



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΛΗΨΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ BIGDATA ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΜΟΝΤΕΛΑ  
ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ, ΟΠΩΣ Η ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ»**

Επιβλέπων Καθηγητής:  
Σταμούλης Γεώργιος

Μέλη Επιτροπής:  
Βασιλακόπουλος Μιχαήλ  
Μποζάνης Παναγιώτης

Καλαμποκίνης Γεώργιος  
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός  
Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

ΒΟΛΟΣ  
ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2015



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αποτελεσματική διαχείριση των δασικών πυρκαγιών αποτελεί βασικό ζητούμενο για τις σύγχρονες κοινωνίες. Η ανάγκη για οργανωμένη προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, το οποίο απειλείται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια από δασικές πυρκαγιές, που τείνουν να εξαφανίσουν προστατευόμενα είδη, ενέπνευσε την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Βασιζόμενος στην πλατφόρμα προσομοίωσης πυρκαγιών που αναπτύχθηκε από τον κύριο Φιλιππόπουλο Ιωάννη, στα πλαίσια της διδακτορικής του διατριβής στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας. Οι τρεις σημαντικότερες κατηγορίες δεδομένων που είναι απαραίτητα για την προσομοίωση της πυρκαγιάς είναι: τα τοπογραφικά δεδομένα, η καύσιμη ύλη και τα μετεωρολογικά δεδομένα.

Στόχος της εργασίας είναι η άντληση των προαναφερθέντων δεδομένων από διάφορες πηγές που αναφέρονται στην εργασία, η μετατροπή τους σε είδος δεδομένων συμβατών με την εφαρμογή προσομοίωσης και εν τέλει η αξιοποίηση ρεαλιστικών / πραγματικών δεδομένων για την εκτέλεση της εφαρμογής προσομοίωσης πυρκαγιών.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον κύριο Φιλιππόπουλο Γιάννη, για την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της μεταπτυχιακής εργασίας, την καθοδήγησή του και την άρτια συνεργασία μας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Σταμούλη Γεώργιο τόσο για την ανάθεση του θέματος, όσο και για τη βοήθεια και αμέριστη συμπαράστασή του στη συγκεκριμένη εργασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, που συνεχίζουν να με στηρίζουν και να με ανέχονται μετά από τόσα χρόνια.

Φ

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ</b>	
1. Συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών.....	8
1.1 Τα θεμελιώδη στοιχεία της φωτιάς .....	8
1.2 Μετάδοση της θερμότητας σε δασικές πυρκαγιές.....	8
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ</b>	
2. Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών....	10
2.1 Η καύσιμη ύλη.....	10
2.2 Οι καιρικές συνθήκες .....	14
2.3 Οι τοπογραφικές συνθήκες .....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ</b>	
3.1 Μοντέλα καύσιμης ύλης .....	19
3.2 Μετατροπή δεδομένων .....	19
3.3 Επιπλέον χαρακτηριστικά βλάστησης .....	24
3.4 Μετεωρολογικά δεδομένα .....	26
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>29</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>30</b>

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Σελίδα

Πίνακας 1	Κατηγοριοποίηση Ελληνικής βλάστησης .....	20
Πίνακας 2	Είδη βλάστησης κατά Scott και Burgan .....	25
Πίνακας 3	Μετεωρολογικά δεδομένα πραγματικού χρόνου .....	27

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σελίδα

Σχήμα 1	Ελληνικό μοντέλο καύσιμης ύλης .....	21
Σχήμα 1.2	Διαβαθμίσεις βλάστησης .....	21
Σχήμα 2	Διάγραμμα ροής φόρτωσης μοντέλου καύσιμης ύλης .....	22
Σχήμα 3	Πίνακες χαρακτηριστικών καύσιμης ύλης .....	23

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος της εργασίας είναι η άντληση των προαναφερθέντων δεδομένων από διάφορες πηγές που αναφέρονται στην εργασία, η μετατροπή τους σε είδος δεδομένων συμβατών με την εφαρμογή προσομοίωσης και εν τέλει η αξιοποίηση ρεαλιστικών / πραγματικών δεδομένων για την εκτέλεση της εφαρμογής προσομοίωσης πυρκαγιών.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποιες γενικές πληροφορίες για τη φύση των πυρκαγιών, τα θεμελιώδη στοιχεία τους και τον τρόπο μετάδοσής τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι τρεις σημαντικότεροι παράγοντες συμπεριφοράς και εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς, δηλαδή η καύσιμη ύλη, τα τοπογραφικά δεδομένα και τα μετεωρολογικά δεδομένα.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται οι τρόποι απόκτησης των παραπάνω δεδομένων και η μετατροπή τους σε διαχειρίσιμο από την εφαρμογή τύπο δεδομένων.

Τέλος αναφέρονται συμπεράσματα και προτάσεις μελλοντικής έρευνας και αξιοποίησης των στοιχείων.

## **1. Η συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών**

Με τον όρο συμπεριφορά δασικής πυρκαγιάς εννοούμε τον τρόπο με τον οποίο η δασική καύσιμη ύλη αναφλέγεται, τα χαρακτηριστικά εξάπλωσης της φωτιάς και τα φαινόμενα που συνδέονται με αυτήν την εξάπλωση. Η συμπεριφορά αυτή διαφέρει πολύ από πυρκαγιά σε πυρκαγιά γιατί εξαρτάται από πολλούς παράγοντες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με περίπλοκους τρόπους. Για να γίνουν καλύτερα κατανοητές αυτές οι επιδράσεις αρχικά πρέπει να γίνουν γνωστά τα θεμελιώδη στοιχεία που είναι απαραίτητα για την ύπαρξη φωτιάς.

### **1.1 Τα θεμελιώδη στοιχεία της φωτιάς**

Η φωτιά είναι αποτέλεσμα μιας χημικής διεργασίας για την οποία απαιτείται η συνύπαρξη τριών θεμελιωδών στοιχείων κατάλληλα συνδυασμένων μεταξύ τους. Τα στοιχεία αυτά είναι η καύσιμη ύλη, η θερμότητα και το οξυγόνο. Συχνά, παρουσιάζονται στα βιβλία σαν πλευρές ενός τριγώνου που ονομάζεται “το τρίγωνο της φωτιάς”. Αν αφαιρεθεί έστω και μία από τις πλευρές του τριγώνου, τότε το τρίγωνο παύει να υπάρχει. Το ίδιο ισχύει και για την ύπαρξη της φωτιάς εάν αφαιρεθεί η καύσιμη ύλη, ή το οξυγόνο ή η θερμότητα.

Η καύσιμη ύλη είναι απαραίτητη γιατί σε αυτήν εγκλείεται η θερμότητα και από αυτήν τροφοδοτούνται οι φλόγες. Στις δασικές πυρκαγιές η καύσιμη ύλη αποτελείται από ζωντανή και νεκρή βιομάζα. Η ύπαρξη θερμότητας είναι απαραίτητη για την προθέρμανση της καύσιμης ύλης μέχρι τουλάχιστον τους 300 οC (βαθμούς Κελσίου). Όταν η καύσιμη ύλη προθερμαίνεται παράγει αναφλέξιμα αέρια. Τα αέρια αυτά συνδέονται με το οξυγόνο που υπάρχει στον αέρα με τη χημική αντίδραση της καύσης εκλύοντας κυρίως μεγάλες ποσότητες θερμότητας, διοξειδίου του άνθρακα και υδρατμών. Η φλόγα είναι η περιοχή της καύσης των αερίων η οποία γίνεται ορατή χάρη στην ακτινοβολία που παράγεται. Η θερμοκρασία της ξεπερνά τους 1000 οC.

### **1.2 Μετάδοση της θερμότητας σε δασικές πυρκαγιές**

Η θερμότητα της φλόγας μεταδίδεται στη γύρω καύσιμη ύλη και την προθερμαίνει μέχρι να φθάσει



και αυτή σε θερμοκρασία ανάφλεξης. Έτσι η φλόγα προχωρά σε νέα θέση και η πυρκαγιά εξαπλώνεται. Η μετάδοση της θερμότητας γίνεται και με τους τρεις γνωστούς τρόπους δηλαδή:

- με επαφή, από ένα σημείο της καύσιμης ύλης σε ένα άλλο χάρη στην αγωγιμότητα αυτής στη θερμότητα
- με επαγωγή, δηλαδή με μεταφορά και διάχυση των θερμών αερίων της καύσης και
- με ακτινοβολία που προέρχεται από τη φλόγα.

Από τους τρεις αυτούς τρόπους η επαφή έχει πολύ μικρό ρόλο στην εξάπλωση της πυρκαγιάς λόγω της μικρής αγωγιμότητας της καύσιμης ύλης.

Η μεταφορά θερμότητας με επαγωγή είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική όπως μπορεί να πιστοποιήσει εύκολα κανείς εάν περάσει το χέρι του επάνω από μία φλόγα κεριού. Η συνεισφορά της επαγωγής στη συνολική θερμότητα που προθερμαίνει την καύσιμη ύλη στις δασικές πυρκαγιές είναι εξαιρετικά μεταβλητή. Σε πυρκαγιές επιφανείας σε επίπεδες περιοχές χωρίς άνεμο το σύνολο των θερμών αερίων ανέρχεται προς τα επάνω και διαχέεται στην ατμόσφαιρα χωρίς να έρθει σε επαφή με την καύσιμη ύλη μπροστά από τη φλόγα. Όταν όμως καίγεται επιεδάφια καύσιμη ύλη κάτω από κόμες δένδρων, τότε οι κόμες δέχονται μεγάλες ποσότητες θερμότητας από την επαγωγή των θερμών αερίων. Η συνεισφορά της επαγωγής στη μεταφορά θερμότητας για την προθέρμανση της καύσιμης ύλης και την εξάπλωση της πυρκαγιάς αυξάνεται σημαντικά στο μέτωπο της πυρκαγιάς όταν φυσάει ισχυρός άνεμος που μεταφέρει τα θερμά αέρια μπροστά από τη φωτιά και γίνεται μεγαλύτερη όσο υψηλότερη είναι η καύσιμη ύλη. Η ύπαρξη μεγάλης κλίσης στο έδαφος αυξάνει αυτή τη συνεισφορά ακόμη περισσότερο.

