σχετικές με τις κατηγορίες **FP** και **FE** αντίστοιχα. Όλα τα παραπάνω αριθμητικά δεδομένα παρουσιάζονται στο γράφημα 2.



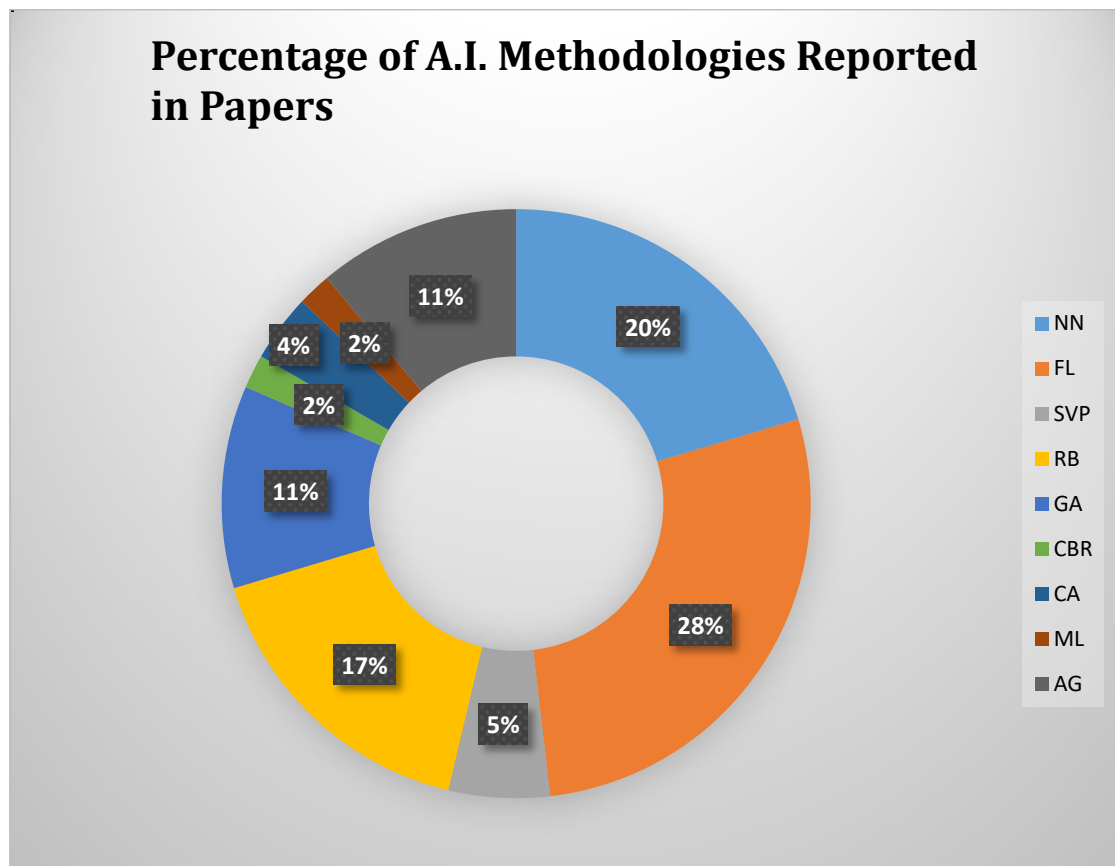
**ΓΡΑΦΗΜΑ 2-Forest Fires Problems/No of Papers**

Στο γράφημα 3 παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται στα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων σύμφωνα με την έρευνα.

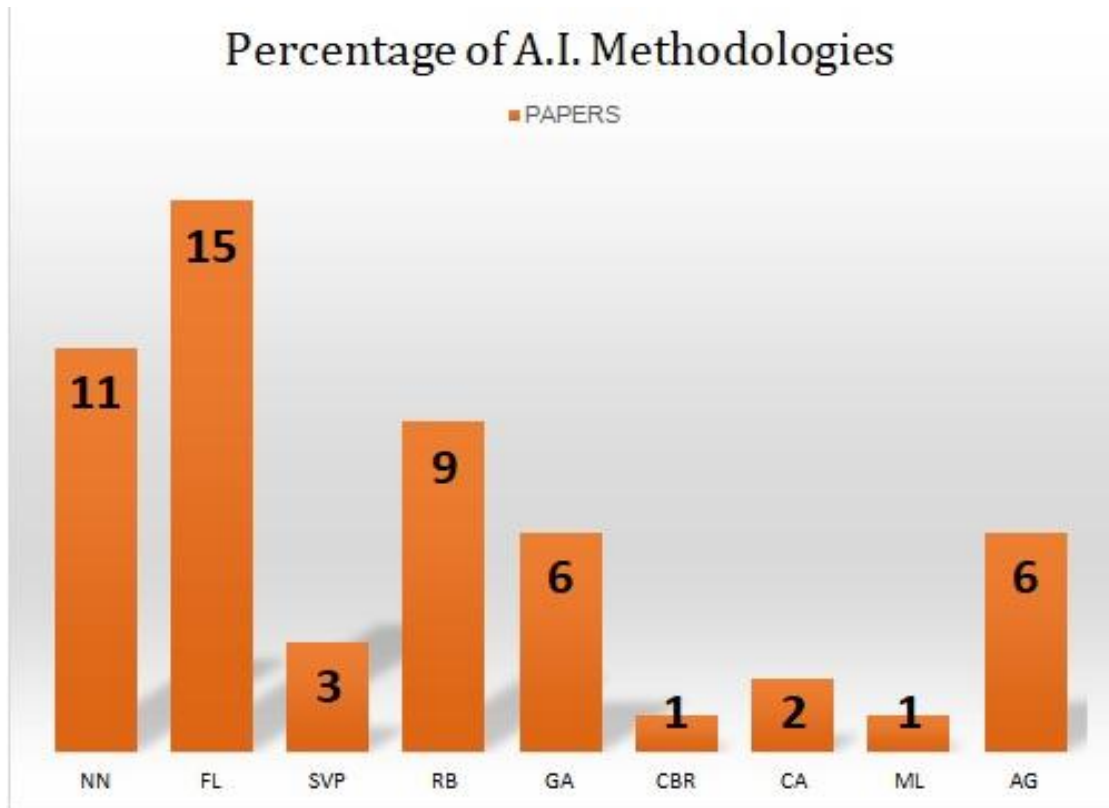
Μεγαλύτερο ποσοστό χρήσης στις εργασίες που ερευνήθηκαν εμφανίζουν οι μεθοδολογίες που έχουν σχέση με την ασαφή λογική (**FL**) σε ποσοστό 28% και ακολουθούν τα νευρωνικά δίκτυα (**NN**) με ποσοστό 20% και τα συστήματα βασισμένα σε κανόνες (**RB**) σε ποσοστό 17%. Με μικρότερες συγκεντρώσεις ακολουθούν μεθοδολογίες όπως οι Agents (**AG**) και οι γενετικοί αλγόριθμοι (**GA**). Με πολύ λιγότερες συμμετοχές ως προς τη χρήση σε συστήματα υποστήριξης αποφάσεων μεθοδολογίες



όπως η support vector machines (**SVP**), τα cellular automata (**CA**), η μηχανική μάθηση (**ML**) και η μεθοδολογία case based reason (**CBR**). Στο γράφημα 4 παρουσιάζονται αριθμητικά οι εργασίες για την κάθε ευφυή μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε.

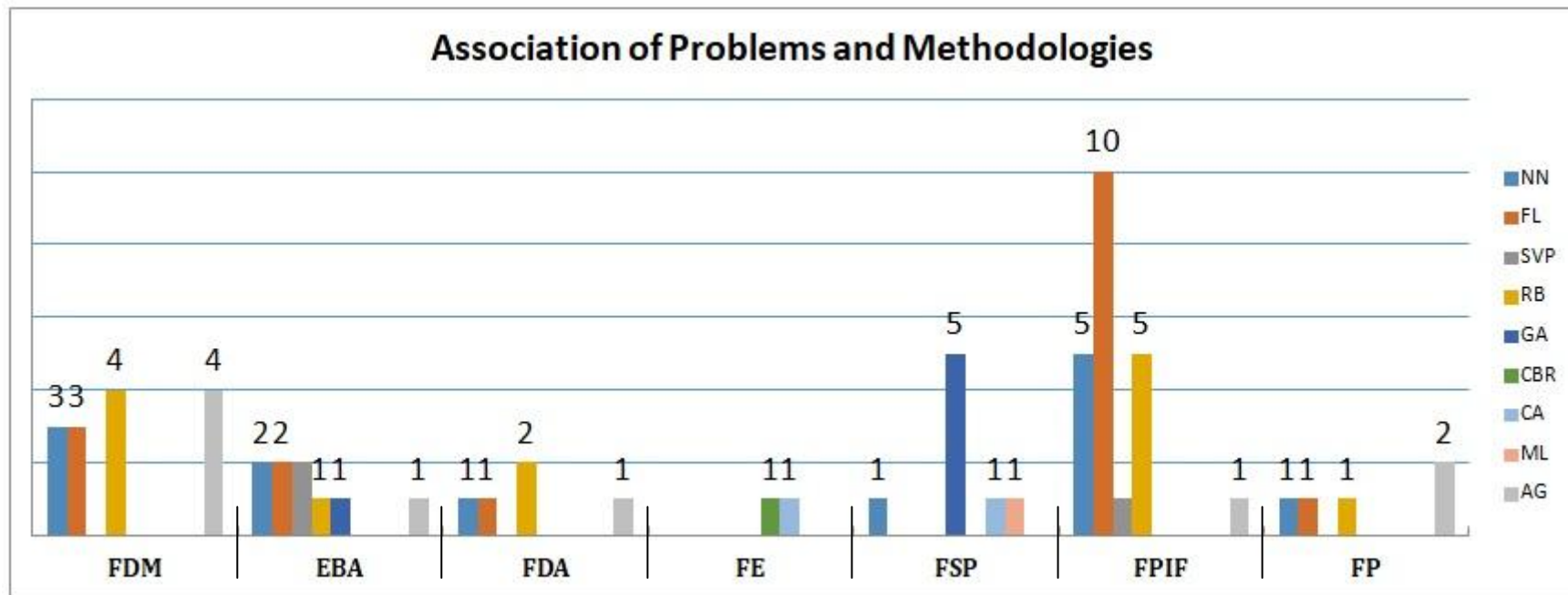


**ΓΡΑΦΗΜΑ 3- PERCENTAGE OF A.I. METHODOLOGIES REPORTED IN PAPERS**



**ΓΡΑΦΗΜΑ 4- PERCENTAGE OF A.I. METHODOLOGIES**

Ο συσχετισμός μεθοδολογιών και προβλημάτων παρουσιάζεται στο γράφημα 5.



| A/A | PROBLEM CATEGORIES             | Abbreviation |
|-----|--------------------------------|--------------|
| 1   | Fire Detection/Monitoring      | FDM          |
| 2   | Estimation of Burned Area      | EBA          |
| 3   | Fire Danger Assesment          | FDA          |
| 4   | Forest Fire Evolution          | FE           |
| 5   | Forest Fire Spread Prediction  | FSP          |
| 6   | Fire Prediction Index /Factors | FPIF         |
| 7   | Forest Fire Prevention         | FP           |

| A/A | A. I. Methodology       | Abbreviation |
|-----|-------------------------|--------------|
| 1   | NEURAL NETWORKS         | NN           |
| 2   | FUZZY LOGIC             | FL           |
| 3   | SUPPORT VECTOR MACHINES | SVP          |
| 4   | RULE BASED              | RB           |
| 5   | GENETIC ALGORITHMS      | GA           |
| 6   | CASE BASED REASON       | CBR          |
| 7   | CELLULAR AUTOMATA       | CA           |
| 8   | MACHINE LEARNING        | ML           |
| 9   | AGENTS                  | AG           |

**ΓΡΑΦΗΜΑ5-ASSOCIATION OF PROBLEMS AND METHODOLOGIES**

Από την ανάλυση του γραφήματος και των εργασιών εντοπίζονται οι τάσεις χρήσης συγκεκριμένων μεθοδολογιών για την επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων.

