

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

# Ενσωμάτωση συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων (DSS) για την αντιμετώπιση πυρκαγιών σε σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

---

**Καθαρόπουλος Θεμιστοκλής**

**Επιβλέπων:** Λούτα Μαλαματή

Κοζάνη/Οκτώβριος/2023

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ



HELLENIC DEMOCRACY  
UNIVERSITY OF WESTERN MACEDONIA  
SCHOOL OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL  
& COMPUTER ENGINEERING

# **Integration of Decision Support Systems (DSS) for fire management in a Geographic Information System (GIS)**

THESIS

---

**Katharopoulos Themis**

**SUPERVISOR:** Louta Malamati

Kozani / October /2023

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
& ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## **ΔΗΛΩΣΗ ΜΗ ΛΟΓΟΚΛΟΠΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΠΡΟΣΩΠΙΚΗΣ ΕΥΘΥΝΗΣ**

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο “Ενσωμάτωση Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS) για την αντιμετώπιση πυρκαγιών σε σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS)” καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ. Λούτας Μαλαματής αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Καθαρόπουλος Θεμιστοκλής & Μαλαματή Λούτα, 2023, Κοζάνη

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ

# Περίληψη

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν σημαντική και επαναλαμβανόμενη απειλή για τις ανθρώπινες ζωές, τα οικοσυστήματα και τις περιουσίες. Η αποτελεσματική διαχείριση και αντιμετώπιση αυτών των καταστροφών απαιτεί προηγμένα εργαλεία και τεχνολογίες για τον μετριασμό των επιπτώσεών τους. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται οι δυνατότητες ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (GIS) σε συνδυασμό με τη μοντελοποίηση πυρκαγιών από το λογισμικό FlamMap στο πλαίσιο ενός Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων (DSS). Σκοπός του συστήματος αυτού είναι η εξαγωγή κριτηρίων απόφασης, για μια πιο αποτελεσματική και τεκμηριωμένη ανταπόκριση σε περιστατικά πυρκαγιών.

---

**Λέξεις Κλειδιά: Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων, Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών, Δασικές Πυρκαγιές**

# Abstract

Forest fires pose a significant and recurring threat to human lives, ecosystems and property. Effective management and response to these disasters requires advanced tools and technologies to mitigate their impacts. In this thesis, the capabilities of a Geographic Information System (GIS) combined with fire modelling from FlamMap software are examined in the context of a Decision Support System (DSS). The purpose of this system is to derive decision criteria for a more effective and informed response to fire incidents.

---

**Keywords: Decision Support System, Geographic Information System, Forest Fires**



# Ευχαριστίες

---

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Λούτα και τον Ευάγγελο Τσίπη για τη σημαντική τους υποστήριξη στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και την οικογένειά μου, τους φίλους και το συνάδερφο της εργασίας μου, για την κατανόηση και την υπομονή τους.

Κοζάνη/Οκτώβριος/2023

ΑΥΤΗ Η ΣΕΛΙΔΑ ΕΙΝΑΙ ΣΚΟΠΙΜΑ ΛΕΥΚΗ

# Περιεχόμενα

---

Περίληψη	7
Abstract	8
Ευχαριστίες	9
Περιεχόμενα	12
Κατάλογος Εικόνων	14
Κατάλογος Πινάκων	16
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	17
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	17
1.2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ	17
1.3. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΤΟΥ ΤΟΜΟΥ	18
Κεφάλαιο 2: Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων	18
2.1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ (ΣΥΑ);	18
2.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΥΑ	19
2.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΣΥΑ	20
2.3.1. ΣΥΑ με γνώμονα τα δεδομένα (Data-Driven DSS)	20
2.3.2. ΣΥΑ με γνώμονα τα μοντέλα (Model-Driven DSS)	20
2.3.3. ΣΥΑ με γνώμονα τη γνώση (Knowledge-Driven DSS)	21
2.3.4. ΣΥΑ με γνώμονα τα έγγραφα (Document-Driven DSS)	21
2.3.5. ΣΥΑ με γνώμονα την επικοινωνία και ομαδικά ΣΥΑ (Communication-Driven and Group DSS)	21
2.3.6. Δευτερεύουσες κατηγορίες	22
2.4. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΣΥΑ	24
2.5. ΧΩΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ (SPATIAL DSS)	27
Κεφάλαιο 3: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems – GIS)	29
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	29
3.2. ΟΡΙΣΜΟΣ	30
3.3. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΓΣΠ	30
3.4. ΔΟΜΙΚΑ ΜΕΡΗ ΓΣΠ	32
Κεφάλαιο 4: Δασικές Πυρκαγιές	33
4.1. ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ	33
4.1.1. Τοπογραφία	34
	12