Η ακτινοβολία που προέρχεται από τη φλόγα είναι ο σημαντικότερος τρόπος μεταφοράς θερμότητας και παίζει πάντοτε σημαντικό ρόλο στην εξάπλωση της πυρκαγιάς. Η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας αυξάνεται αντιστρόφως ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από την πηγή. Π.χ. εάν η προσπίπτουσα ακτινοβολία στην καύσιμη ύλη σε απόσταση 20 μέτρων από τη φλόγα έχει ένταση  $A$  τότε εάν η φλόγα πλησιάσει στα 10 μέτρα η ένταση της ακτινοβολίας θα είναι τετραπλάσια. Η αρχή αυτή έχει μεγάλη σημασία για την κατανόηση της σημαντικότητας αύξησης της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην καύσιμη ύλη όταν μειώνεται η απόσταση της φλόγας από αυτήν, είτε λόγω της κλίσης του εδάφους είτε λόγω της κλίσης της φλόγας με την επίδραση του ανέμου. Το

ίδιο βέβαια συμβαίνει και με τη θερμότητα που δέχονται οι πυροσβέστες όταν πλησιάζει η φλόγα.

## **2. Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών**

Στο δάσος η ύπαρξη καύσιμης ύλης και αέρα είναι βέβαια αυτονόητη. Όταν υπάρξει και κάποια κατάλληλη πηγή θερμότητας που προθερμαίνει την καύσιμη ύλη το αποτέλεσμα είναι η εκδήλωση πυρκαγιάς. Το πώς θα συμπεριφερθεί όμως η κάθε πυρκαγιά εξαρτάται απόλυτα από ορισμένους παράγοντες που την επηρεάζουν. Σε κάθε κατηγορία υπάρχουν περισσότεροι του ενός παράγοντες που επιδρούν στη συμπεριφορά της φωτιάς. Οι παράγοντες αυτοί, η επίδρασή τους στη συμπεριφορά της φωτιάς και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους περιγράφονται στις ενότητες που ακολουθούν.

Οι παράγοντες αυτοί εμπίπτουν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Καύσιμη ύλη
- Τοπογραφικά δεδομένα
- Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα τοπογραφικά δεδομένα του ελλαδικού χώρου έχουν καλυφθεί πλήρως από τη διατριβή του κυρίου Φιλιππόπουλου και δεν απαιτείται περαιτέρω ανάλυσή τους.

### **2.1 Η καύσιμη ύλη**

Το σύνολο του δάσους αποτελεί καύσιμη ύλη, καθώς όλα τα μέρη του (ξηροφυλλοτάπητας, χόρτα, πόες, μικροί και μεγάλοι θάμνοι, δένδρα) είναι αναφλέξιμα υλικά. Ο τρόπος όμως που τα υλικά αυτά αναφλέγονται και η επίδρασή τους στη συμπεριφορά της φωτιάς ποικίλει ανάλογα με τη διάταξή τους στο χώρο, την ποσότητά τους, τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους, τη θερμοκρασία τους και την περιεχόμενη σε αυτά υγρασία.

Η διάταξη στο χώρο κατατάσσει την καύσιμη ύλη σε υποεδάφια, επιεδάφια και εναέρια. Η υποεδάφια καύσιμη ύλη περιλαμβάνει όλα τα αναφλέξιμα υλικά που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια και περιλαμβάνει τον βαθύ χούμο, τις ρίζες και σάπιους μισοθαμένους κορμούς και κλαδιά. Η καύσιμη αυτή ύλη όταν είναι ξερή καίγεται, πάντοτε όμως με αργούς ρυθμούς λόγω της έλλειψης του απαραίτητου οξυγόνου. Έτσι, η συνεισφορά της στην εξάπλωση της φωτιάς είναι πολύ μικρή. Αντίθετα, μπορεί να διατηρήσει τη φωτιά για ώρες ή και ημέρες μετά την κατάσβεση της φλόγας από τους πυροσβέστες αποτελώντας πηγή αναζωπυρώσεων.

Η επιεδάφια καύσιμη ύλη περιλαμβάνει όλα τα αναφλέξιμα υλικά που βρίσκονται στο έδαφος ή ακριβώς επάνω από αυτό. Τέτοια υλικά είναι:

- ο χούμος, δηλαδή η νεκρή καύσιμη ύλη (βελόνες, φύλλα, κλαδάκια κλπ.) που έχει αποσυντεθεί σε βαθμό που είναι μη αναγνωρίσιμη η προέλευσή της,
- ο ξηροφυλλοτάπητας, δηλαδή τα νεκρά κατακείμενα χόρτα, βελόνες, φύλλα, κλαδάκια κλπ. που δεν έχει προχωρήσει η αποσύνθεσή τους,
- τα χόρτα,
- οι σχετικά μικροί θάμνοι,
- τα νεαρά δενδρύλλια,
- οι νεκροί κατακείμενοι κορμοί και τα κλαδάκια στο έδαφος (από φυσική αποκλάδωση, θραύσεις από χιόνι ή άνεμο, υπολείμματα υλοτομιών κλπ.), και
- τα πρέμνα, δηλαδή η βάση του δένδρου ύψους μερικών δεκάδων εκατοστών από το έδαφος που, όταν αυτό υλοτομηθεί, παραμένει μαζί με τις ρίζες στο δάσος.

Η αρχική ανάφλεξη των δασικών πυρκαγιών γίνεται κατά κανόνα στην επιεδάφια καύσιμη ύλη. Για την καύση της δεν υπάρχει έλλειψη οξυγόνου και έτσι οι πυρκαγιές που δίνει μπορεί να έχουν επικίνδυνη συμπεριφορά, ιδίως ως προς την ταχύτητα εξάπλωσής τους.

Η εναέρια καύσιμη ύλη περιλαμβάνει όλα τα πράσινα και νεκρά υλικά που βρίσκονται στην κόμη, μακριά από το έδαφος. Τα υλικά αυτά περιλαμβάνουν τα κλαδιά και τα φύλλα ή βελόνες των δένδρων, νεκρά ιστάμενα δένδρα, υψηλούς θάμνους καθώς και άλλες μορφές βιομάζας που βρίσκονται στην κόμη (αναρριχώμενα φυτά, βρύα κλπ.). Η ανάφλεξη της εναέριας καύσιμης ύλης κατά κανόνα αυξάνει κατά πολύ το μήκος της φλόγας και την ένταση της πυρκαγιάς. Παράλληλα δημιουργεί τις προϋποθέσεις για τη μετάδοση της πυρκαγιάς σε μεγάλες αποστάσεις με καύτρες.

Η ποσότητα της καύσιμης ύλης, μετρούμενη σε τόνους ανά στρέμμα ή σε κιλά ανά τετραγωνικό μέτρο, είναι ένας από τους βασικότερους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η θερμική ένταση της πυρκαγιάς. Γενικά, όσο περισσότερη καύσιμη ύλη υπάρχει τόσο περισσότερη είναι η διαθέσιμη ενέργεια προς έκλυση. Αντίθετα, η διαθέσιμη ενέργεια εξαρτάται σε μικρότερο βαθμό από την περιεχόμενη ενέργεια σε κάθε κίλο καύσιμης ύλης γιατί οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων δασικών καυσίμων είναι μικρές.

Το πόσο γρήγορα εκλύεται η περιεχόμενη στην καύσιμη ύλη ενέργεια, άρα και η ένταση του μετώπου της πυρκαγιάς, δεν εξαρτάται μόνο από την ποσότητά της. Π.χ. είναι πολύ πιθανό οι φλόγες μιας πυρκαγιάς χόρτων με ποσότητα καύσιμης ύλης 2 τόνων ανά στρέμμα να είναι μεγαλύτερες και η εξάπλωση του μετώπου πολύ ταχύτερη από μια πυρκαγιά σε πευκοδάσος με 4 τόνους νεκρών πευκοβελόνων ανά στρέμμα. Η αιτία είναι δύο άλλα χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης: οι διαστάσεις της (πάχος) και ο βαθμός συμπίεσής της. Τα χόρτα περιλαμβάνονται στα λεπτότερα δασικά καύσιμα και υπό κατάλληλες συνθήκες δίνουν πυρκαγιές ταχύτατης εξάπλωσης και αρκετά μεγάλης φλόγας η οποία όμως έχει μικρό βάθος και διάρκεια. Αντίθετα οι πευκοβελόνες, αν και η διάμετρός τους ευρίσκεται στην ίδια τάξη με αυτή των χόρτων, συνήθως δίνουν πυρκαγιές μικρότερης φλόγας και αργής εξάπλωσης σε περιπτώσεις αντίστοιχης ποσότητας καύσιμης ύλης. Ο λόγος είναι ότι ο ξηροφυλλοτάπητας είναι συνήθως αρκετά συμπιεσμένος και έχει λίγα διάκενα στο εσωτερικό του.

Η περιεχόμενη υγρασία στην καύσιμη ύλη, δηλαδή η ποσότητα σε γραμμάρια νερού που περικλείεται σε κάθε γραμμάριο ξερής βιομάζας, παίζει έναν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά της φωτιάς. Έναν ρόλο μάλιστα που είναι εύκολα αντιληπτός γιατί η υγρασία είναι ένας παράγοντας ιδιαίτερα μεταβλητός στη διάρκεια του έτους αλλά και σε ημερήσια βάση. Όσο μεγαλύτερη η περιεχόμενη υγρασία τόσο περισσότερη ενέργεια απαιτείται για να ανέβει η θερμοκρασία της καύσιμης ύλης στους 300 οC και να αναφλεγεί γιατί πρέπει πρώτα να εξατμισθεί το περιεχόμενο νερό στους 100 οC. Η θέρμανση και η εξάτμιση του νερού απαιτούν πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας. Έτσι η προθέρμανση και ανάφλεξη της καύσιμης ύλης καθυστερεί, επηρεάζοντας αντίστοιχα και τη συνολική συμπεριφορά της φωτιάς.