Η ασαφής λογική **(FL)** επικρατεί σε προβλήματα που έχουν σχέση με παράγοντες/παραμέτρους και δείκτες για την πρόβλεψη των δασικών πυρκαγιών **(FPIF)** ενώ εμφανίζει μικρότερα ποσοστά από τις υπόλοιπες μεθοδολογίες στις υπόλοιπες κατηγορίες προβλημάτων που συμμετέχει, όπως η ανίχνευση των δασικών πυρκαγιών **(FDM)** ή η εκτίμηση των περιοχών που θα καούν **(EBA)**. Επίσης η ασαφής λογική **(FL)** δεν χρησιμοποιείται καθόλου για την επίλυση προβλημάτων που έχουν σχέση με την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς **(FE)** ή την πρόβλεψη του τρόπου εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς **(FSP)**.

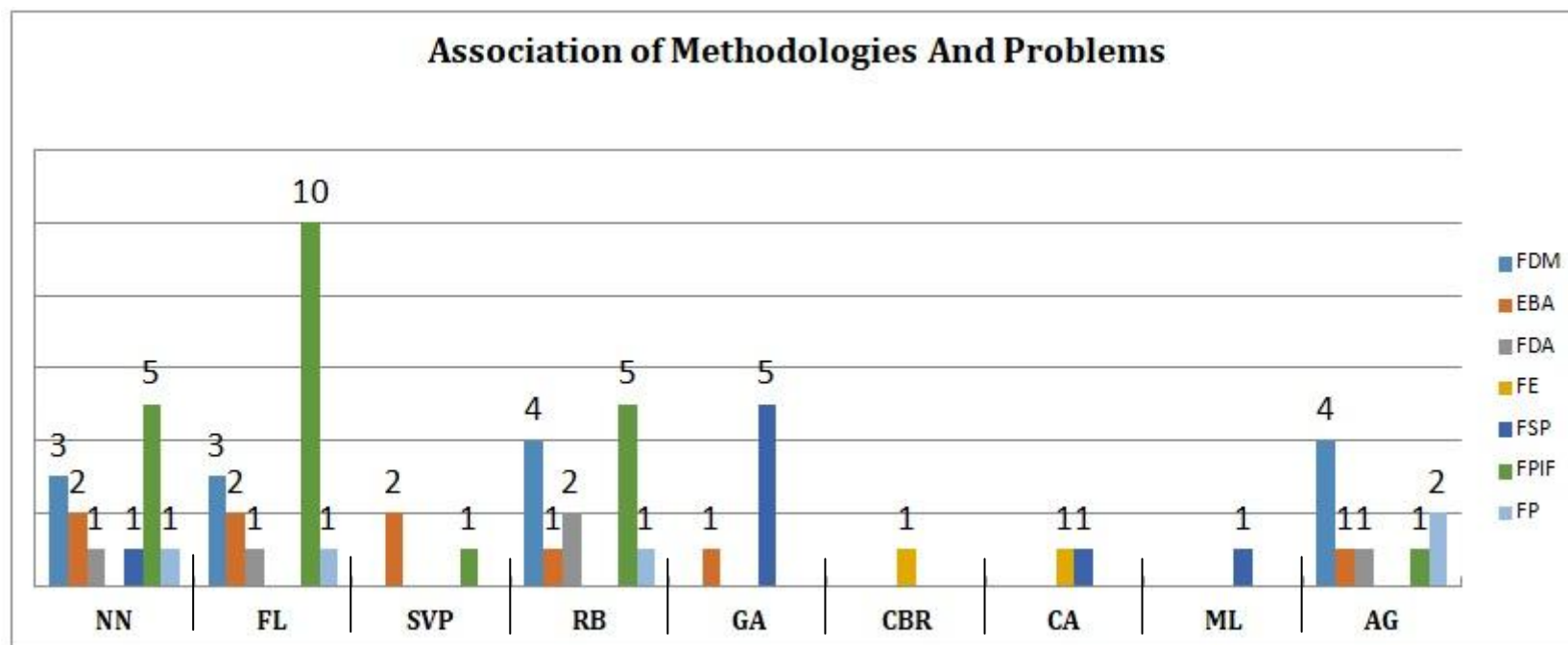
Τα νευρωνικά δίκτυα **(NN)** εμφανίζονται σχεδόν στο σύνολο των προβλημάτων, ποτέ όμως ως η πλέον χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία για την επίλυση του κάθε προβλήματος. Δεν εμφανίζεται καθόλου χρήση νευρωνικών δικτύων **(NN)** σε προβλήματα που σχετίζονται με την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς **(FE)** και είναι πολύ μικρή η συμμετοχή τους στην επίλυση προβλημάτων που έχουν σχέση με την πρόβλεψη του τρόπου εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς **(FSP)**.

Τα συστήματα βασισμένα σε κανόνες **(RB)** επικρατούν ως προς τη χρήση τους για την επίλυση προβλημάτων που έχουν σχέση με τον εντοπισμό μιας πυρκαγιάς και την παρακολούθησή **(FDM)** της, και εμφανίζουν αρκετά υψηλή συμμετοχή σε προβλήματα με παράγοντες για τον υπολογισμό δεικτών για την πρόβλεψη πυρκαγιάς **(FPIF)**. Όπως και η ασαφής λογική **(FL)** δεν χρησιμοποιούνται καθόλου για την επίλυση προβλημάτων που έχουν σχέση με την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς **(FE)** ή την πρόβλεψη του τρόπου εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς **(FSP)**.

Η μεθοδολογία Support Vector Machines **(SVP)** είναι από αυτές που εμφανίζουν τη λιγότερη χρήση για την επίλυση προβλημάτων και συμμετέχει μόνο σε αυτά που έχουν σχέση με την εκτίμηση των καμένων περιοχών **(EBA)** και την πρόβλεψή δασικών πυρκαγιών μέσω δεικτών και παραγόντων **(FPIF)** με τη μικρότερη όμως συμμετοχή μαζί με τους πράκτορες. Σε όλες τις άλλες κατηγορίες προβλημάτων δεν έχει χρησιμοποιηθεί η μεθοδολογία Support Vector Machines **(SVP)**.

Οι γενετικοί αλγόριθμοι **(GA)** εμφανίζονται μόνο σε δύο κατηγορίες, αυτή της εκτίμησης των περιοχών που θα καούν **(EBA)** και αυτή της πρόβλεψης του τρόπου εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς **(FSP)**. Είναι πολύ σημαντικό όμως ότι σχετικά με τη πρόβλεψη του τρόπου εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη από τους ερευνητές μεθοδολογία.

Σε μικρό ποσοστό είναι και η χρήση της μεθοδολογίας Cellular Automata **(CA)** που εμφανίζεται μόνο σε δύο κατηγορίες προβλημάτων, αυτή της πρόβλεψης του τρόπου εξάπλωσης **(FSP)** μιας πυρκαγιάς και αυτή της πρόβλεψης του τρόπου εξέλιξης της **(FE)**. Σε κάθε κατηγορία προβλημάτων εκτός από αυτές της πρόβλεψης της εξάπλωσης των πυρκαγιών **(FSP)** και της εξέλιξης τους **(FE)** εμφανίζονται οι πράκτορες **(AG)**. Τα ποσοστά χρήσης της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι σχετικά μικρά με εξαίρεση τα προβλήματα που έχουν σχέση με την ανίχνευση δασικών πυρκαγιών **(FDM)** όπου μαζί με τα συστήματα βασισμένα σε κανόνες είναι επικρατούσα μεθοδολογία, όπως επίσης και στην αποτροπή δασικών πυρκαγιών **(FP)** όπου και εκεί έχει χρησιμοποιηθεί περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη μεθοδολογία σύμφωνα με την έρευνα μας.



| A/A | PROBLEM CATEGORIES             | Abbreviation |
|-----|--------------------------------|--------------|
| 1   | Fire Detection/Monitoring      | FDM          |
| 2   | Estimation of Burned Area      | EBA          |
| 3   | Fire Danger Assesment          | FDA          |
| 4   | Forest Fire Evolution          | FE           |
| 5   | Forest Fire Spread Prediction  | FSP          |
| 6   | Fire Prediction Index /Factors | FPIF         |
| 7   | Forest Fire Prevention         | FP           |

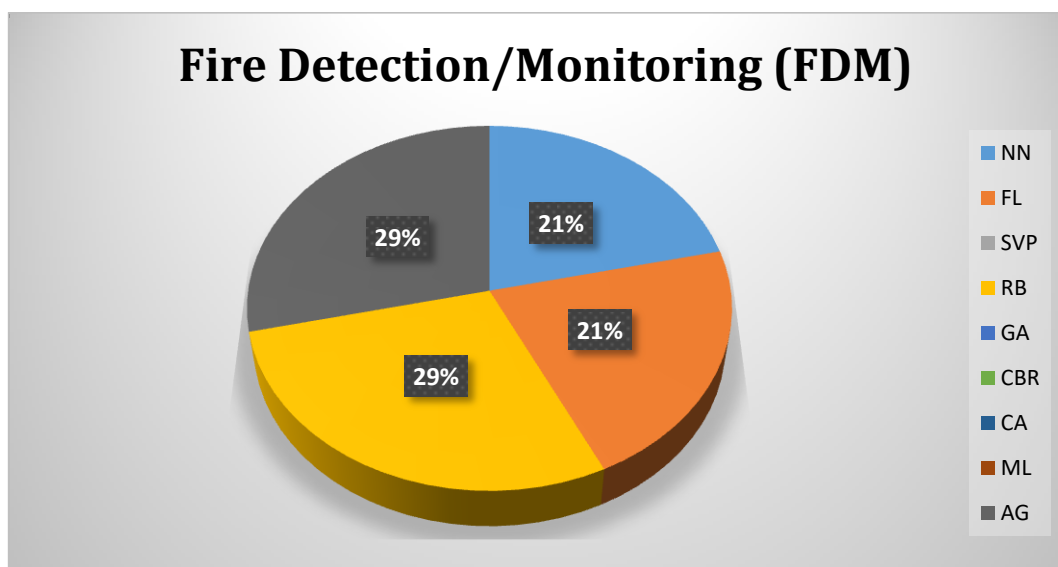
| A/A | A. I. Methodology       | Abbreviation |
|-----|-------------------------|--------------|
| 1   | NEURAL NETWORKS         | NN           |
| 2   | FUZZY LOGIC             | FL           |
| 3   | SUPPORT VECTOR MACHINES | SVP          |
| 4   | RULE BASED              | RB           |
| 5   | GENETIC ALGORITHMS      | GA           |
| 6   | CASE BASED REASON       | CBR          |
| 7   | CELLULAR AUTOMATA       | CA           |
| 8   | MACHINE LEARNING        | ML           |
| 9   | AGENTS                  | AG           |