4.1.2.	Μετεωρολογικές συνθήκες	35
4.1.3.	Βλάστηση	37
4.2.	ΤΥΠΟΙ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ/ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ	38
4.3.	ΣΥΑ-ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	40
4.4.	ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ	42
	Κεφάλαιο 5: Υλοποίηση Μοντελοποίησης	44
5.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ FARSITE	44
5.2.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	58
	Κεφάλαιο 6: QGIS	69
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ QGIS	69
6.2.	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ	73
6.3.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	79
	Κεφάλαιο 7: Μελλοντικές επεκτάσεις	79
	Βιβλιογραφία	80

# Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1, Αρχιτεκτονική ΣΥΑ βασισμένα στο διαδίκτυο [4], [17], [18].....	24
Εικόνα 2, Δομικά στοιχεία ΣΥΑ [4], [19] .....	25
Εικόνα 3, Δομικά στοιχεία ΧΣΥΑ [21] .....	28
Εικόνα 4, Τα τρία σκέλη του τριγώνου της συμπεριφοράς πυρκαγιών [40]. .....	34
Εικόνα 5, Πυρκαγιά σε ανηφορική κλίση [45] .....	35
Εικόνα 6, Τύποι δασικών πυρκαγιών [51] .....	39
Εικόνα 7, Οι τρεις τύποι πυρκαγιών κόμης [52].....	39
Εικόνα 8, Εισαγωγή τοπίου .....	45
Εικόνα 9, Το τοπίο της περιοχής μελέτης.....	45
Εικόνα 10, Δυνατότητα εισαγωγής προσαρμοσμένου μοντέλου καυσίμου .....	47
Εικόνα 11, Κατηγορίες μοντέλων καυσίμου με μεμονωμένα χρώματα στο καθένα ξεχωριστά .....	48
Εικόνα 12, Ποσοστό κάλυψης κόμης - παράδειγμα 1 .....	48
Εικόνα 13, Ποσοστό κάλυψης κόμης - παράδειγμα 2 .....	49
Εικόνα 14, Η μέτρηση της κάλυψης της κόμης σε κατακόρυφη κατεύθυνση [70].....	49
Εικόνα 15, Εισαγωγή αρχείου με τις αρχικές υγρασίες καύσιμης ύλης .....	50
Εικόνα 16, Αρχικές υγρασίες καύσιμης ύλης στην περιοχή του Χορτιάτη.....	51
Εικόνα 17, Εισαγωγή αρχείου Weather stream (.WXS).....	52
Εικόνα 18, Ροές καιρικών συνθηκών στην περιοχή μελέτης.....	53
Εικόνα 19, Ορισμός περιόδων καύσης στο αρχείο Weather stream (.WXS). .....	54
Εικόνα 20, Παράμετροι μοντελοποίησης (περίοδοι κλιμάκωσης/προετοιμασίας, περίοδοι καύσης) .....	55
Εικόνα 21, Ρυθμίσεις μοντέλου .....	55
Εικόνα 22, Σημεία ανάφλεξης στο θέμα της κάλυψης κόμης .....	56
Εικόνα 23, Σημεία ανάφλεξης στο θέμα της κλίσης.....	57
Εικόνα 24, Στοιχεία εξόδου προσομοίωσης .....	57
Εικόνα 25, Διανύσματα ανέμου (Wind Vectors).....	58
Εικόνα 26, Διανύσματα εξάπλωσης (Spread Vectors) .....	59
Εικόνα 27, Περίμετροι πυρκαγιών (Perimeters) με Time Step=60min .....	60
Εικόνα 28, Σημεία ανάφλεξης στην περιοχή μελέτης (Farsite Ignitions).....	61
Εικόνα 29, Χρονικά διαστήματα άφιξης πυρκαγιάς (Farsite Arrival Time) .....	61
Εικόνα 30, Περίοδος μη καύσης.....	62
Εικόνα 31, Ιδιότητες διανύσματος "Farsite Perimeters" .....	63
Εικόνα 32, Χρόνος άφιξης πυρκαγιάς εντός της πρώτης καύσης.....	64
Εικόνα 33, Χρόνος άφιξης πυρκαγιάς εντός της δεύτερης καύσης.....	64
Εικόνα 34, Μήκη φλόγας (Farsite Flame Length).....	65
Εικόνα 35, Ρυθμός διάδοσης πυρκαγιάς (Farsite Rate Of Spread).....	66
Εικόνα 36, Ευρύτερη περίμετρος στα σημεία με μεγαλύτερο ρυθμό εξάπλωσης πυρκαγιάς .....	67
Εικόνα 37, Κατεύθυνση διάδοσης πυρκαγιάς (Farsite Spread Direction).....	67
Εικόνα 38, Δραστηριότητα επιφανειακής πυρκαγιάς .....	68
Εικόνα 39, Οπτική αναπαράσταση θεματικού χάρτη κάλυψης κόμης στο QGIS .....	69
Εικόνα 40, Οδικός χάρτης της Google.....	70
Εικόνα 41, Οπτικοποίηση σημείων αναφλέξης φωτιάς και χρόνου άφιξης της πυρκαγιάς .....	70
Εικόνα 42, QuickOSM plugin.....	71
Εικόνα 43, Οδικό δίκτυο με έκταση τον καμβά της εικόνας.....	72
Εικόνα 44, Τρεις θεωρητικοί πυροσβεστικοί σταθμοί βόρεια, ανατολικά και δυτικά από την περιοχή μελέτης προσομοίωσης πυρκαγιών.....	72
Εικόνα 45, Εισαγωγή παραμέτρων για την εφαρμογή ισοχρονικών .....	73
Εικόνα 46, Πρώτος πυροσβεστικός σταθμός.....	74