Η δασική βιομάζα που αποτελεί την καύσιμη ύλη είναι ζωντανή ή νεκρή. Η υγρασία της ζωντανής καύσιμης ύλης κυμαίνεται μεταξύ 50 και 300% δηλαδή σε κάθε γραμμάριο ξερής βιομάζας περιλαμβάνονται 0,5 έως 3 γραμμάρια νερό. Η μεταβολή της υγρασίας αυτής εξαρτάται κυρίως από

τη φυσιολογική κατάσταση των φυτών και διαφέρει αρκετά μεταξύ των διαφόρων φυτικών ειδών. Έτσι, μεταβάλλεται σημαντικά με την εποχή η οποία καθορίζει και τη φάση ανάπτυξης του φυτού και εξαρτάται σε μικρότερο βαθμό από τις συνθήκες ξηρασίας.

Η μεγάλη διαφορά της ζωντανής με τη νεκρή καύσιμη ύλη ως προς την περιεχόμενη υγρασία είναι ότι η υγρασία της δεύτερης εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και κυμαίνεται παρακολουθώντας τις αλλαγές αυτού. Έτσι, η έκθεση στον ήλιο, η θερμοκρασία του αέρα και φυσικά η βροχή επηρεάζουν την υγρασία της νεκρής καύσιμης ύλης. Τον πιο σημαντικό όμως ρόλο παίζει η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας γιατί αυτή μεταβάλλεται συνεχώς κατά τη διάρκεια του 24ώρου επηρεάζοντας άμεσα την υγρασία της καύσιμης ύλης και συνεπώς και της συμπεριφοράς της φωτιάς. Η συνεχής αυτή μεταβολή κάνει τον παράγοντα αυτό ιδιαίτερα σημαντικό για την κατανόηση και προσμονή των αλλαγών στη συμπεριφορά της φωτιάς.

Η σχετική υγρασία είναι ο λόγος (κλάσμα) της υγρασίας που περιέχει ο αέρας με την μέγιστη υγρασία την οποία θα μπορούσε να κρατήσει ο αέρας στην ίδια θερμοκρασία και πίεση, δηλαδή εάν ήταν κορεσμένος. Συνήθως εκφράζεται σαν ποσοστό. Σε συνθήκες ομίχλης, η οποία εμφανίζεται συνήθως το πρωί, η σχετική υγρασία είναι 100% και γι' αυτό δημιουργείται υγροποίηση των υδρατμών. Όταν η θερμοκρασία αρχίσει να ανεβαίνει, η υγρασία που μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας (δηλαδή ο παρονομαστής του κλάσματος) αυξάνεται. Έτσι η σχετική υγρασία μειώνεται. Είναι σημαντικό να γίνει αντιληπτό ότι αυτό γίνεται χωρίς να είναι απαραίτητο να προστεθεί ή αφαιρεθεί νερό (δηλαδή ο αριθμητής του κλάσματος μπορεί να είναι σταθερός). Σε ημερήσια βάση κατά κανόνα η θερμοκρασία του αέρα μεταβάλλεται φθάνοντας στη μέγιστη τιμή της κατά τις μεσημβρινές ώρες (1-3 μμ) και στην ελάχιστη τιμή της κατά τις πρώτες πρωινές ώρες πριν την ανατολή του ήλιου. Ακριβώς αντίθετη είναι η διακύμανση της σχετικής υγρασίας.

Η υγρασία της νεκρής καύσιμης ύλης κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 2 και 30% και εξαρτάται κυρίως από τη σχετική υγρασία του αέρα και σε μικρότερο βαθμό από τη θερμοκρασία. Περισσότερο διαβρέχεται η καύσιμη ύλη όταν εκτεθεί στα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (χιόνι, βροχή κλπ.). Στις αλλαγές της σχετικής υγρασίας και της θερμοκρασίας η υγρασία της καύσιμης ύλης ανταποκρίνεται με κάποια μικρότερη ή μεγαλύτερη καθυστέρηση ανάλογα με τις διαστάσεις της. Λεπτά καύσιμα όπως χόρτα, φύλλα και πευκοβελόνες με πάχος μικρότερο των 0,6 εκατοστών αντιδρούν ταχύτητα (1-2 ώρες) στις αλλαγές του περιβάλλοντός τους.

Από τα παραπάνω γίνεται εμφανής η μεγάλη σημασία της ποσότητας της νεκρής λεπτής καύσιμης ύλης και της περιεχόμενης σε αυτήν υγρασίας για τη συμπεριφορά της φωτιάς. Οι περισσότερες πυρκαγιές αρχίζουν με ανάφλεξη των καυσίμων της κατηγορίας αυτής η οποία μάλιστα είναι τόσο ευκολότερη όσο πιο ξερά είναι τα καύσιμα. Όταν οι πρώτες φλόγες δυναμώσουν ακολουθεί η ανάφλεξη των μέσης διαμέτρου νεκρών καυσίμων αλλά και των ζωντανών φυτών.

Η θερμοκρασία της καύσιμης ύλης είναι άλλος ένας σημαντικός παράγοντας για τη συμπεριφορά της φωτιάς. Όσο θερμότερα είναι τα δασικά καύσιμα τόσο λιγότερη ενέργεια απαιτείται για την ανάφλεξη τους. Έτσι αναφλέγονται ταχύτερα και το ίδιο ισχύει για την εξάπλωση της φωτιάς. Η θερμοκρασία των καυσίμων εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα και την έκθεση των καυσίμων στην ηλιακή ακτινοβολία. Το αποτέλεσμα της τελευταίας είναι πολύ σημαντικό καθώς η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ καυσίμων εκτεθειμένων στον ήλιο και καυσίμων στη σκιά νεφών ή της κόμης των δένδρων μπορεί να ξεπεράσει τους 25 οC.

## 2.2 Οι καιρικές συνθήκες

Ο καιρός είναι ο περισσότερο μεταβλητός παράγοντας που επηρεάζει τη συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών. Η επίδρασή του είναι ιδιαίτερα μεγάλη και γι' αυτό είναι απαραίτητο να γίνει καλά κατανοητή. Αναγνωρίζοντας την κρισιμότητα των καιρικών αλλαγών για τη συμπεριφορά της φωτιάς ο δασοπυροσβέστης μαθαίνει μια από τις βασικότερες αρχές για την ασφαλή και αποτελεσματική αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών: Να παρακολουθεί τον καιρό και να φροντίζει να ενημερώνεται για τις αναμενόμενες αλλαγές των καιρικών συνθηκών ώστε να μεταφράζει αυτές τις αλλαγές σε αναμενόμενες αλλαγές της συμπεριφοράς της φωτιάς.

Οι παράμετροι του καιρού που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών είναι:

- ο άνεμος (ταχύτητα και διεύθυνση)
- η σχετική υγρασία του αέρα
- η θερμοκρασία του αέρα
- τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, πάχνη, δροσιά)
- η ύπαρξη νεφώσεων ή ηλιοφάνειας
- η σταθερότητα της ατμόσφαιρας.

Οι παράμετροι αυτές στον τόπο της φωτιάς εξαρτώνται από:

- τις συνοπτικές μετεωρολογικές συνθήκες
- την επίδραση της τοπογραφίας
- την επίδραση της ίδιας της πυρκαγιάς στα καιρικά φαινόμενα

Η σχετική υγρασία του αέρα, η θερμοκρασία, η ηλιοφάνεια και τα κατακρημνίσματα επιδρούν στη συμπεριφορά της φωτιάς μέσω της επίδρασής τους στην περιεχόμενη υγρασία και τη θερμοκρασία της καύσιμης ύλης όπως περιγράφηκε παραπάνω.

Η ταχύτητα του ανέμου, είναι ένας από τους πιο κρίσιμους παράγοντες για τη συμπεριφορά της φωτιάς. Η ταχύτητα αυτή μετράται με ανεμόμετρα σε χλμ/ώρα. Όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο ανεμόμετρο μπορεί να γίνει εκτίμησή της με την βοήθεια της κλίμακας Μποφόρ, παρατηρώντας τα αποτελέσματα του ανέμου στο δασικό περιβάλλον. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ανέμου τόσο περισσότερο οι φλόγες αποκτούν κλίση προς τα εμπρός και πλησιάζουν την καύσιμη ύλη μπροστά τους. Η αποτελεσματικότητα της ακτινοβολίας πολλαπλασιάζεται και αυξάνεται κατακόρυφα η μεταφορά θερμότητας με επαγωγή για την προθέρμανση της καύσιμης ύλης. Έτσι, η ταχύτητα διάδοσης της φωτιάς πολλαπλασιάζεται, νέα καύσιμη ύλη συνεχώς αναφλέγεται και έτσι οι φλόγες μεγαλώνουν. Τυχόν μικρά διάκενα της καύσιμης ύλης που συχνά υπάρχουν στο δάσος παύουν να αποτελούν εμπόδιο στην εξάπλωση της φωτιάς.

Το μέγεθος της επίδρασης του ανέμου διαφέρει μεταξύ των διαφόρων τύπων καύσιμης ύλης. Γενικά είναι μεγαλύτερο για λεπτά καύσιμα όπως τα χόρτα και για καύσιμα που δεν είναι συμπιεσμένα. Η διάταξη των καυσίμων σε ύψος κατά κανόνα συνεπάγεται μεγαλύτερη ευαισθησία στην επίδραση του ανέμου όταν αυτά αναφλεγούν. Συχνά, όταν οι συνθήκες ξηρασίας δεν είναι ακραίες, η μετάδοση της πυρκαγιάς σε θαμνώνες (όπου η καύσιμη ύλη είναι διατεταγμένη σε αρκετό ύψος) απαιτεί την ύπαρξη ισχυρού ανέμου. Κατά τις νυκτερινές ώρες, που συνήθως η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται και αυξάνεται η σχετική υγρασία υγραίνοντας τη νεκρή καύσιμη ύλη, συχνά η εξάπλωση της πυρκαγιάς σε θαμνώνες παύει χωρίς την επέμβαση των δασοπροσβεστών. Η μείωση της αποτελεσματικότητας προθέρμανσης των καυσίμων με την πτώση του ανέμου, σε συνδυασμό με την σχετικά υψηλή υγρασία των ζώντων θάμνων και την αύξηση της υγρασίας των νεκρών καυσίμων κάνουν αδύνατη την εξάπλωση της πυρκαγιάς.