**ΓΡΑΦΗΜΑ 6- ASSOCIATION OF METHODOLOGIES AND PROBLEMS**

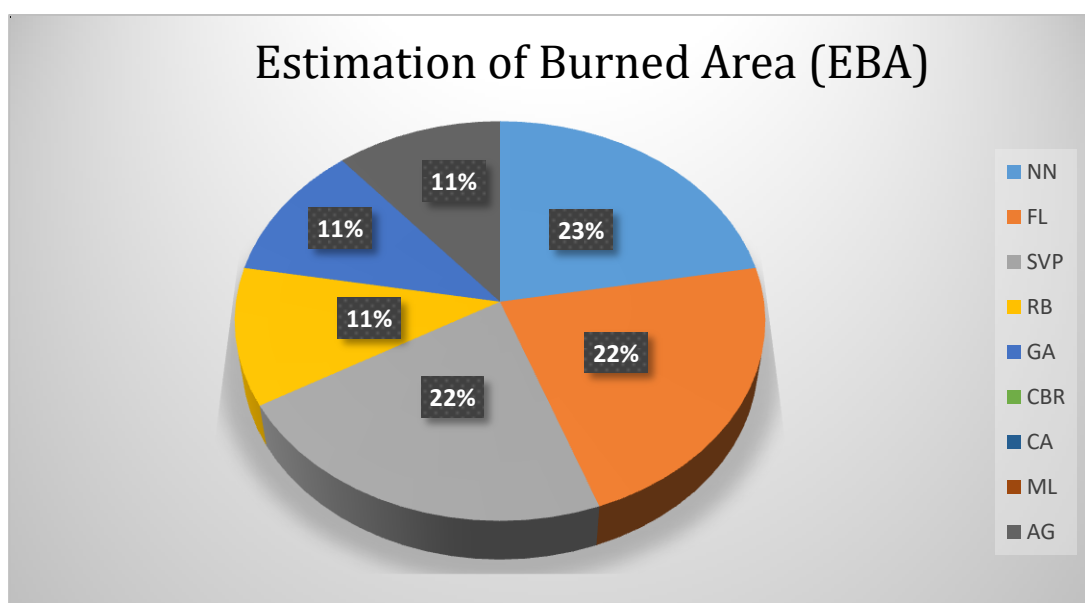
Η μηχανική μάθηση (**ML**) καθώς και η μεθοδολογία Case Based Reasoning (**CBR**) είναι οι δυο μεθοδολογίες με τη λιγότερη χρήση και εμφανίζονται μόνο σε μια κατηγορία προβλημάτων η κάθε μια. Η μηχανική μάθηση εμφανίζεται σε προβλήματα που έχουν σχέση με την πρόβλεψη της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς ενώ η Case Based Reasoning (**CBR**) σε προβλήματα που έχουν σχέση με την εξέλιξη μιας δασικής πυρκαγιάς.

Στο γράφημα 6 παρουσιάζονται τα προβλήματα που επιλύονται ανά ευφυή μεθοδολογία. Από αυτήν την προσέγγιση είναι εμφανής η διαφορά στην προτίμηση για την χρήση συγκεκριμένων μεθοδολογιών για την επίλυση των προβλημάτων από τους ερευνητές.

Στα γραφήματα 7 έως και 13 παρουσιάζονται τα προβλήματα δασικών πυρκαγιών το κάθε ένα ξεχωριστά σε συσχέτιση με τις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται.



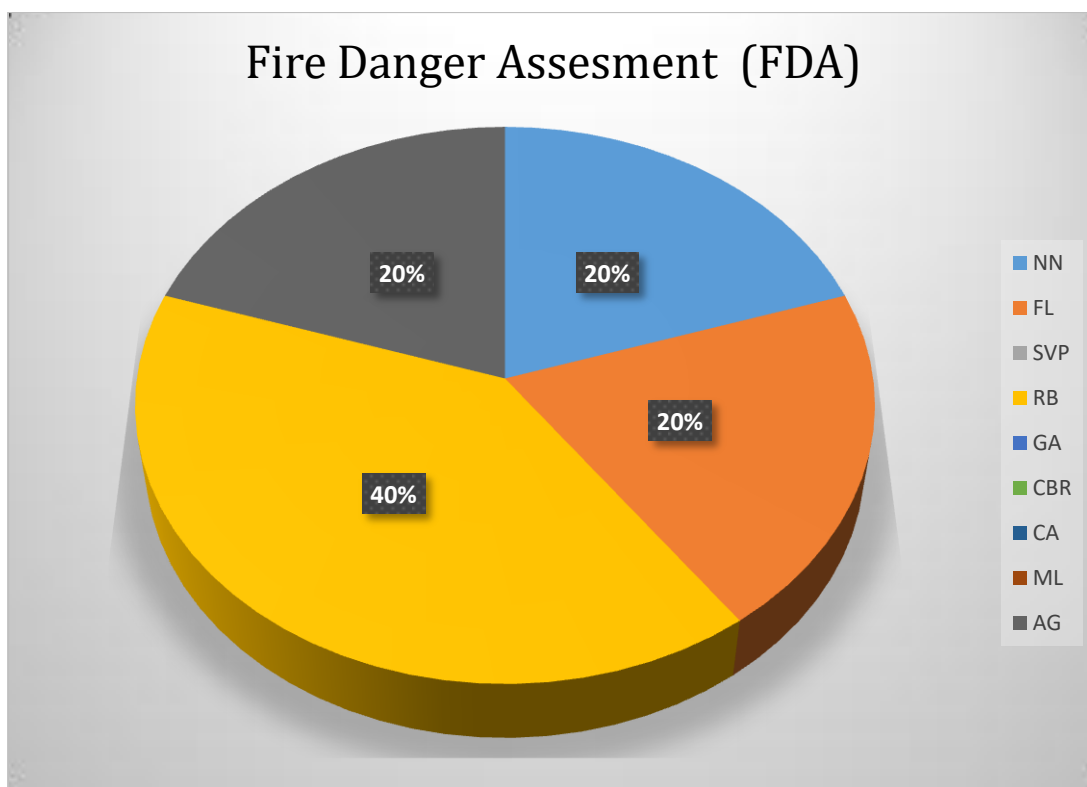
**ΓΡΑΦΗΜΑ 7- FIRE DETECTION/MONITORING (FDM)**



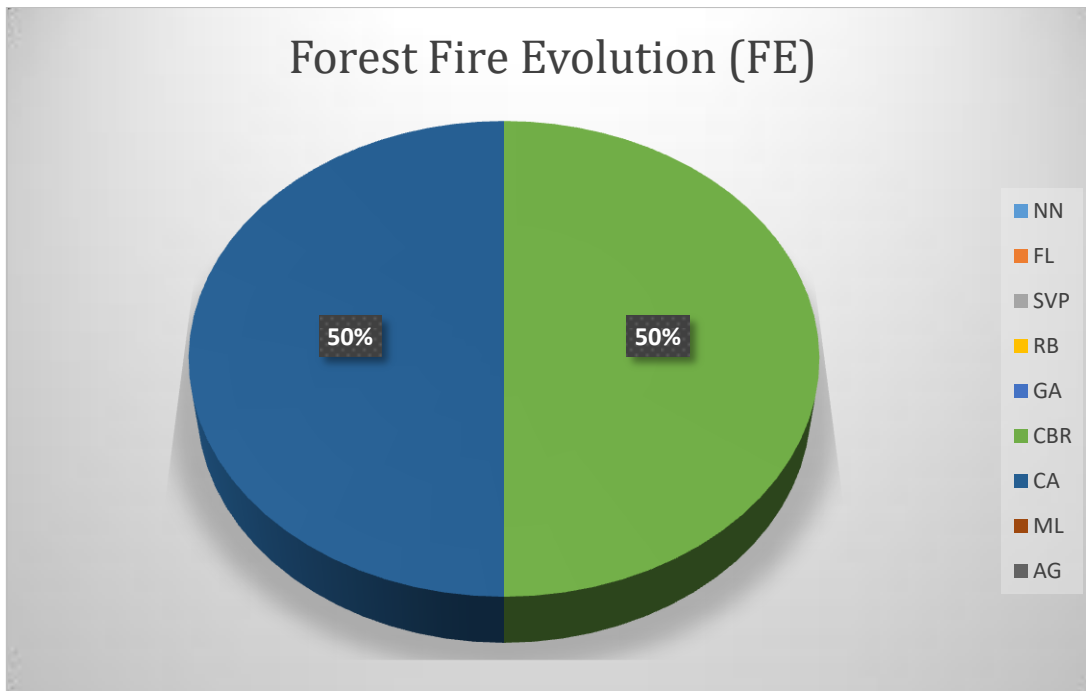
**ΓΡΑΦΗΜΑ 8-ESTIMATION OF BURNED AREA (EBA)**

Στην κατηγορία Fire Detection/Monitoring (**FDM**) επικρατούν οι Agents (**AG**) και τα συστήματα βασισμένα σε κανόνες (**RB**) ενώ με λίγο μικρότερη συμμετοχή εμφανίζονται τα νευρωνικά δίκτυα (**NN**) και η ασαφής λογική (**FL**) ενώ δεν εμφανίζεται καμία άλλη από τις υπόλοιπες πέντε μεθοδολογίες που συναντάμε στην έρευνα μας.

Στην κατηγορία Estimation of Burned Area (**EBA**) και παρότι δεν είναι η τρίτη κατά σειρά κατηγορία προβλημάτων σχετικά με τον αριθμό των εργασιών εμφανίζεται το μεγαλύτερο πλήθος ξεχωριστών μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται. Συγκεκριμένα είναι η μόνη κατηγορία προβλημάτων στην οποία χρησιμοποιούνται έξι από τις εννιά μεθοδολογίες που συναντήσαμε στην έρευνα. Με μικρές συγκεντρώσεις επικρατούν η ασαφής λογική (**FL**), τα νευρωνικά δίκτυα (**NN**) και η μεθοδολογία Support Vector Machines (**SVP**). Τα συστήματα βασισμένα σε κανόνες επικρατούν σε προβλήματα σχετικά με τον υπολογισμό του κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιάς (**FDA**) με ποσοστό διπλάσιο από τις άλλες τρεις μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται στον ίδιο βαθμό (**NN, FL, AG**). Ο αριθμός των εργασιών που πραγματεύονται το πρόβλημα της εξέλιξης μιας πυρκαγιάς με ευφυείς μεθοδολογίες είναι σχετικά μικρός και χωρίζεται εξίσου στη χρήση των Cellular Automata (**CA**) και στην μεθοδολογία Case Based Reasoning (**CBR**).