Εικόνα 47, Περιοχές προσπελασιμότητας του πρώτου πυροσβεστικού σταθμού.....	74
Εικόνα 48, Κριτήριο λήψης αποφάσεων 1 .....	75
Εικόνα 49, Κριτήριο λήψης αποφάσεων 2 .....	75
Εικόνα 50, Δεύτερος πυροσβεστικός σταθμός στα Λαγυνά Θεσσαλονίκης .....	76
Εικόνα 51, Περιοχές προσπελασιμότητας του δεύτερου πυροσβεστικού σταθμού .....	76
Εικόνα 52, Κριτήριο λήψης αποφάσεων 3 .....	77
Εικόνα 53, Τρίτος πυροσβεστικός σταθμός στο Αγγελοχώρι Θεσσαλονίκης.....	77
Εικόνα 54, Περιοχές προσπελασιμότητας του τρίτου πυροσβεστικού σταθμού.....	78
Εικόνα 55, Κριτήριο λήψης αποφάσεων 4 .....	78

# Κατάλογος Πινάκων

---

Πίνακας 1, Θέματα πλαισίου και αρχιτεκτονικής ΣΥΑ [4].....	26
Πίνακας 2, Μοντέλα καυσίμων Βόρειου Εργαστηρίου Δασικών Πυρκαγιών (NFFL) [67].....	46
Πίνακας 3, Το διευρυμένο σύνολο τυποποιημένων μοντέλων [66] .....	47
Πίνακας 4, Κατηγορίες πυρκαγιών [82] .....	68



# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1.1. Εισαγωγικό σημείωμα

Οι δασικές εκτάσεις σε ολόκληρη τη νότια Ευρώπη μειώνονται ετησίως με αξιοσημείωτο ρυθμό από τις πυρκαγιές σε άγρια εδάφη. Χιλιάδες εκτάρια δασών χάνονται, παρά τις μεγάλες προσπάθειες των διαχειριστών των δασών για την καταπολέμηση των δασικών πυρκαγιών. Η απώλεια ανθρώπινων ζώων και αγαθών, οι ζημιές στην άγρια ζωή οικοτόπων, η διάβρωση του εδάφους και υποβάθμιση των λεκανών απορροής αποτελούν τραγικές συνέπειες των δασικών πυρκαγιών. Επομένως, είναι υψίστης σημασίας για τους διαχειριστές των δασών να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητά τους, επενδύοντας στην τεχνολογία καταπολέμησης δασικών πυρκαγιών [1].

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1970, η Ελλάδα βιώνει έντονες δασικές πυρκαγιές με αυξανόμενη συχνότητα [1]. Ένα τρανταχτό πρόσφατο παράδειγμα είναι η πυρκαγιά της Αλεξανδρούπολης το καλοκαίρι του 2023, η οποία θεωρείται η μεγαλύτερη καταστροφή από πυρκαγιά στην Ευρωπαϊκή Ένωση από το 2000, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών για τις Δασικές Πυρκαγιές (EFFIS) [2]. Στις 29 Αυγούστου του 2023, η καμένη έκταση ανερχόταν σε 825.590 στρέμματα. Σύμφωνα με τα μέσα ενημέρωσης, από τις 29 Αυγούστου, ο αριθμός των αναφερόμενων νεκρών στην Αλεξανδρούπολη έφτασε τους 20 ανθρώπους.