Η επίδραση ισχυρού ανέμου στην πυρκαγιά, ιδιαίτερα όταν αυτή εξελίσσεται σε επικόρυφη

πυρκαγιά, έχει και ένα άλλο σημαντικό όσο και επικίνδυνο χαρακτηριστικό. Προκαλεί τη μεταφορά αναμένων τεμαχιδίων καύσιμης ύλης όπως κουκουνάκια, φύλλα, φλοιό κλπ. σε απόσταση δεκάδων ή και εκατοντάδων μέτρων μπροστά από το μέτωπο της φωτιάς. Τα τεμαχίδια αυτά ονομάζονται “καύτρες”. Όταν οι καύτρες προσγειωθούν σε λεπτή νεκρή και ξερή καύσιμη ύλη (π.χ. χόρτα) προκαλούν νέες εστίες φωτιάς, συχνά πέρα από δρόμους και αντιπυρικές ζώνες, μηδενίζοντας τις προσπάθειες των δασοπυροσβεστών και εκθέτοντάς τους σε σημαντικό κίνδυνο εγκλωβισμού από τη φωτιά.

Η διεύθυνση του ανέμου έχει σημασία κυρίως όσο αφορά τον συνδυασμό της επίδρασης της ταχύτητας του ανέμου με αυτήν της τοπογραφίας όπως περιγράφεται παρακάτω. Ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο όμως για την αντιμετώπιση της πυρκαγιάς είναι οι αλλαγές της διεύθυνσης του ανέμου γιατί μεταβάλλουν την κατεύθυνση του μετώπου της πυρκαγιάς δυσκολεύοντας τις δασοπυροσβεστικές προσπάθειες και αυξάνοντας τους κινδύνους.

Η κατάσταση σταθερότητας της ατμόσφαιρας είναι άλλος ένας παράγοντας που αν και όχι άμεσα αντιληπτός από το δασοπυροσβέστη μπορεί να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα για την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς. Όταν η θερμοκρασιακή δομή της ατμόσφαιρας είναι τέτοια που αντιστέκεται στην κάθετη κίνηση του αέρα η ατμόσφαιρα ονομάζεται σταθερή και δεν διευκολύνει την ανάπτυξη της πυρκαγιάς γιατί δυσκολεύει την τροφοδοσία της με οξυγόνο. Αντίθετα, όταν η ατμόσφαιρα είναι ασταθής τότε οι συνθήκες διευκολύνουν την τροφοδοσία με οξυγόνο, και ευνοούν τη δημιουργία μεγάλης στήλης καπνού και τη γρήγορη εξάπλωση της πυρκαγιάς. Όταν εμφανίζεται φωτοχημικό νέφος στις μεγάλες πόλεις και όταν υπάρχει θολούρα και διάχυτος καπνός στην ατμόσφαιρα η ατμόσφαιρα είναι σταθερή. Αντίθετα, ένδειξη αστάθειας στην ατμόσφαιρα αποτελούν ο καθαρός καταγάλανος ουρανός, η πολύ καλή ορατότητα, η εμφάνιση μικρών νεφών με κάθετη ανάπτυξη στις κορυφές των βουνών (σωρίτες) και η δημιουργία καταιγίδων.

## 2.3 Οι τοπογραφικές συνθήκες

Η τοπογραφία στην περιοχή κάθε πυρκαγιάς έχει μεγάλη σημασία για τη συμπεριφορά της. Τα τοπογραφικά στοιχεία που έχουν ιδιαίτερη σημασία για την πυρκαγιά είναι η κλίση του εδάφους, η έκθεση της πλαγιάς, το υψόμετρο και ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά της τοπογραφίας όπως



φαράγγια, διάσελα, και κορυφογραμμές. Η επίδρασή της τοπογραφίας στην πυρκαγιά είναι τόσο άμεση όσο και έμμεση.

Η πυρκαγιά κατά κανόνα εξαπλώνεται προς τα υψηλότερα μέρη κάθε πλαγιάς, εκτός εάν υπάρχει ισχυρός αντίθετος άνεμος. Η ταχύτητα εξάπλωσής της είναι μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση. Σε ελαφριά καύσιμα (πχ. χόρτα) όταν ο άνεμος φυσάει κατά τη φορά της κλίσης η ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς μπορεί να είναι απίστευτα μεγάλη. Η κλίση επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά της φωτιάς με δύο τρόπους:

- λόγω της κλίσης οι φλόγες πλησιάζουν την καύσιμη ύλη μπροστά τους όπως συμβαίνει και στην περίπτωση ισχυρού ανέμου. Έτσι αυξάνεται σημαντικότερα η ακτινοβολία που προθερμαίνει την καύσιμη αυτή ύλη και επιταχύνεται η ανάφλεξή της.
- η παραγόμενη θερμότητα ανέρχεται παράλληλα με την πλαγιά δημιουργώντας ένα θερμό ρεύμα αέρα (επαγωγή) που αυξάνει την ταχύτητα εξάπλωσης ακόμη παραπάνω.

Όταν η κλίση είναι μεγάλη, σοβαρό πρόβλημα αποτελούν φλεγόμενα κομμάτια καύσιμης ύλης που κατακυλούν στην πλαγιά δημιουργώντας νέες εστίες φωτιάς κοντά στη βάση της. Στη συνέχεια οι νέες φωτιές εξαπλώνονται και πάλι προς τα επάνω στην πλαγιά με τη βοήθεια της κλίσης έχοντας διαθέσιμη άφθονη άκαυτη ύλη.

Η έκθεση της πλαγιάς παίζει σημαντικό ρόλο στη συμπεριφορά της φωτιάς γιατί συμμετέχει σε μεγάλο βαθμό στη διαμόρφωση της θερμοκρασίας και της υγρασίας της καύσιμης ύλης. Γενικά, στις βόρειες πλαγιές οι οποίες δέχονται τη λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία η καύσιμη ύλη είναι θερμότερη και περισσότερο υγρή από ότι στις υπόλοιπες πλαγιές. Οι θερμότερες και ξηρότερες συνθήκες και μάλιστα κατά την κρισιμότερη περίοδο της ημέρας επικρατούν στις νότιες και νοτιοδυτικές πλαγιές. Οι ανατολικές πλαγιές θερμαίνονται σημαντικά κατά τις προμεσημβρινές ώρες ενώ οι δυτικές πλαγιές δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία μέχρι τη δύση του ήλιου. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση της πλαγιάς τόσο περισσότερο ισχύουν οι παραπάνω αρχές. Επίσης, είναι ιδιαίτερα σημαντικό το ότι όταν θερμαίνεται μια πλαγιά δημιουργούνται τοπικοί άνεμοι προς τα επάνω της πλαγιάς που επίσης συνεισφέρουν στη γρηγορότερη εξάπλωση της φωτιάς. Κατά τις νυκτερινές ώρες που το έδαφος της πλαγιάς κρυώνει, ο αέρας που έρχεται σε επαφή με αυτό κρυώνει επίσης. Τότε αρχίζει μία ροή ανέμου προς τα χαμηλότερα σημεία της πλαγιάς που καθώς “μάχεται” την επίδραση της κλίσης, αποτελεί αρνητικό στοιχείο στην εξάπλωση της φωτιάς και προσφέρει σημαντική βοήθεια στους δασοπυροσβέστες.

Τόσο η έκθεση της πλαγιάς όσο και το υψόμετρο σε πολλές περιπτώσεις καθορίζουν τον τύπο και τα χαρακτηριστικά της βλάστησης. Γενικά στις βόρειες πλαγιές η βλάστηση είναι περισσότερο πλούσια ενώ στις νότιες μπορεί να είναι αραιή και υποβαθμισμένη. Το υψόμετρο επηρεάζει τη θερμοκρασία του αέρα που κατά μέσο όρο μειώνεται κατά 1 οC ανά 100 μ. υψομετρικής ανόδου. Το γεγονός αυτό, πέρα από την άμεση επίδρασή του στη φωτιά, επηρεάζει και τις συνθήκες ανάπτυξης των φυτών. Έτσι, το υψόμετρο είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη σύνθεση των φυτοκοινωνιών και επομένως και τα πυρικά τους χαρακτηριστικά.

Η γενική τοπογραφική διαμόρφωση μιας περιοχής επηρεάζει έμμεσα αλλά σημαντικά τη συμπεριφορά της φωτιάς. Η μεταβολή κλίσεων, εκθέσεων και υψομέτρων έχουν βέβαια τα αποτελέσματα που προαναφέρθηκαν. Όμως, ιδιαίτερα σημαντική είναι η επίδραση των διάφορων τοπογραφικών στοιχείων στην ταχύτητα, την κατεύθυνση και τους στροβιλισμούς του ανέμου. Παραδείγματος χάρη, όταν ο άνεμος διέρχεται από ένα βαθύ και στενό φαράγγι η ταχύτητά του αυξάνεται εντυπωσιακά. Ακόμη, όταν ο κατεύθυνση του ανέμου τέμνει μια κορυφογραμμή και η ταχύτητά του είναι αρκετά μεγάλη στην πίσω πλευρά αυτής δημιουργούνται συχνά έντονοι στροβιλισμοί που μεταβάλλουν τη συμπεριφορά της φωτιάς σε σχέση με την αναμενόμενη.