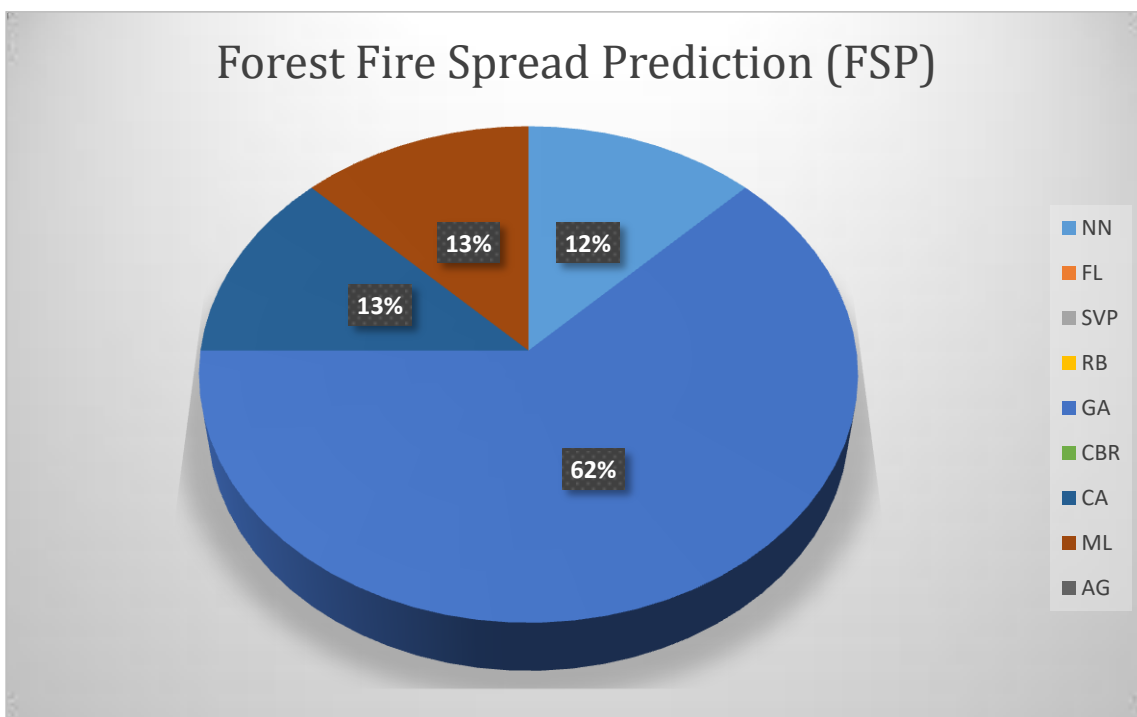


ΓΡΑΦΗΜΑ 9– FIRE DANGER ASSESMENT (FDA)



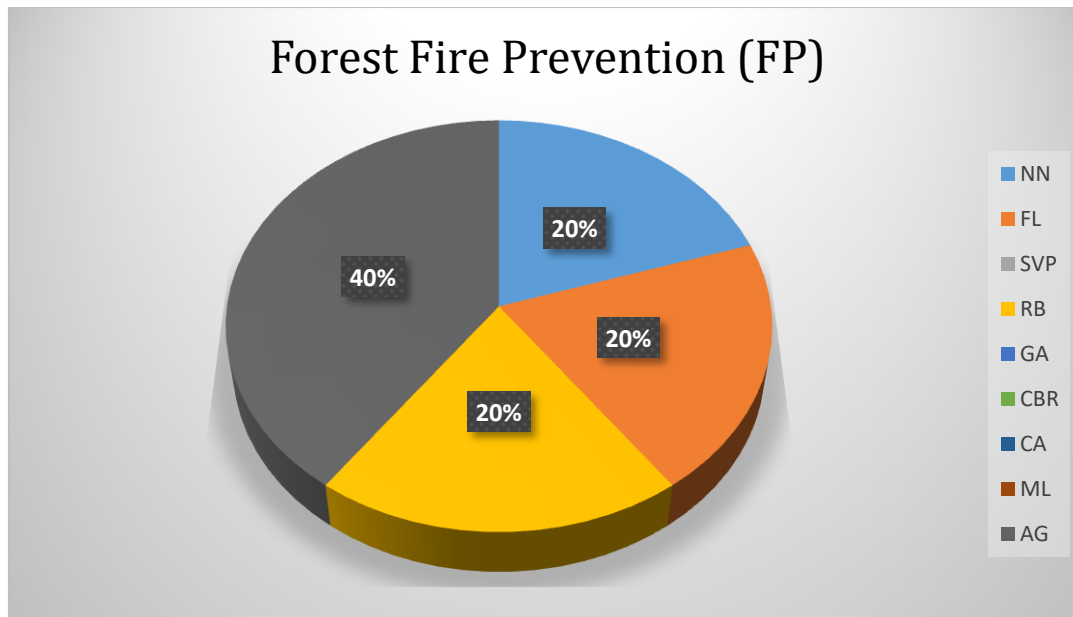
**ΓΡΑΦΗΜΑ 10- FOREST FIRE EVOLUTION (FE)**

Σχετικά με τα προβλήματα που αφορούν την πρόβλεψη της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς (**FSP**) οι γενετικοί αλγόριθμοι (**GA**) είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται στο μεγαλύτερο ποσοστό ενώ ακολουθούν τα νευρωνικά δίκτυα (**NN**), η μεθοδολογία Cellular Automata(**CA**) και η μηχανική μάθηση(**ML**) με το ίδιο βαθμό χρήσης.



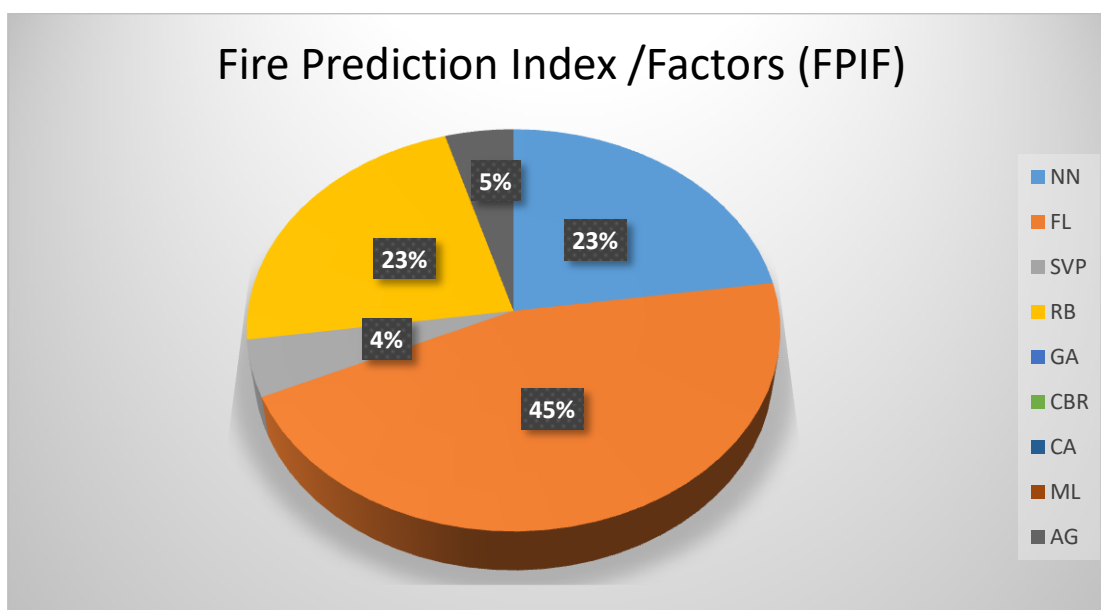
**ΓΡΑΦΗΜΑ 11-FOREST FIRE SPREAD PREDICTION (FSP)**



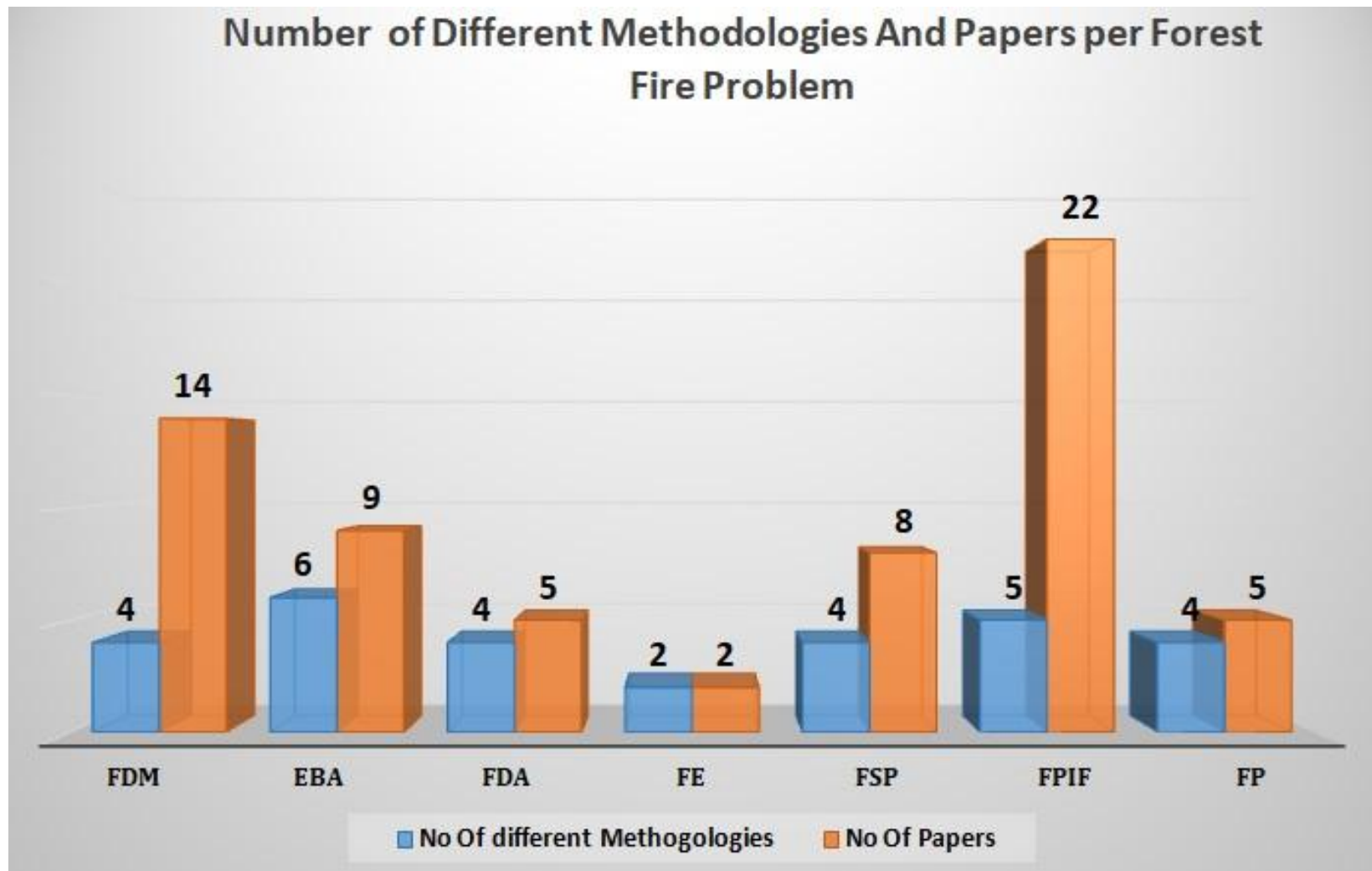


**ΓΡΑΦΗΜΑ 12- FOREST FIRE PREVENTION (FP)**

Στην κατηγορία της πρόβλεψης των δασικών πυρκαγιών (**FP**) χρησιμοποιούνται 4 μεθοδολογίες (**NN, RB, FL, AG**) σχεδόν με τον ίδιο βαθμό εμφάνισης πλην των Agents (**AG**) που η χρήση τους είναι διπλάσια, γεγονός όμως που παρότι σαν ποσοστό εμφανίζεται σημαντικό η πραγματική διαφορά είναι μόλις μια εργασία λόγω του μικρού αριθμού εργασιών που πραγματοποιούνται τη συγκεκριμένη κατηγορία προβλημάτων. Τέλος η κατηγορία προβλημάτων όπου εμφανίζεται ο μεγαλύτερος αριθμός εργασιών που χρησιμοποιούν ευφρείς μεθοδολογίες και ευφυή συστήματα για την επίλυση των προβλημάτων είναι αυτή της πρόβλεψης μιας δασικής πυρκαγιάς μέσω παραγόντων και δεικτών επικρατεί με διπλάσιο ποσοστό η χρήση της ασαφούς λογικής (**FL**) ενώ ακολουθούν τα νευρωνικά δίκτυα(**NN**) και τα συστήματα βασισμένα σε κανόνες (**RB**) με ίδιο ποσοστό χρήση. Σε πολύ μικρό βαθμό χρησιμοποιούνται μεθοδολογίες όπως οι Agents (**AG**) και η Support Vector Machines (**SVP**).



**ΓΡΑΦΗΜΑ 13- FIRE PREDICTION INDEX /FACTORS (FPIF)**



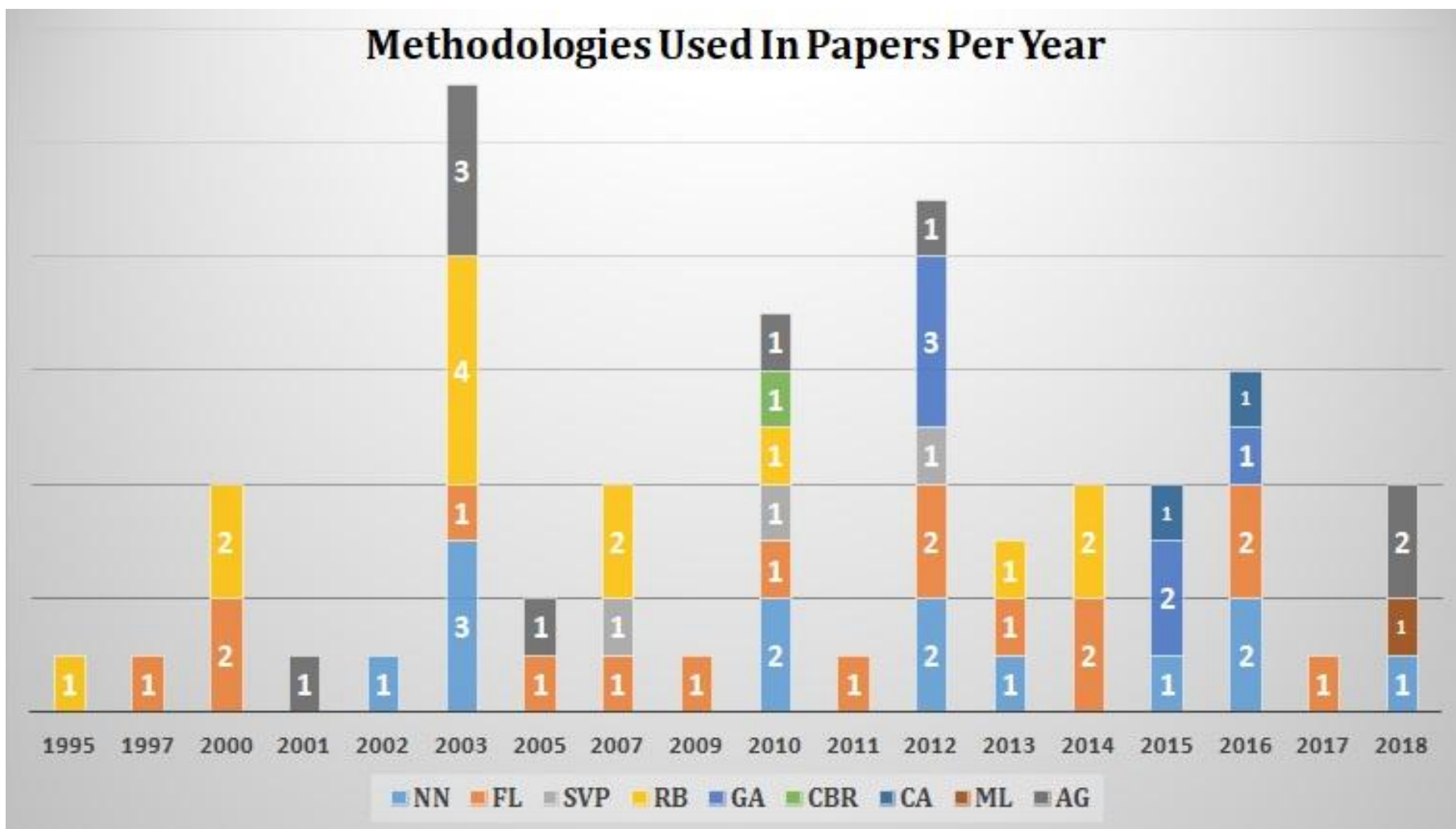
ΓΡΑΦΗΜΑ 14- NUMBER OF DIFFERENT METHODOLOGIES AND PAPERS PER FOREST FIRE PROBLEM

Στο γράφημα 14 παρουσιάζεται ο αριθμός διαφορετικών μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται ανά κατηγορία προβλημάτων σχετικά με τις δασικές πυρκαγιές. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ο μεγαλύτερος αριθμός διαφορετικών μεθοδολογιών συναντάται στην κατηγορία για την εκτίμηση των καμένων εκτάσεων (**EBA**).

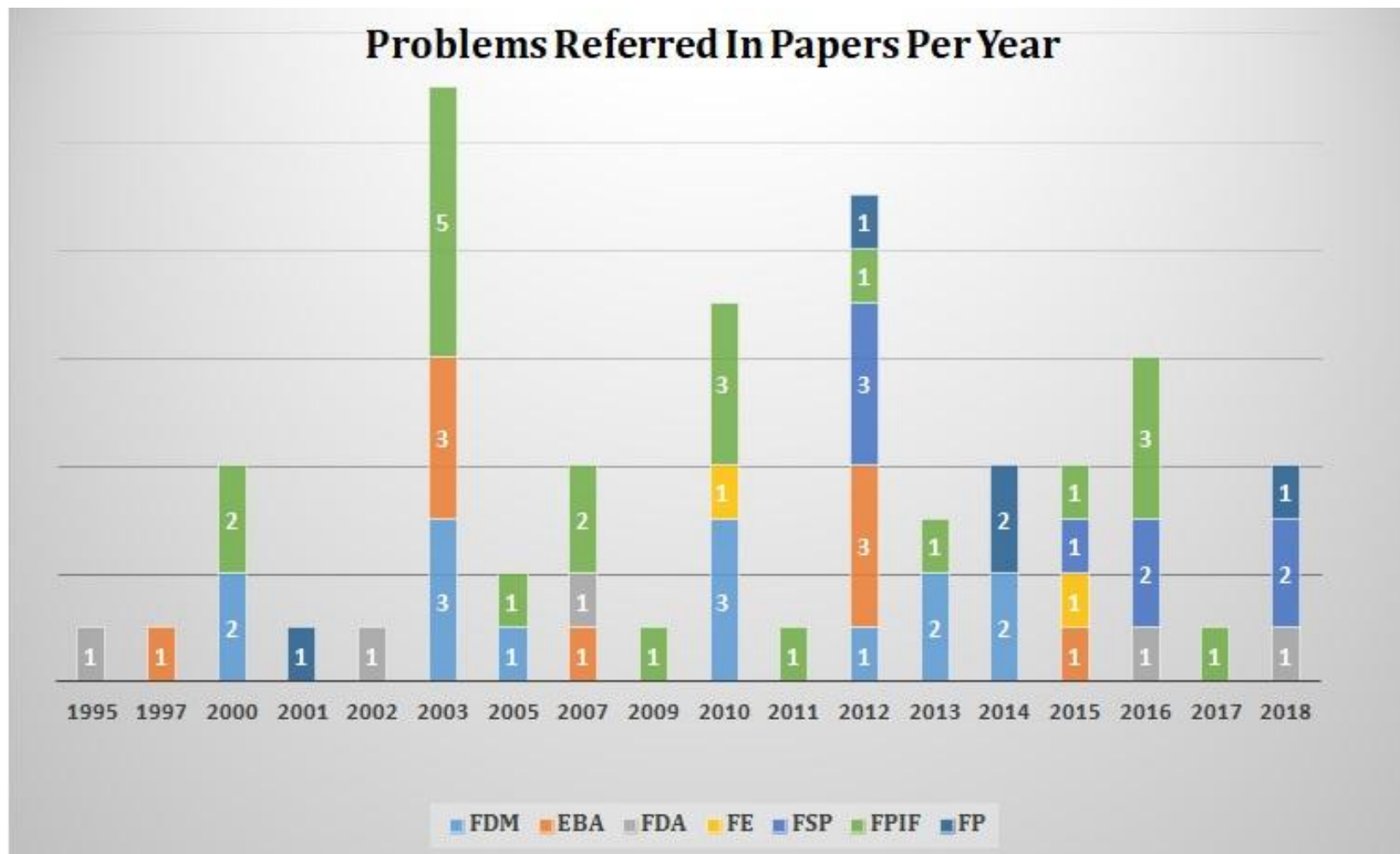
Στο γράφημα 14 φαίνεται επίσης ο αριθμός των εργασιών ανά κατηγορία προβλημάτων από όπου φαίνεται ότι η μεγαλύτερη συγκέντρωση υπάρχει στην κατηγορία προβλημάτων **FPIF** και χρησιμοποιούνται 4 διαφορετικές μεθοδολογίες για την επίλυση των σχετικών προβλημάτων. Στις έξι από τις επτά κατηγορίες προβλημάτων χρησιμοποιείται πάνω από το 40% των διαφορετικών μεθοδολογιών, ενώ δεν υπάρχει κατηγορία που να χρησιμοποιούνται όλες οι μεθοδολογίες και πιο συγκεκριμένα ποσοστό ξεχωριστών μεθοδολογιών μεγαλύτερο του 66%.