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό τοπογραφικό στοιχείο που συχνά δημιουργεί ακραίες συνθήκες εξάπλωσης της φωτιάς είναι το κλειστό φαράγγι, δηλαδή το βαθύ φαράγγι που είναι κλειστό στο ένα άκρο του. Όταν υπάρχει αρκετή βλάστηση στις πλαγιές του φαραγγιού και μια πυρκαγιά εισέλθει στη βάση του η συμπεριφορά της μπορεί να αλλάξει δραματικά. Το φαράγγι μπορεί να λειτουργήσει σαν καμινάδα δημιουργώντας ισχυρό ρεύμα αέρα προς τα επάνω και τραβώντας την πυρκαγιά μέχρι την κορυφή του με εκπληκτικό ρυθμό. Στην ένταση του φαινομένου συντελεί η ύπαρξη ανέμου στην κορυφή του φαραγγιού και η ύπαρξη αστάθειας στην ατμόσφαιρα.

### 3.1 Μοντέλα καύσιμης ύλης

Όπως αναφέραμε παραπάνω, σημαντικό ρόλο στον τρόπο εξάπλωσης της πυρκαγιάς (σημείο ανάφλεξης, ένταση, ύψος, ταχύτητα εξάπλωσης) παίζει η καύσιμη ύλη της περιοχής, δηλαδή το είδος και τα χαρακτηριστικά της βλάστησης της περιοχής. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά αυτά, οι περιοχές ομαδοποιούνται με βάση τη βλάστηση και περιγράφονται από μοντέλα καύσιμης ύλης (fuel models).

Ένα τέτοιο μοντέλο καύσιμης ύλης για την Ελλάδα αναπτύχθηκε στα πλαίσια του project ArcFUEL (Forest Fuel Mapping Service). Δημιουργήθηκε με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων και επί τόπου εποπτείας και επιβεβαίωσης, με σκοπό τη χρήση σε επιχειρήσεις διαχείρισης δασικών πυρκαγιών. Το μοντέλο αυτό είναι σε μορφή raster (αρχείο .tiff), όπου ο ελλαδικός χώρος χωρίζεται σε περιοχές ανάλογα με το είδος της βλάστησης που επικρατεί σε αυτές και κάθε περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα από τα 21 διαφορετικά είδη βλάστησης που απαντούνται στην Ελλάδα.

### 3.2 Μετατροπή δεδομένων

Η εφαρμογή i-protect fire simulation χρησιμοποιεί αρχεία τύπου shape (shapefile) για να φορτώσει τα δεδομένα του μοντέλου καύσιμης ύλης. Αυτό το είδος του αρχείου είναι τύπου pointer, σε αντίθεση με το τύπου raster μοντέλο καύσιμης ύλης. Η μετατροπή του μοντέλου καύσιμης ύλης από raster σε pointer έγινε με τη χρήση του προγράμματος ArcMap, όπως περιγράφεται παρακάτω.

Αφού φορτώθηκε στο πρόγραμμα ArcMap το μοντέλο καύσιμης ύλης, εμφανίστηκε ο χάρτης της Ελλάδας, χωρισμένος σε "pixels", καθένα από τα οποία έχει ένα συγκεκριμένο χρώμα / χαρακτηριστικό, από τα 21 συνολικά, που αντιστοιχεί σε ένα από τα 20 διαφορετικά είδη βλάστησης της Ελλάδας. Τα είδη βλάστησης χωρίζονται σε 8 γενικότερες κατηγορίες:

- Αειθαλή πλατύφυλλα δάση (θάμνοι, ανοιχτά, πυκνά)
- Φυλλοβόλα πλατύφυλλα δάση (θάμνοι, ανοιχτά, πυκνά)
- Αειθαλή κωνοφόρα δάση (θάμνοι, ανοιχτά, πυκνά)
- Φυλλοβόλα κωνοφόρα δάση (θάμνοι, ανοιχτά, πυκνά)

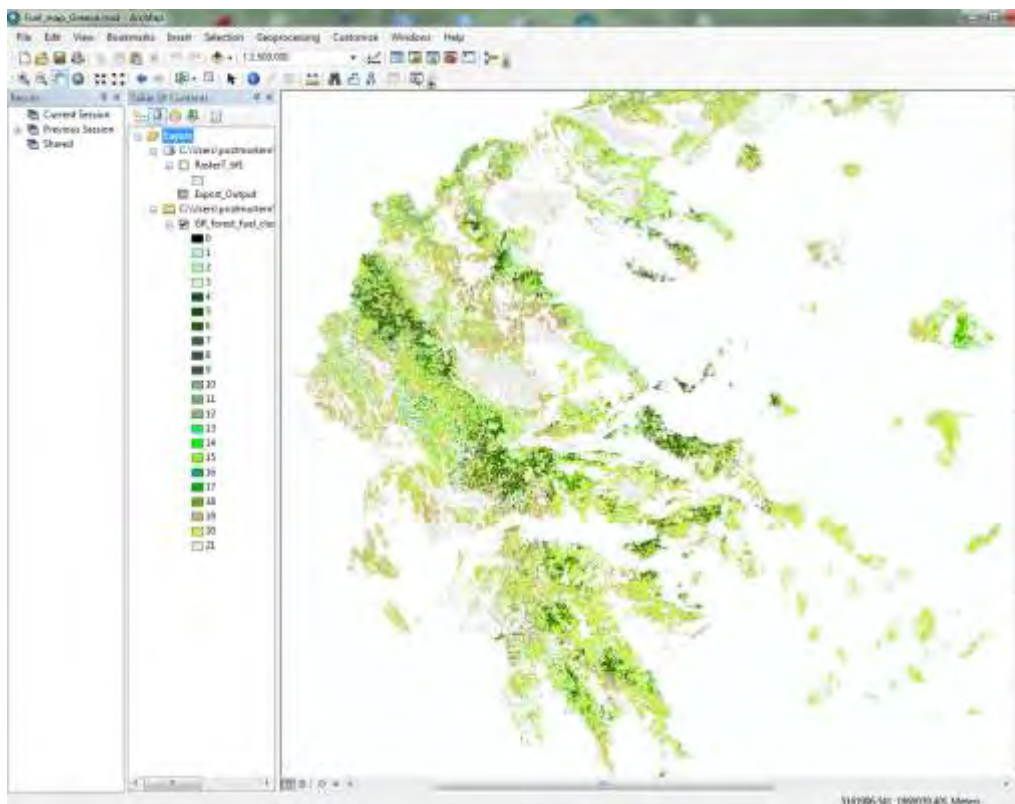
- Αειθαλή μεικτά δάση (θάμνοι, ανοιχτά, πυκνά)
- Φυλλοβόλα μεικτά δάση (θάμνοι, ανοιχτά, πυκνά)
- Θάμνοι
- Γρασίδι

Ανάλογα με το είδος της βλάστησης καθορίζεται και η πυκνότητά της, από 0-10% για τους θάμνους, 10-40% για ανοιχτές επιφάνειες και 40-100% για πυκνή βλάστηση. Όλα αυτά τα στοιχεία για το είδος της βλάστησης στην Ελλάδα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (τα χρώματα αφορούν τον τρόπο απεικόνισης):

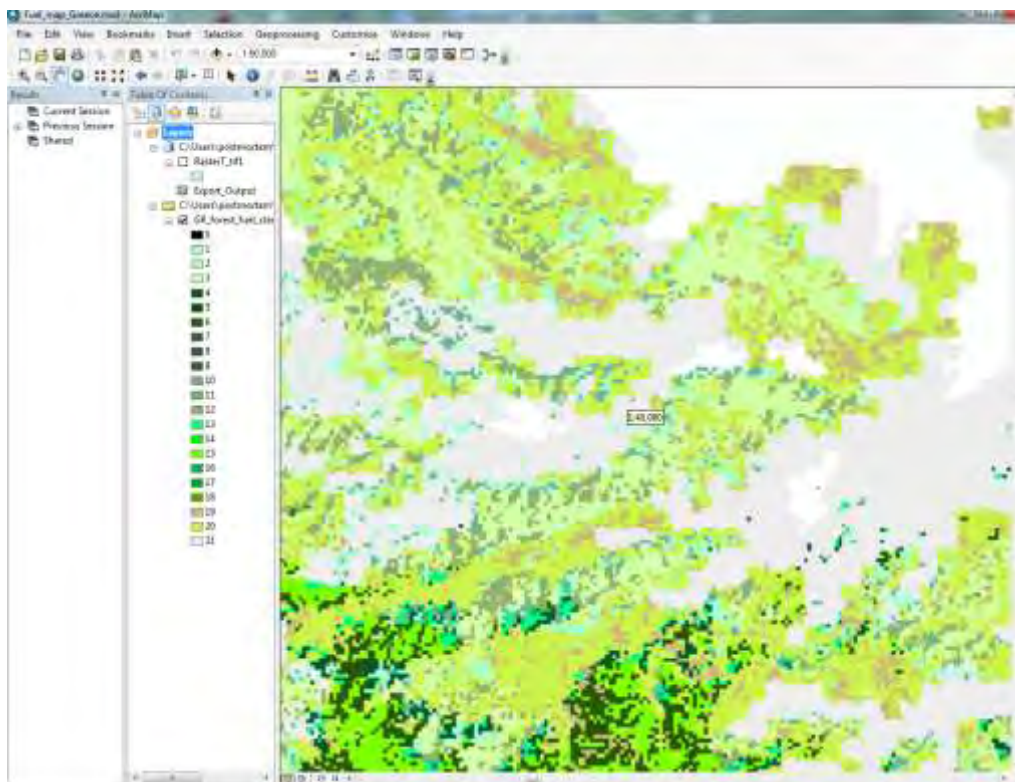
OID	Value (Τιμή)	Red (Κόκκινο)	Green (Πράσινο)	Blue (Μπλε)	Opacity (Αδιαφάνεια)	Description (Περιγραφή)
0	0	0	0	0	0	
1	1	0.65098	1	0.827451	1	01.Evergreen; Broadleaved Forest; Scrub --> 0-10(%)
2	2	0.65098	1	0.65098	1	02.Evergreen; Broadleaved Forest; Open --> 10-40(%)
3	3	0.827451	1	0.65098	1	03.Evergreen; Broadleaved Forest; Dense --> 40-100(%)
4	4	0	0.34902	0.172549	1	04.Deciduous; Broadleaved Forest; Scrub --> 0-10(%)
5	5	0	0.34902	0	1	05.Deciduous; Broadleaved Forest; Open --> 10-40(%)
6	6	0.172549	0.34902	0	1	06.Deciduous; Broadleaved Forest; Dense --> 40-100(%)
7	7	0.227451	0.34902	0.286275	1	07.Evergreen; Coniferous Forest; Scrub --> 0-10(%)
8	8	0.227451	0.34902	0.227451	1	08.Evergreen; Coniferous Forest; Open --> 10-40(%)
9	9	0.286275	0.34902	0.227451	1	09.Evergreen; Coniferous Forest; Dense --> 40-100(%)
10	10	0.454902	0.698039	0.576471	1	10.Deciduous; Coniferous Forest; Scrub --> 0-10(%)
11	11	0.454902	0.698039	0.454902	1	11.Deciduous; Coniferous Forest; Open --> 10-40(%)
12	12	0.576471	0.698039	0.454902	1	12.Deciduous; Coniferous Forest; Dense --> 40-100(%)
13	13	0	1	0.501961	1	13.Evergreen; Mixed Forest; Scrub --> 0-10(%)
14	14	0	1	0	1	14.Evergreen; Mixed Forest; Open Forest --> 10-40(%)
15	15	0.501961	1	0	1	15.Evergreen; Mixed Forest; Dense --> 40-100(%)
16	16	0	0.698039	0.34902	1	16.Deciduous; Mixed Forest; Scrub --> 0-10(%)
17	17	0	0.698039	0	1	17.Deciduous; Mixed Forest; Open --> 10-40(%)
18	18	0.34902	0.698039	0	1	18.Deciduous; Mixed Forest; Dense --> 40-100(%)
19	19	0.8	0.729412	0.490196	1	19.Shrubs
20	20	0.8	0.94902	0.301961	1	20.Grasses
21	21	0.929412	0.929412	0.929412	1	24.No Fuels