Στα γραφήματα 15 & 16 παρουσιάζεται η κατανομή των κατηγοριών προβλημάτων και των μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται αντίστοιχα ανά έτος δημοσίευσης της εργασίας στην οποία αναφέρεται το πρόβλημα και χρησιμοποιείται η μεθοδολογία. Στην κάθε έγχρωμη περιοχή ο αριθμός αντιστοιχεί στις δημοσιευμένες επιστημονικές εργασίες της έρευνας.

## Methodologies Used In Papers Per Year



ΓΡΑΦΗΜΑ 15-METHODOLOGIES USED IN PAPERS PER YEAR



ΓΡΑΦΗΜΑ 16-PROBLEMS REFERRED IN PAPERS PER YEAR

## 4.5 Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προηγούμενης ενότητας προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την χρήση των ευφυών συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων στο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών. Από την έρευνα είναι εμφανές ότι υπάρχει υπολογίσιμη συνεργασία των δύο επιστημονικών περιοχών, της δασοπονίας και της τεχνητής νοημοσύνης. Ο σημαντικός αριθμός δημοσιευμένων εργασιών σχετικά με το πρόβλημα των πυρκαγιών και την αντιμετώπιση του με ευφυείς μεθοδολογίες τονίζει την ικανότητα των ευφυών συστημάτων και κατ' επέκταση της τεχνητής νοημοσύνης να προσφέρει λύσεις σε μια άλλη επιστημονική περιοχή.

Το γεγονός ότι το πρόβλημα που αντιμετωπίζεται έχει σοβαρότατες συνέπειες σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής οι οποίες μέσω των ευφυών συστημάτων περιορίζονται ή προλαμβάνονται ενισχύει την άποψη ότι η τεχνητή νοημοσύνη είναι ικανή να προσφέρει λύσεις στο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών. Στο γενικότερο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών και σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση των επιμέρους προβλημάτων που αναπτύχθηκε παραπάνω περισσότερες από τις μισές μεθοδολογίες τεχνητής νοημοσύνης εμφανίζονται σε κάθε πρόβλημα ως τρόπος αντιμετώπισης, γεγονός που ενδυναμώνει περισσότερο το παραπάνω συμπέρασμα καθώς διαφαίνεται ότι η διεθνής επιστημονική κοινότητα επιλέγει ευφυής μεθοδολογίες και τις εφαρμόζει σε προβλήματα.

Ο συσχετισμός των μεθοδολογιών με τα προβλήματα φανερώνει κάποια σημαντικά στοιχεία για τις μεθοδολογίες αλλά και για τα επιμέρους προβλήματα. Η ασαφής λογική είναι η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται περισσότερο από τους ερευνητές και με έμφαση στα προβλήματα που έχουν σχέση με τον υπολογισμό δεικτών και την μελέτη παραγόντων που επηρεάζουν τον κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιάς. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι σε προβλήματα που έχουν μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας, η ασαφής λογική προτιμάται από τις υπόλοιπες μεθοδολογίες καθώς φαίνεται να τα αντιμετωπίζει με καλύτερο τρόπο.

Σε προβλήματα που έχουν σχέση με χώρο και πρόβλεψη εξάπλωσης και εξέλιξης της πυρκαγιάς επικρατούν μεθοδολογίες όπως οι γενετικοί αλγόριθμοι και τα cellular automata λόγω των δυνατοτήτων τους στην εξέταση πολλαπλών λύσεων, στοιχείο που

είναι απαραίτητο για την πρόβλεψη της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς αλλά και λόγω της δυνατότητας των μεθοδολογιών να εξετάζουν πολλά γειτονικά στοιχεία με ίδια χαρακτηριστικά κάτι το οποίο συναντάται στις μεγάλες εκτάσεις των δασικών περιοχών.

Σε περιπτώσεις που έχουν σχέση με τον εντοπισμό πυρκαγιών επικρατούσες μεθοδολογίες είναι αυτές των πρακτόρων και των συστημάτων βασισμένων σε κανόνες. Οι τεράστιες δασικές εκτάσεις είναι αδύνατον να εποπτευθούν από ανθρώπους παρά μόνο από συστήματα που θα μπορούν να αξιολογήσουν δεδομένα και καταστάσεις ώστε να προτείνουν ενέργειες όταν συντρέχει λόγος στα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων για την ενημέρωση των διαχειριστών αυτών των εκτάσεων. Οι πράκτορες καθώς και τα συστήματα βασισμένων σε κανόνες έχουν την δυνατότητα λόγω των χαρακτηριστικών τους να διαχειριστούν το παραπάνω πρόβλημα.

Η αυτονομία των πρακτόρων και η εξαγωγή συμπερασμάτων από τις βάσεις γνώσης όπως και των συστημάτων βασισμένα σε κανόνες, σε συνδυασμό με τις αυξημένες δυνατότητες διεπαφής τους με τον χρήστη του συστήματος, όταν χρησιμοποιούνται σε συστήματα υποστήριξης αποφάσεων μπορούν να επιλύσουν σε σημαντικό βαθμό το πρόβλημα του εντοπισμού πυρκαγιών.

Στο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών έχει μεγάλη σημασία η πρόβλεψη, καθώς οι συνέπειες από μια δασική πυρκαγιά είναι τεράστιες. Το παραπάνω συμπέρασμα το προκύπτει από την έρευνα, καθώς η επιστημονική κοινότητα ασχολείται πολύ λιγότερο με την εξέλιξη των πυρκαγιών χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν είναι σημαντικό πρόβλημα. Ο αριθμός των εργασιών που πραγματοποιούνται την εξέλιξη των πυρκαγιών ως πρόβλημα είναι σημαντικά μικρότερος από κάθε άλλο πρόβλημα που εμφανίζεται στην έρευνα. Η μεγάλη ανάγκη για πρόβλεψη στις δασικές πυρκαγιές είναι ο λόγος που χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις τα νευρωνικά δίκτυα τα οποία έχουν δυνατότητα να προβλέψουν με ακρίβεια την εμφάνιση πυρκαγιών.

Οι δασικές περιοχές έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά και υπάρχει μεγάλος όγκος από ιστορικά δεδομένα σχετικά με πυρκαγιές και μετεωρολογικές συνθήκες, τα οποία εάν τροφοδοτήσουν ένα νευρωνικό δίκτυο, αυτό είναι ικανό να προβλέψει σε σημαντικό βαθμό την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς. Είναι εμφανές επίσης από την έρευνα ότι λόγω

του όγκου των δεδομένων και των πολλών παραμέτρων που υπάρχουν στο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών πολλοί ερευνητές επιλέγουν τα νευρωνικά δίκτυα προκειμένου να εξετάσουν την απόδοση των νευρωνικών δικτύων.

Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων εκμεταλλεύονται τη γνώση ώστε να βοηθήσουν τους διαχειριστές να λάβουν κατάλληλες αποφάσεις. Η αναγκαιότητα να γίνει χρήσιμη η γνώση, καθώς λόγω του μεγάλου όγκου της δεν είναι διαχειρίσιμη από τον άνθρωπο είναι ο λόγος που προέκυψαν πολλές περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται συστήματα βασισμένα σε κανόνες για να επιλύσουν προβλήματα που έχουν σχέση με την πρόβλεψη των δασικών πυρκαγιών. Τα συστήματα βασισμένα σε κανόνες εκμεταλλεύονται τη γνώση που δεν μπορεί γρήγορα να διαχειριστεί ο άνθρωπος και παράγουν χρήσιμα συμπεράσματα.

Τέλος η μελέτη των ημερομηνιών των εργασιών δεν εμφανίζει κάποια σημαντική συσχέτιση των μεθοδολογιών με τα προβλήματα και τις ημερομηνίες χωρίς να αποκλείεται η ύπαρξή της.

## **4.6 Μελλοντική Επέκταση της Έρευνας**

Οι διαχείριση των δασικών πυρκαγιών έχει εξελιχθεί σε μια διαδικασία η περιπλοκότητα της οποίας, είναι συνεχώς αυξανόμενη λόγω των αλλαγών στους κλιματικούς παράγοντες, στην καύσιμη ύλη, στη χρήση γης, στις κοινωνικές προσδοκίες και στον περιορισμό των κονδυλίων. Οι διαχειριστές των δασικών εκτάσεων έχουν ανάγκη από υποστήριξη στη λήψη αποφάσεων και ο όγκος δεδομένων που έχουν να χειριστούν είναι ενίοτε τεράστιος. Τα παραδοσιακά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων δεν επαρκούν λόγω της αυξανόμενης περιπλοκότητας των προβλημάτων και του μεγάλου όγκου δεδομένων που πρέπει να επεξεργαστούν σε ελάχιστο διαθέσιμο χρόνο. Οι μεθοδολογίες της τεχνητής νοημοσύνης σε συνδυασμό με τη ραγδαία αύξηση των ταχυτήτων των υπολογιστικών συστημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων και να έχουν σπουδαία αποτελέσματα στην επίλυση προβλημάτων.



Οι συσχετίσεις των προβλημάτων με τις μεθοδολογίες που αναδεικνύει η παρούσα έρευνα υποδεικνύουν ότι υπάρχουν συγκεκριμένες μεθοδολογίες που μπορούν να αντιμετωπίσουν συγκεκριμένα προβλήματα σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τους. Είναι βέβαιο ότι υπάρχει πολύ μεγάλος επιπλέον χώρος στη μελέτη του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών καθώς και στον τρόπο με τον οποίο η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να δώσει λύσεις. Ο μεγάλος αριθμός ιστορικών δεδομένων σχετικά με τις πυρκαγιές και τις μετεωρολογικές συνθήκες αποτελεί πολύ σημαντικό εφόδιο για την καλύτερη διαχείριση, καθώς είναι το καταλληλότερο σύνολο δεδομένων προς έλεγχο στις μεθοδολογίες τεχνητής νοημοσύνης πριν αυτές ενταχθούν σε συστήματα υποστήριξης απόφασης που είναι λειτουργικά. Η συνεργασία των δύο επιστημονικών περιοχών και οι συσχετισμοί προβλημάτων και μεθοδολογιών μπορούν να αποτελέσουν εφαλτήριο για άλλες επιστημονικές περιοχές με σημαντικά προβλήματα και καταστροφικές επιπτώσεις ώστε να μελετηθεί η χρήση μεθοδολογιών της τεχνητής νοημοσύνης.

Η Υγεία λόγω των σοβαρών επιπτώσεων των ασθενειών θα μπορούσε να είναι μια τέτοια επιστημονική περιοχή. Η εξέλιξη των ασθενειών και της πορείας των ασθενών θα μπορούσε ενδεχομένως να προβλεφθεί με τη χρήση των κατάλληλων ανάλογα με το πρόβλημα μεθοδολογιών τεχνητής νοημοσύνης στη λήψη αποφάσεων. Υπάρχει τα τελευταία χρόνια μια τάση και ζήτηση για περισσότερη έρευνα στον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης. Πιθανότατα στο μέλλον μπορούμε να περιμένουμε να δούμε την περαιτέρω εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης σε συσχέτιση με τα εκάστοτε προβλήματα σε διαφορετικές επιστημονικές περιοχές.

## **4.7 Επίλογος**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αποτελεί επισκόπηση του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών, των ευφυών συστημάτων υποστήριξης απόφασης και της συνεργασίας της τεχνητής νοημοσύνης και της δασοπονίας. Η διαχείριση του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών απαιτεί την υιοθέτηση ευφυών μεθοδολογιών στα συστήματα υποστήριξης απόφασης ώστε να είναι πιο αποτελεσματική η αντιμετώπισή τους. Η συνεργασία των δύο επιστημονικών περιοχών και οι συσχετίσεις μεταξύ των προβλημάτων και των μεθοδολογιών που παρουσιάστηκαν αποτελούν

σημαντικό σημείο αναφοράς για την χρήση μεθοδολογιών τεχνητής νοημοσύνης σε άλλες επιστημονικές περιοχές για την αντιμετώπιση προβλημάτων. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να αντιμετωπίσει πληθώρα προβλημάτων με διαφορετικές μεθοδολογίες οι οποίες μπορούν να εστιάζουν σε διαφορετικές πτυχές των προβλημάτων.

Αποτελεί σημαντική πρόκληση για τον τομέα της τεχνητής νοημοσύνης η παροχή λύσεων σε προβληματικές περιοχές, όπου, όπως και στην περίπτωση των δασικών πυρκαγιών ο γενικός στόχος είναι η ορθότερη διαχείριση των προβλημάτων και η μείωση των περιβαλλοντικών, οικονομικών και κοινωνικών συνεπειών που προκαλούνται από το πρόβλημα.

# Παράρτημα

| A/A | Problems                       | PAPERS |
|-----|--------------------------------|--------|
| 1   | Fire Detection/Monitoring      | 9      |
| 2   | Estimation of Burned Area      | 5      |
| 3   | Fire Danger Assesment          | 5      |
| 4   | Forest Fire Evolution          | 2      |
| 5   | Forest Fire Spread Prediction  | 7      |
| 6   | Fire Prediction Index /Factors | 15     |
| 7   | Forest Fire Prevention         | 4      |

ΠΙΝΑΚΑΣ 4- ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ 1 & 2

| A/A | METHODOLOGY             | PAPERS |
|-----|-------------------------|--------|
| 1   | NEURAL NETWORKS         | 11     |
| 2   | FUZZY LOGIC             | 15     |
| 3   | SUPPORT VECTOR MACHINES | 3      |
| 4   | RULE BASED              | 9      |
| 5   | GENETIC ALGORITHMS      | 6      |
| 6   | CASE BASED REASON       | 1      |
| 7   | CELLULAR AUTOMATA       | 2      |
| 8   | MACHINE LEARNING        | 1      |
| 9   | AGENTS                  | 6      |

ΠΙΝΑΚΑΣ 5 -ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ 3 & 4

| PROBLEM/METHODOLOGY            | No Of different Methogologies | No Of Papers |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------|
| Fire Detection/Monitoring      | 4                             | 14           |
| Estimation of Burned Area      | 6                             | 9            |
| Fire Danger Assesment          | 4                             | 5            |
| Forest Fire Evolution          | 2                             | 2            |
| Forest Fire Spread Prediction  | 4                             | 8            |
| Fire Prediction Index /Factors | 5                             | 22           |
| Forest Fire Prevention         | 4                             | 5            |

ΠΙΝΑΚΑΣ 6 -ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ 14

| <b>PROBLEM/<br/>METHODOLOGY</b>           | <b>NEURAL<br/>NETWORKS</b> | <b>FUZZY<br/>LOGIC</b> | <b>SUPPORT<br/>VECTOR<br/>MACHINES</b> | <b>RULE<br/>BASED</b> | <b>GENETIC<br/>ALGORITHMS</b> | <b>CASE<br/>BASED<br/>REASON</b> | <b>CELLULAR<br/>AUTOMATA</b> | <b>MACHINE<br/>LEARNING</b> | <b>AGENTS</b> |
|---|----------------------------|------------------------|--|-----------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------|
| <b>Fire<br/>Detection/Monitoring</b>      | <b>3</b>                   | <b>3</b>               |  | <b>4</b>              |                               |                                  |                              |                             | <b>4</b>      |
| <b>Estimation of Burned<br/>Area</b>      | <b>2</b>                   | <b>2</b>               | <b>2</b>                               | <b>1</b>              | <b>1</b>                      |                                  |                              |                             | <b>1</b>      |
| <b>Fire Danger<br/>Assesment</b>          | <b>1</b>                   | <b>1</b>               |  | <b>2</b>              |                               |                                  |                              |                             | <b>1</b>      |
| <b>Forest Fire Evolution</b>              |                            |                        |  |                       |                               | <b>1</b>                         | <b>1</b>                     |                             |               |
| <b>Forest Fire Spread<br/>Prediction</b>  | <b>1</b>                   |                        |  |                       | <b>5</b>                      |                                  | <b>1</b>                     | <b>1</b>                    |               |
| <b>Fire Prediction Index<br/>/Factors</b> | <b>5</b>                   | <b>10</b>              | <b>1</b>                               | <b>5</b>              |                               |                                  |                              |                             | <b>1</b>      |
| <b>Forest Fire<br/>Prevention</b>         | <b>1</b>                   | <b>1</b>               |  | <b>1</b>              |                               |                                  |                              |                             | <b>2</b>      |
| <b>Γενικό άθροισμα</b>                    | <b>13</b>                  | <b>17</b>              | <b>3</b>                               | <b>13</b>             | <b>6</b>                      | <b>1</b>                         | <b>2</b>                     | <b>1</b>                    | <b>9</b>      |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7 -ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ 5 ΕΩΣ 13**

|                                       | 1995 | 1997 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2005 | 2007 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>Fire Detection/Monitoring</b>      |      |      | 2    |      |      | 3    | 1    |      |      | 3    |      | 1    | 2    | 2    |      |      |      |      |
| <b>Estimation of Burned Area</b>      |      | 1    |      |      |      | 3    |      | 1    |      |      |      | 3    |      |      | 1    |      |      |      |
| <b>Fire Danger Assessment</b>         | 1    |      |      |      | 1    |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      | 1    |
| <b>Forest Fire Evolution</b>          |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      | 1    |      |      |      |
| <b>Forest Fire Spread Prediction</b>  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 3    |      |      | 1    | 2    |      | 2    |
| <b>Fire Prediction Index /Factors</b> |      |      | 2    |      |      | 5    | 1    | 2    | 1    | 3    | 1    | 1    | 1    |      | 1    | 3    | 1    |      |
| <b>Forest Fire Prevention</b>         |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      | 2    |      |      |      | 1    |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8 -ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ 15**

|                                | 1995 | 1997 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2005 | 2007 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>NEURAL NETWORKS</b>         |      |      |      |      | 1    | 3    |      |      |      | 2    |      | 2    | 1    |      | 1    | 2    |      | 1    |
| <b>FUZZY LOGIC</b>             |      | 1    | 2    |      |      | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 2    | 1    | 2    |      | 2    | 1    |      |
| <b>SUPPORT VECTOR MACHINES</b> |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      | 1    |      | 1    |      |      |      |      |      |      |
| <b>RULE BASED</b>              | 1    |      | 2    |      |      | 4    |      | 2    |      | 1    |      |      | 1    | 2    |      |      |      |      |
| <b>GENETIC ALGORITHMS</b>      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 3    |      |      | 2    | 1    |      |      |
| <b>CASE BASED REASON</b>       |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      |      |      |      |      |      |      |      |
| <b>CELLULAR AUTOMATA</b>       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1    | 1    |      |      |
| <b>MACHINE LEARNING</b>        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 1    |
| <b>AGENTS</b>                  |      |      |      | 1    |      | 3    | 1    |      |      | 1    |      | 1    |      |      |      |      |      | 2    |

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9 -ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ 16**

# Βιβλιογραφία

- Ali Akbar, Jafarzadeh, Mahdavi Ali, and Jafarzadeh Heydar. 2017. "Evaluation of Forest Fire Risk Using the Apriori Algorithm and Fuzzy C-Means Clustering." *Journal of Forest Science* 63(No. 8): 370–80.
- Alonso-Betanzos, Amparo et al. 2002. "A Neural Network Approach for Forestal Fire Risk Estimation." : 5.
- Alonso-Betanzos, Fontenla-Romero et al. 2003. "An Intelligent System for Forest Fire Risk Prediction and Fire Fighting Management in Galicia." *Expert Systems with Applications* 25(4): 545–54.
- Angayarkkani, K. 2010. "An Intelligent System For Effective Forest Fire Detection Using Spatial Data." 7(1): 7.
- Arinze, Bay. 1991. "A Contingency Model of DSS Development Methodology." *Journal of Management Information Systems* 8(1): 149–66.
- Arrue, B.C., A. Ollero, and J.R. Matinez de Dios. 2000. "An Intelligent System for False Alarm Reduction in Infrared Forest-Fire Detection." *IEEE Intelligent Systems* 15(3): 64–73.
- Artés, Tomàs, Andrés Cencerrado, Ana Cortés, and Tomàs Margalef. 2016. "Time Aware Genetic Algorithm for Forest Fire Propagation Prediction: Exploiting Multi-Core Platforms."
- Athanasiou, Miltiadis. 2016. "Forest Fires: Management, Characteristics and Prediction." : 51.
- Biot, Y, and R. Mavsar. 2009. "Wildfires Impact in 3D: Environment. Economy, Society."
- Bodrozic, Ljiljana, Darko Stipanicev, and Maja Stula. 2006. "Agent Based Data Collecting in a Forest Fire Monitoring System." In *2006 International Conference on Software in Telecommunications and Computer Networks*, Split, Croatia: IEEE, 326–30. <http://ieeexplore.ieee.org/document/4129926/> (April 14, 2019).
- Bolourchi, Pouya, and Sener Uysal. 2013. "Forest Fire Detection in Wireless Sensor Network Using Fuzzy Logic." In *2013 Fifth International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks*, Madrid, Spain: IEEE, 83–87. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6571347/> (April 14, 2019).
- Bradshaw, Larry S., John E. Deeming, Robert E. Burgan, and Jack D. Cohen. 1984. *The 1978 National Fire-Danger Rating System: Technical Documentation*. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/29615> (March 27, 2019).