Πίνακας 1 Κατηγοριοποίηση Ελληνικής βλάστησης

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο Ελλαδικός χώρος, με τις 20 διαβαθμίσεις βλάστησης, αφού φορτωθεί το μοντέλο καύσιμης ύλης.

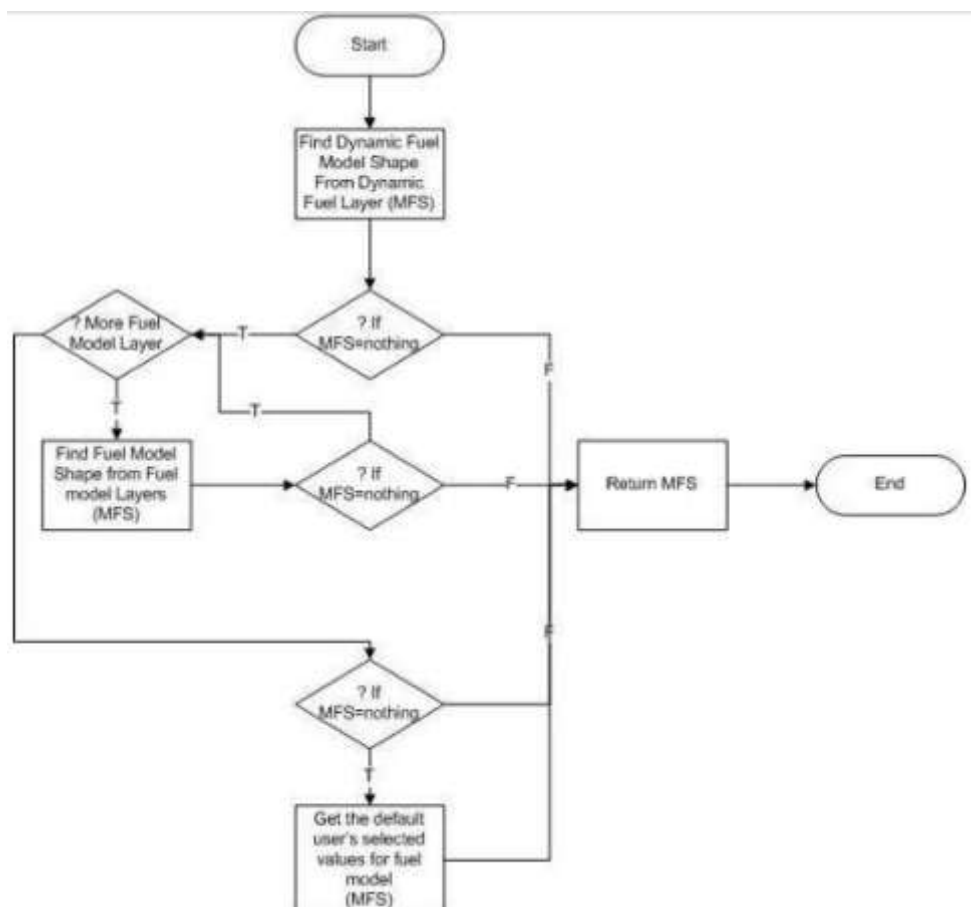


Σχήμα 1.1 Ελληνικό μοντέλο καύσιμης ύλης



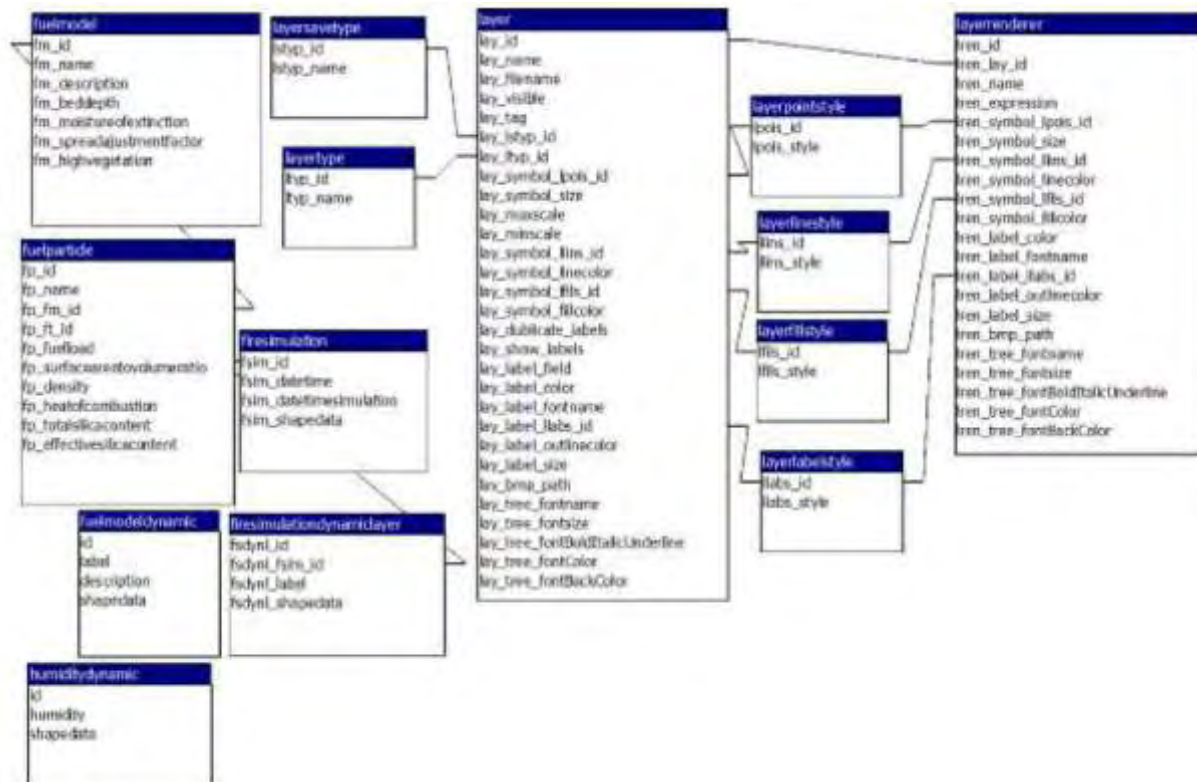
Σχήμα 1.2 Διαβαθμίσεις βλάστησης

Για τη μετατροπή του μοντέλου από raster σε τύπου pointer χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο «Raster to Pointer». Έτσι, δημιουργήσαμε ένα νέο διαφανές (layer), που περιέχει την ίδια πληροφορία με το προηγούμενο layer, αυτή τη φορά σε μορφή pointer, δηλαδή ο χάρτης χωρίστηκε σε πολύγωνα με συγκεκριμένες τιμές χαρακτηριστικών. Ανοίγοντας τον πίνακα χαρακτηριστικών του διαφανούς (Attribute table), βλέπουμε ότι ο χάρτης έχει χωριστεί σε πολύγωνα, καθένα από τα οποία έχει συγκεκριμένο αριθμό (id) και τιμή για το είδος βλάστησης που εμφανίζεται σε αυτό (1-20). Στη συνέχεια, εξάγουμε τα δεδομένα του πίνακα και τα μεταφορτώνουμε στη βάση δεδομένων μας για να φορτώνονται κατά την αναζήτηση και φόρτωση του μοντέλου καύσιμης ύλης της περιοχής στην οποία εκτελείται η προσομοίωση της πυρκαγιάς.



Σχήμα 2 Διάγραμμα ροής φόρτωσης μοντέλου καύσιμης ύλης

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ο τρόπος που η εφαρμογή φορτώνει το μοντέλο καύσιμης ύλης (fuel model). Γνωρίζοντας τις συντεταγμένες του εικονικού κελιού, ο αλγόριθμος αρχικά ελέγχει το διαφανές των δυναμικών σχημάτων καύσιμης ύλης. Το συγκεκριμένο διαφανές περιέχει όλα τα σχήματα που έχει σχεδιάσει ο χρήστης, με διαφορετική καύσιμη ύλη απ' ότι τα στατικά διαφανή με την καύσιμη ύλη. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να προσομοιωθεί μία περιοχή που αποψιλώθηκε κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς ή αλλαγές που προκλήθηκαν από προηγούμενες πυρκαγιές κλπ. Αν βρεθεί κάποιο σχήμα, τότε ο αλγόριθμος επιστρέφει αυτό το σχήμα και δε συνεχίζει. Αν δεν υπάρχει ή δε βρεθεί κάποιο δυναμικό σχήμα, τότε ψάχνει τα αντίστοιχα της περιοχής αυτής στατικά διαφανή. Μπορεί να υπάρχουν περισσότερα του ενός διαφανή, είτε γιατί ο χρήστης δημιούργησε κάποια καινούρια ή γιατί φόρτωσε περισσότερα του ενός ή και δικά του δεδομένα. Ο αλγόριθμος ψάχνει αυτά τα διαφανή και αν σε κάποιο από αυτά βρει κάποιο σχήμα τότε σταματάει και το επιστρέφει. Αν όχι, επιστρέφει την τιμή που έχει επιλέξει ο χρήστης ως προεπιλεγμένη τιμή για την καύσιμη ύλη. Αυτή η προεπιλεγμένη τιμή είναι σημαντική γιατί καλύπτει περιπτώσεις που δεν έχει προβλεφθεί διαφανές, είτε λόγω λάθους ή λόγω μη ύπαρξης δεδομένων και επιτρέπει στον αλγόριθμο να συνεχίσει τη διαδικασία για όλη την περιοχή και να επιστρέψει κάποιο αποτέλεσμα.



Σχήμα 3 Πίνακες χαρακτηριστικών καύσιμης ύλης

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η σχέση μεταξύ των πινάκων που απαρτίζουν τη διεπαφή GIS προσομοίωσης και ανάκτησης του μοντέλου καύσιμης ύλης.

### 3.3 Επιπλέον χαρακτηριστικά βλάστησης

Όπως αναφέραμε παραπάνω, τα δεδομένα του μοντέλου καύσιμης ύλης περιγράφουν το είδος της βλάστησης της περιοχής ενδιαφέροντος και εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Εκτός, όμως, από τα χαρακτηριστικά της βλάστησης που περιγράφουν την καύσιμη ύλη, σημαντικό ρόλο έχουν και τα χαρακτηριστικά αυτών καθαυτών των στοιχείων που αποτελούν την καύσιμη ύλη (fuel particles), όπως το φορτίο της καύσιμης ύλης, η πυκνότητα, η αναλογία της επιφάνειας κάλυψης ως προς τον όγκο, η ενέργεια που εκλύει κατά την ανάφλεξη κλπ. Η πληροφορία αυτή βρίσκεται από εργασίες και δημοσιεύσεις που έχουν γίνει για τα διάφορα είδη βλάστησης ανά τον κόσμο. Η πρώτη κατηγοριοποίηση έγινε από τον Rothermel, ο οποίος κατηγοριοποίησε και χαρακτήρισε 13 είδη βλάστησης, για να χρησιμοποιηθούν στην εφαρμογή πρόβλεψης εξάπλωσης πυρκαγιών που ανέπτυξε. Σε αυτά τα αρχικά μοντέλα βλάστησης, τα οποία αφορούσαν βλάστηση που συναντάται στην Αμερική, έχουν προστεθεί και άλλα μοντέλα βλάστησης χαρακτηριστικής κάθε περιοχής, συναφή με τα μοντέλα του Rothermel, για να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές που βασίζονται σε αυτά τα αρχικά μοντέλα καύσιμης ύλης. Μια λεπτομερής και εκτεταμένη ανάλυση 40 ειδών βλάστησης, προσθετική σε αυτή του Rothermel, έγινε από τους Scott και Burgan (Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model). Με βάση αυτή την εργασία, μπορούμε, για τα 20 είδη βλάστησης του μοντέλου μας, να συγκεντρώσουμε τα επιπλέον χαρακτηριστικά της βλάστησης που χρειάζονται για την εκτέλεση της εφαρμογής και παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξάπλωση μιας πυρκαγιάς:

- Το φορτίο καυσίμου (fuel load). Είναι το φορτίο μίας ώρας συν το ζωντανό ποώδες φορτίο συν το ζωντανό φορτίο ξύλου. Κυμαίνεται από 0.30 έως 13.05 τόνους/στρέμμα.
- Ο χαρακτηριστικός λόγος επιφάνειας προς πυκνότητα (characteristic surface-area-to-volume ratio (SAV)). Είναι ο μέσος λόγος για όλες τις κλάσεις και κατηγορίες καυσίμου, σταθμισμένο με την επιφάνεια κάθε κλάσης και κατηγορίας. Κυμαίνεται από 1.144 έως 2.216 l/ft.



- Το ποσοστό πυκνότητας (packing ratio). Είναι το κλάσμα της πυκνότητας καυσίμου που καταλαμβάνουν τα κομμάτια καυσίμου, σε σχέση με το φορτίο καυσίμου, το βάθος της βλάστησης και την πυκνότητά της. Κυμαίνεται μεταξύ 0,00143 και 0.04878 (καθαρός αριθμός).
- Ο ρυθμός μείωσης της υγρασίας (extinction moisture content). Είναι το σταθμισμένο μέσο ποσοστό υγρασίας νεκρού καυσίμου μιας περιοχής. Το μοντέλο πρόβλεψης εξάπλωσης της πυρκαγιάς προβλέπει ότι δε θα υπάρξει ανάφλεξη για μια τέτοια περιοχή.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται αναλυτικά τα 40 είδη βλάστησης και οι τιμές για τα χαρακτηριστικά που περιγράψαμε:

Fuel model code	Fuel load (t/ac)					Fuel model type <sup>a</sup>	SAV ratio (1/ft) <sup>b</sup>			Fuel bed depth (ft)	Dead fuel extinction moisture (percent)	Heat content BTU/lb <sup>c</sup>
	1-hr	10-hr	100-hr	Live herb	Live woody		Dead 1-hr	Live herb	Live woody			
GR1	0.10	0.00	0.00	0.30	0.00	dynamic	2200	2000	9999	0.4	15	8000
GR2	0.10	0.00	0.00	1.00	0.00	dynamic	2000	1800	9999	1.0	15	8000
GR3	0.10	0.40	0.00	1.50	0.00	dynamic	1500	1300	9999	2.0	30	8000
GR4	0.25	0.00	0.00	1.90	0.00	dynamic	2000	1800	9999	2.0	15	8000
GR5	0.40	0.00	0.00	2.50	0.00	dynamic	1800	1600	9999	1.5	40	8000
GR6	0.10	0.00	0.00	3.40	0.00	dynamic	2200	2000	9999	1.5	40	9000
GR7	1.00	0.00	0.00	5.40	0.00	dynamic	2000	1800	9999	3.0	15	8000
GR8	0.50	1.00	0.00	7.30	0.00	dynamic	1500	1300	9999	4.0	30	8000
GR9	1.00	1.00	0.00	9.00	0.00	dynamic	1800	1600	9999	5.0	40	8000
GS1	0.20	0.00	0.00	0.50	0.65	dynamic	2000	1800	1800	0.9	15	8000
GS2	0.50	0.50	0.00	0.60	1.00	dynamic	2000	1800	1800	1.5	15	8000
GS3	0.30	0.25	0.00	1.45	1.25	dynamic	1800	1600	1600	1.8	40	8000
GS4	1.90	0.30	0.10	3.40	7.10	dynamic	1800	1600	1600	2.1	40	8000
SH1	0.25	0.25	0.00	0.15	1.30	dynamic	2000	1800	1600	1.0	15	8000
SH2	1.35	2.40	0.75	0.00	3.85	N/A	2000	9999	1600	1.0	15	8000
SH3	0.45	3.00	0.00	0.00	6.20	N/A	1600	9999	1400	2.4	40	8000
SH4	0.85	1.15	0.20	0.00	2.55	N/A	2000	1800	1600	3.0	30	8000
SH5	3.60	2.10	0.00	0.00	2.90	N/A	750	9999	1600	6.0	15	8000
SH6	2.90	1.45	0.00	0.00	1.40	N/A	750	9999	1600	2.0	30	8000
SH7	3.50	5.30	2.20	0.00	3.40	N/A	750	9999	1600	6.0	15	8000
SH8	2.05	3.40	0.85	0.00	4.35	N/A	750	9999	1600	3.0	40	8000
SH9	4.50	2.45	0.00	1.55	7.00	dynamic	750	1800	1500	4.4	40	8000
TU1	0.20	0.90	1.50	0.20	0.90	dynamic	2000	1800	1600	0.6	20	8000
TU2	0.95	1.80	1.25	0.00	0.20	N/A	2000	9999	1600	1.0	30	8000
TU3	1.10	0.15	0.25	0.65	1.10	dynamic	1800	1600	1400	1.3	30	8000
TU4	4.50	0.00	0.00	0.00	2.00	N/A	2300	9999	2000	0.5	12	8000
TU5	4.00	4.00	3.00	0.00	3.00	N/A	1500	9999	750	1.0	25	8000
TL1	1.00	2.20	3.60	0.00	0.00	N/A	2000	9999	9999	0.2	30	8000
TL2	1.40	2.30	2.20	0.00	0.00	N/A	2000	9999	9999	0.2	25	8000
TL3	0.50	2.20	2.80	0.00	0.00	N/A	2000	9999	9999	0.3	20	8000
TL4	0.50	1.50	4.20	0.00	0.00	N/A	2000	9999	9999	0.4	25	8000
TL5	1.15	2.50	4.40	0.00	0.00	N/A	2000	9999	1600	0.6	25	8000
TL6	2.40	1.20	1.20	0.00	0.00	N/A	2000	9999	9999	0.3	25	8000
TL7	0.30	1.40	8.10	0.00	0.00	N/A	2000	9999	9999	0.4	25	8000
TL8	5.80	1.40	1.10	0.00	0.00	N/A	1800	9999	9999	0.3	35	8000
TL9	6.65	3.30	4.15	0.00	0.00	N/A	1800	9999	1600	0.6	35	8000
SB1	1.50	3.00	11.00	0.00	0.00	N/A	2000	9999	9999	1.0	25	8000
SB2	4.50	4.25	4.00	0.00	0.00	N/A	2000	9999	9999	1.0	25	8000
SB3	5.50	2.75	3.00	0.00	0.00	N/A	2000	9999	9999	1.2	25	8000
SB4	5.25	3.50	5.25	0.00	0.00	N/A	2000	9999	9999	2.7	25	8000

Πίνακας 2 Είδη βλάστησης κατά Scott και Burgan

Με βάση τις τιμές των χαρακτηριστικών αυτών συμπληρώνουμε στη βάση δεδομένων, στον πίνακα fuelparticle, τις στήλες fp\_surfaceareatovolumeratio, fp\_density, fp\_heattocombustion,

fp\_totalsilicacontent και fp\_effectivesilicacontent. Οι τιμές αυτές, σε συνδυασμό με τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής (ύψος, κλίση εδάφους κλπ) καθώς και με τα μετεωρολογικά δεδομένα (υγρασία, ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου, θερμοκρασία κλπ) είναι αυτά που επηρεάζουν την ένταση και τον τρόπο εξάπλωσης της πυρκαγιάς στην υπό έρευνα περιοχή.