- Brun, Carlos, Tom'as Artés, Tom'as Margalef, and Ana Cortés. 2012. "Coupling Wind Dynamics into a DDDAS Forest Fire Propagation Prediction System." *Procedia Computer Science* 9: 1110–18.
- Castelli, Mauro, Leonardo Vanneschi, and Aleš Popovič. 2015. "Predicting Burned Areas of Forest Fires: An Artificial Intelligence Approach." *Fire Ecology* 11(1): 106–18.
- Cencerrado, Andrés, Tomàs Artés, Ana Cortés, and Tomàs Margalef. 2015. "Relieving Uncertainty in Forest Fire Spread Prediction by Exploiting Multicore Architectures." *Procedia Computer Science* 51: 1752–61.
- Cencerrado, Andrés, Ana Cortés, and Tomàs Margalef. 2012a. "Genetic Algorithm Characterization for the Quality Assessment of Forest Fire Spread Prediction." *Procedia Computer Science* 9: 312–20.
- Cencerrado, Andrés, Ana Cortés, and Tom'as Margalef. 2012b. "On the Way of Applying Urgent Computing Solutions to Forest Fire Propagation Prediction." *Procedia Computer Science* 9: 1657–66.
- Cortez, Paulo, and Anibal Morais. 2007. "A Data Mining Approach to Predict Forest Fires Using Meteorological Data." : 12.
- Devisscher, Tahia, Emily Boyd, and Yadvinder Malhi. 2016. "Anticipating Future Risk in Social-Ecological Systems Using Fuzzy Cognitive Mapping: The Case of Wildfire in the Chiquitania, Bolivia." *Ecology and Society* 21(4): art18.
- Dutta, Mamata, Suman Bhowmik, and Chandan Giri. 2014. "Fuzzy Logic Based Implementation for Forest Fire Detection Using Wireless Sensor Network." In *Advanced Computing, Networking and Informatics- Volume 1*, eds. Malay Kumar Kundu, Durga Prasad Mohapatra, Amit Konar, and Aruna Chakraborty. Cham: Springer International Publishing, 319–27. [http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-07353-8\\_38](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-07353-8_38) (April 14, 2019).
- Finney, Mark A. 2005. "The Challenge of Quantitative Risk Analysis for Wildland Fire." *Forest Ecology and Management* 211(1–2): 97–108.
- Földi, László, and Rajmund Kuti. 2016. "Characteristics of Forest Fires and Their Impact on the Environment." : 13.
- Gachet, Alexandre. 2003. "A New Component in the Classification of DSS Development Tools." *Journal of Decision Systems* 12(3–4): 271–81.
- Gachet, Alexandre, and Pius Haettenschwiler. 2006. "Development Processes of Intelligent Decision-Making Support Systems: Review and Perspective." In *Intelligent Decision-Making Support Systems*, London: Springer London, 97–121. [http://link.springer.com/10.1007/1-84628-231-4\\_6](http://link.springer.com/10.1007/1-84628-231-4_6) (April 1, 2019).
- Gachet, Alexandre, and Ralph Sprague. 2005. "A Context-Based Approach to the Development of Decision Support." : 12.
- Ganapathi Subramanian, Sriram, and Mark Crowley. 2018. "Combining MCTS and A3C for Prediction of Spatially Spreading Processes in Forest Wildfire Settings." In *Advances in Artificial Intelligence*, eds. Ebrahim Bagheri and



- Jackie C.K. Cheung. Cham: Springer International Publishing, 285–91.  
[http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-89656-4\\_28](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-89656-4_28) (April 15, 2019).
- Ghisu, Tiziano, Bachisio Arca, Grazia Pellizzaro, and Pierpaolo Duce. 2015. "An Improved Cellular Automata for Wildfire Spread." *Procedia Computer Science* 51: 2287–96.
- Hamadeh, Nizar, Alaa Hilal, Bassam Daya, and Pierre Chauvet. 2015. "Studying the Factors Affecting the Risk of Forest Fire Occurrence and Applying Neural Networks for Prediction." In *2015 SAI Intelligent Systems Conference (IntelliSys)*, London, United Kingdom: IEEE, 522–26.  
<http://ieeexplore.ieee.org/document/7361189/> (April 15, 2019).
- Hessburg, Paul F. et al. 2007. "Evaluating Wildland Fire Danger and Prioritizing Vegetation and Fuels Treatments." *Forest Ecology and Management* 247(1–3): 1–17.
- Hirschberger, Peter. 2016. "Forests Ablaze: Causes and Effects of Global Forest Fires."
- Iliadis, Lazaros, Stergios Skopianos, Stavros Tachos, and Stefanos Spartalis. 2010. "A Fuzzy Inference System Using Gaussian Distribution Curves for Forest Fire Risk Estimation." In *Artificial Intelligence Applications and Innovations*, eds. Harris Papadopoulos, Andreas S. Andreou, and Max Brammer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 376–86.  
[http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-16239-8\\_49](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-16239-8_49) (April 16, 2019).
- Iliadis, L.S. 2005. "A Decision Support System Applying an Integrated Fuzzy Model for Long-Term Forest Fire Risk Estimation." *Environmental Modelling & Software* 20(5): 613–21.
- Iliadis, L.S., M. Vangeloudh, and S. Spartalis. 2010. "An Intelligent System Employing an Enhanced Fuzzy C-Means Clustering Model: Application in the Case of Forest Fires." *Computers and Electronics in Agriculture* 70(2): 276–84.
- Jaber, A, F Guarnieri, and J.L Wybo. 2001. "Intelligent Software Agents for Forest Fire Prevention and Fighting." *Safety Science* 39(1–2): 3–17.
- Kalabokidis, Kostas et al. 2012. "Decision Support System for Forest Fire Protection in the Euro-Mediterranean Region." *European Journal of Forest Research* 131(3): 597–608.
- Kaloudis, Spiros et al. 2005. "Assessing Wildfire Destruction Danger: A Decision Support System Incorporating Uncertainty." *Ecological Modelling* 181(1): 25–38.
- Kant Sharma, Laxmi et al. 2012. "Fuzzy AHP for Forest Fire Risk Modeling." *Disaster Prevention and Management: An International Journal* 21(2): 160–71.
- Little, John D. C. 2004. "Models and Managers: The Concept of a Decision Calculus." *Management Science* 50(12\_supplement): 1841–53.
- Martell, David L. Martell. 2015. "A Review of Recent Forest and Wildland Fire Management Decision Support Systems Research."

- Mata, Aitor et al. 2010. "Forest Fire Evolution Prediction Using a Hybrid Intelligent System." In *Balanced Automation Systems for Future Manufacturing Networks*, eds. Ángel Ortiz, Rubén Darío Franco, and Pedro Gómez Gasquet. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 64–71. [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-14341-0\\_8](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-14341-0_8) (April 14, 2019).
- Naqa, Issam El, and Martin J. Murphy. 2015. *Machine Learning in Radiation Oncology: Theory and Applications*. Cham: Springer.
- Negnevitsky, Michael. 2005. *Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems*. 2nd ed. Harlow, England ; New York: Addison-Wesley.
- Özbayoğlu, A. Murat, and Recep Bozer. 2012. "Estimation of the Burned Area in Forest Fires Using Computational Intelligence Techniques." *Procedia Computer Science* 12: 282–87.
- Power, D. J. 2000. "Decision Support Systems Hyperbook." <http://dssresources.com/subscriber/password/dssbookhypertext>.
- Rauscher, H. Michael. 1999. "Ecosystem Management Decision Support for Federal Forests in the United States: A Review." *Forest Ecology and Management* 114(2–3): 173–97.
- Rawat, G S. 2003. "Fire Risk Assessment For Forest Fire Control Management In Chilla Forest Range Of Rajaji National Park Uttaranchal (India)." : 78.
- Russell, Stuart J., Peter Norvig, and Ernest Davis. 2010. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Safi, Y., and A. Bouroumi. 2013. "Prediction of Forest Fires Using Artificial Neural Networks." *Applied Mathematical Sciences* 7: 271–86.
- Sakr, George E., Imad H. Elhadj, George Mitri, and Uchechukwu C. Wejinya. 2010. "Artificial Intelligence for Forest Fire Prediction." In *2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Montreal, QC, Canada: IEEE, 1311–16. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5695809/> (April 15, 2019).
- Sasikala, K R, and M Petrou. 2001. "Generalised Fuzzy Aggregation in Estimating the Risk of Desertification of a Burned Forest." *Fuzzy Sets and Systems*: 17.
- Satir, Onur, Suha Berberoglu, and Cenk Donmez. 2016. "Mapping Regional Forest Fire Probability Using Artificial Neural Network Model in a Mediterranean Forest Ecosystem." *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 7(5): 1645–58.
- Saxena, K.B.C. 1991. "Decision Support Engineering: A DSS Development Methodology." In *Proceedings of the Twenty-Fourth Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, Kauai, HI, USA: IEEE Comput. Soc. Press, 98–107. <http://ieeexplore.ieee.org/document/184132/> (April 1, 2019).
- Singh, Harpreet et al. 2013. "Real-Life Applications of Fuzzy Logic." *Advances in Fuzzy Systems* 2013: 1–3.

- Sletnes, Arne Ivar. 2010. *Assessment of Forest Fire Risks and Innovative Strategies for Fire Prevention: 4-6 May 2010 Rhodes, Greece: Workshop Report*. Aas, Norway: Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, MCPFE Liaison Unit Oslo. <http://books.google.com/books?id=SeuOoIhXUIoC> (March 27, 2019).
- Soliman, Hamdy, Komal Sudan, and Ashish Mishra. 2010. "A Smart Forest-Fire Early Detection Sensory System: Another Approach of Utilizing Wireless Sensor and Neural Networks." In *2010 IEEE Sensors*, Kona, HI: IEEE, 1900–1904. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5690033/> (April 14, 2019).
- Stipanicev, Darko. 2010. "Intelligent Forest Fire Monitoring System – from Idea."
- Stula, Maja, Damir Krstinic, and Ljiljana Seric. 2012. "Intelligent Forest Fire Monitoring System." *Information Systems Frontiers* 14(3): 725–39.
- Tariq, Ahmad, and Khan Rafi. 2012. "Intelligent Decision Support Systems- A Framework." 2: 9.
- Tedim, Fantina, Vittorio Leone, and Gavriil Xanthopoulos. 2015. "Wildfire Risk Management in Europe: The Challenge of Seeing the 'Forest' and Not Just the 'Trees.'" : 27.
- Tien Bui, Dieu et al. 2017. "A Hybrid Artificial Intelligence Approach Using GIS-Based Neural-Fuzzy Inference System and Particle Swarm Optimization for Forest Fire Susceptibility Modeling at a Tropical Area." *Agricultural and Forest Meteorology* 233: 32–44.
- Tsataltzinos, T., L. Iliadis, and S. Spartalis. 2011. "A Generalized Fuzzy-Rough Set Application for Forest Fire Risk Estimation Feature Reduction." In *Artificial Intelligence Applications and Innovations*, eds. Lazaros Iliadis, Ilias Maglogiannis, and Harris Papadopoulos. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 332–41. [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-23960-1\\_40](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-23960-1_40) (April 16, 2019).
- Turban, Efraim, Jay\_E. Aronson, and Ting Peng\_Liang. 2007. "Decision Support Systems and Intelligent Systems, Seventh Edition."
- Voskoglou, Michael Gr. 2018. "Fuzzy Logic: History, Methodology and Applications to Education." : 9.
- Wang Xuehua et al. 2016. "A Cellular Automata Model for Forest Fire Spreading Simulation." In *2016 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, Athens, Greece: IEEE, 1–6. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7849971/> (April 15, 2019).
- Weiss, Gerhard, ed. 2013. *Multiagent Systems*. Second edition. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Wooldridge, Michael. 2002. "An\_Introduction\_To\_Multiagent."
- Wybo, J.L., F. Guarniéri, and B. Richard. 1995. "Forest Fire Danger Assessment Methods and Decision Support." *Safety Science* 20(1): 61–70.

Xanthopoulos, Gavriil. 2008. "People\_and\_the\_Mass\_Media\_during\_the\_fir.Pdf."

Turban, Efraim, Jay Aronson, and Ting Peng Liang. 2005. "Decision Support Systems and Intelligent Systems, Seventh Edition, Prentice Hall."