Με αυτό τον τρόπο, έχουμε δημιουργήσει ένα στατικό διαφανές του μοντέλου καύσιμης ύλης για όλη την Ελλάδα, το οποίο μπορεί, κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, όπως περιγράφηκε παραπάνω, να αλλάξει δυναμικά ο χρήστης, αν παρατηρήσει ότι έχει αλλάξει το είδος της βλάστησης σε μία συγκεκριμένη περιοχή, ή αν θέλει να προσομοιώσει παρεμβάσεις που συνέβησαν από τον άνθρωπο στην προσπάθεια αντιμετώπισης της πυρκαγιάς (αποψίλωση, διάνοιξη ζωνών πυροπροστασίας κλπ).

### 3.4 Μετεωρολογικά δεδομένα

Όπως έχουμε αναφέρει, εκτός από τα χαρακτηριστικά της βλάστησης στην περιοχή εξάπλωσης της πυρκαγιάς, σημαντικότερο ρόλο παίζουν και οι καιρικές συνθήκες: αυτές που ευνοούν την ανάφλεξη, αυτές που επικρατούν κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς, αλλά και οι καιρικές συνθήκες των επόμενων ωρών, ώστε να γίνει δυνατή η πρόβλεψη του τρόπου, της έντασης και της κατεύθυνσης της εξάπλωσης της πυρκαγιάς.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα συλλέγονται από την εφαρμογή και αποθηκεύονται στον πίνακα metedata. Τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά των οποίων οι τιμές μας ενδιαφέρουν είναι:

- Η ταχύτητα του ανέμου (wind speed)
- Η κατεύθυνση του ανέμου (wind direction)
- Η θερμοκρασία (temperature)
- Η συννεφιά (cloud)
- Η υγρασία (humidity)

Πλέον είναι δυνατή η λήψη μετεωρολογικών δεδομένων από δημόσιους οργανισμούς ή και οργανώσεις / φορείς, οι οποίοι δημοσιεύουν τα δεδομένα αυτά, τόσο σε πραγματικό χρόνο, όσο και προβλέψεις για τις επόμενες ώρες και ημέρες. Συνήθως, τα μετεωρολογικά δεδομένα ανανεώνονται από ημερήσια βάση έως και ανά 3 ώρες, καθιστώντας τη χρήση τους αρκετά αξιόπιστη, εφόσον

λαμβάνονται από αρκετούς μετεωρολογικούς σταθμούς εδάφους ή / και από δορυφορικούς.

Μερικές από αυτές τις υπηρεσίες παροχής μετεωρολογικών δεδομένων είναι οι παρακάτω:

- <http://www.metar.gr/> . Το METAR είναι το σύστημα κωδικοποίησης και παρουσίασης των μετεωρολογικών δεδομένων, κυρίως για χρήση από πιλότους και μετεωρολόγους, και διάδοσης παρατηρήσιμων μετεωρολογικών δεδομένων. Η εν λόγω ιστοσελίδα προσφέρει διαρκώς ανανεώσιμα μετεωρολογικά δεδομένα, από περισσότερους από 500 σταθμούς βάσης, τα οποία ανανεώνονται ανά 3 ώρες.
- <https://gis.ncdc.noaa.gov/> . Το παράρτημα National Climatic Data Center του National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) προσφέρει καθημερινά μετεωρολογικά δεδομένα που συλλέγει από 32 διαφορετικές πηγές (πάνω από 90.000 σταθμοί βάσης).
- <http://www.ecomet.eu/> . Το ECOMET είναι μία οργάνωση οικονομικού ενδιαφέροντος με έδρα τις Βρυξέλλες, με σκοπό τη διαθεσιμότητα βασικών μετεωρολογικών δεδομένων με δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής τους.

Θεσσαλία Μαγνησία	Βόλος	N.O.A.	9	01/05/15	01:32	13.8	81	1015.8	6.7		144.0	0.0	0.0	
Θεσσαλία Μαγνησία	Ζαγορά	N.O.A.	505	01/05/15	01:30	13.3	68	1016.9	1.9		689.4	0.0	0.0	
Θεσσαλία Μαγνησία	Μακρινίτσα	N.O.A.	850	01/05/15	01:30	11.9	67	1013.9	13.2		267.2	0.0	0.0	
Θεσσαλία Μαγνησία	Περταριά	P.W.S.	678	01/05/15	01:30	12.8	66	1013.0	5.4		178.6	0.0	0.0	
Θεσσαλία Μαγνησία	Σκιάθος Ερασιπτηνικό Αστεροσκοπείο	P.W.S.	35	01/05/15	01:33	15.9	71	1016.6	6.7		71.4	0.0	0.0	
Θεσσαλία Μαγνησία	Σκιάθος	P.W.S.	18	01/05/15	01:30	16.8	74	1015.2	12.6		544.0	0.0	0.0	
Θεσσαλία Τρίκαλα	Περτούλι	N.O.A.	1170	01/05/15	00:50	6.8	94	1015.3	1.6		750.8	0.0	0.0	
Θεσσαλία Τρίκαλα	Τρίκαλα	N.O.A.	163	01/05/15	01:30	12.3	93	1016.0	4.3		275.6	0.2	0.2	
Θράκη Εβρος	Αλεξανδρούπολη	N.O.A.	48	01/05/15	01:26	11.3	91	1015.4	4.3		254.4	0.0	0.0	
Θράκη Εβρος	Διδυμότειχο 2	N.O.A.	35	01/05/15	01:29	10.6	89	1015.8	1.9		280.0	0.0	0.0	
Θράκη Εβρος	Διδυμότειχο Ανατολικό	M.C.	50	01/05/15	01:33	13.5	75	1012.5	2.7		306.0	0.0	0.0	

Πίνακας 3 Μετεωρολογικά δεδομένα πραγματικού χρόνου

Σε περίπτωση που για κάποιο λόγο δεν είναι δυνατή η λήψη των τρεχόντων ή προβλεπόμενων μετεωρολογικών δεδομένων, ο χρήστης μπορεί να ορίσει ο ίδιος και να αποθηκεύσει στη βάση τιμές για τα κλιματικά χαρακτηριστικά, στους απαραίτητους πίνακες, τα οποία η εφαρμογή θα διαβάσει και θα χρησιμοποιήσει για την πρόβλεψη της εξάπλωσης της πυρκαγιάς, καθορίζοντας και την εποχή του έτους στην οποία αντιστοιχούν (demodatasummer, meteoforecastdata κλπ).

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τη μελέτη της πλατφόρμας προσομοίωσης πυρκαγιών προκύπτει η δυνατότητα χρήσης της σε κάθε πιθανή περιοχή εκδήλωσης πυρκαγιάς. Προαπαιτούμενη είναι η ύπαρξη πραγματικών και όσο το δυνατόν τακτικότερα ανανεώσιμων δεδομένων περιγραφής των τριών βασικών χαρακτηριστικών κάθε περιοχής, που επηρεάζουν την εμφάνιση και εξάπλωση πυρκαγιών.

Το μεγάλο ενδιαφέρον κάθε χώρας για την πρόληψη και εξάλειψη πυρκαγιών, έχει οδηγήσει στη δημιουργία μοντέλων καύσιμης ύλης, καθώς και στην συλλογή τοπογραφικών δεδομένων των περιοχών τους. Επίσης, στο ίδιο πλαίσιο είναι πλέον δυνατή η συγκέντρωση και διάθεση αναλυτικών και αξιόπιστων μετεωρολογικών δεδομένων ανά την υφήλιο.

Η συλλογή όλων των παραπάνω δεδομένων και η μετατροπή τους σε τύπους αρχείων συμβατών με την εφαρμογή προσομοίωσης θα μπορούσε να αποτελέσει το επόμενο βήμα για την ολοκληρωμένη και καθολική χρήση της συγκεκριμένης εφαρμογής.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Φιλιππόπουλος Ιωάννης, “Διαχείριση δασικών πυρκαγιών με την πλατφόρμα προσομοίωσης i-protect”, 2012
- R. C. Rothermel, “A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels”, 1972
- Joe H. Scott, Robert E. Burgan, “Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use With Rothermel’s Surface Fire Spread Model”, 2005
- Ξανθόπουλος Γ., “Δυνατότητες πρόβλεψης της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς στα δάση της Ελλάδας”, 1990
- Καρτέρης Μ., Μαλλίνης Γ., Κούτσιας Ν., “Εφαρμογές δορυφορικών δεδομένων υψηλής και πολύ υψηλής ευκρίνειας στη χαρτογράφηση και παρακολούθηση καμένων εκτάσεων”
- Καλαμποκίδης Κ., Βαϊτης Μ., Παλαιολόγου Π., Τάταρης Γ., Ρετσιλίδου Ο., Χατζόπουλος Ι., “Βάση γεωγραφικών δεδομένων της νήσου Ρόδου για διαχείριση κινδύνου”
- [www.metar.gr](http://www.metar.gr)
- <https://gis.ncdc.noaa.gov/>
- <http://www.ecomet.eu/>
- [www.arcfuel.eu](http://www.arcfuel.eu)