Χρήσιμος σύμμαχος για την αποτελεσματική διαχείριση των δασικών πυρκαγιών είναι τα Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (ΣΥΑ). Ένα ΣΥΑ είναι ένα πληροφοριακό σύστημα, το οποίο συγκεντρώνει επιστημονικά ευρήματα, όπως σύνολα δεδομένων, έγγραφα και μοντέλα σε ένα διαδραστικό εργαλείο, με σκοπό την υποστήριξη λήψης αποφάσεων [3], [4].

Μέρος ενός τέτοιου διαδραστικού εργαλείου μπορεί να είναι οι προσομοιωτές των δασικών πυρκαγιών, όπως το FlamMap. Στο πρόγραμμα FlamMap μπορούν να προσομοιωθούν πιθανά χαρακτηριστικά μιας πυρκαγιάς, όπως ο χρόνος άφιξης της φωτιάς σε συγκεκριμένα σημεία, ο ρυθμός και η κατεύθυνση εξάπλωσης της πυρκαγιάς, το μήκος της φλόγας κ.α. [5].

Ταυτόχρονα ένα ΣΥΑ μπορεί να βασίζεται σε ΓΣΠ, τα οποία παρέχουν δυνατότητες απόκτησης, ανάκτησης, αποθήκευσης, ανάλυσης και εμφάνισης χωρικών και μη χωρικών δεδομένων. Τα δεδομένα ενός ΓΣΠ μπορούν να οπτικοποιηθούν οργανωμένα σε «στρώματα» πληροφοριών (layers), χρησιμοποιώντας εργαλεία χαρτογράφησης που βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση των ίδιων των δεδομένων, όπως σχέσεις και μοτίβα, υποστηρίζοντας τους χρήστες στη λήψη εξυπνότερων και τεκμηριωμένων αποφάσεων [6].

## 1.2. Αντικείμενο μελέτης

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναδεικνύει τη σχέση των ΓΣΠ με τα μοντέλα προσομοίωσης της φωτιάς στο πλαίσιο ενός ΣΥΑ. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό FlamMap, μέσα από την προσομοίωση Farsite (ενσωματωμένο πλέον στο FlamMap6), αναλύθηκε η συμπεριφορά μιας υποθετικής πυρκαγιάς στην περιοχή του Χορτιάτη, με παραμέτρους της τοπογραφίας, του καιρού και της βλάστησης. Κάποια από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης, είτε διανυσματικά, είτε σε ψηφιδωτή μορφή (raster) οπτικοποιήθηκαν στο λογισμικό QGIS. Έπειτα, χρησιμοποιήθηκαν πρόσθετα δεδομένα στο περιβάλλον ΓΣΠ, όπως το χαρτογραφικό υπόβαθρο της Google, το οδικό δίκτυο ενός τμήματος της περιοχής Θεσσαλονίκης, θεωρητικοί πυροσβεστικοί σταθμοί κ.α. Τέλος,

χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος των ισοχρονικών, με σκοπό την υποστήριξη λήψης αποφάσεων από τους διαχειριστές αντιμετώπισης πυρκαγιών.

### **1.3. Οργάνωση του τόμου**

Στο κεφάλαιο 2 ορίζονται τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων, επισημαίνοντας τα χαρακτηριστικά, τις κατηγορίες και την αρχιτεκτονική τους. Στη συνέχεια, αναλύονται τα Χωρικά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων ως κεφάλαιο σύνδεσης με τα ΓΣΠ. Στο κεφάλαιο 3 αναλύονται τα ΓΣΠ, αναφέροντας συνοπτικά την ιστορία δημιουργίας τους. Στο κεφάλαιο 4 ορίζεται αρχικά η συμπεριφορά των πυρκαγιών και έπειτα οι τύποι των δασικών πυρκαγιών που υπάρχουν. Στη συνέχεια, αναφέρονται ΣΥΑ που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση πυρκαγιών με διαφορετικές τεχνολογίες. Τέλος, περιγράφονται συνοπτικά υπάρχοντα συστήματα μοντελοποίησης της καύσιμης ύλης και της συμπεριφοράς των πυρκαγιών. Στο κεφάλαιο 5, πραγματοποιείται η προσομοίωση πυρκαγιών στην περιοχή μελέτης και αναλύονται τα αποτελέσματά της. Στο κεφάλαιο 6 μετά την εισαγωγή κατάλληλων δεδομένων στο λογισμικό QGIS υπολογίζονται οι ισοχρονικές καμπύλες, αναδεικνύοντας κριτήρια λήψης αποφάσεων. Τέλος, απαριθμούνται μερικά συμπεράσματα, με βάση τα κριτήρια λήψης αποφάσεων. Στο κεφάλαιο 7 αναφέρονται μελλοντικές επεκτάσεις στο πλαίσιο ενός ευρύτερου συστήματος λήψης απόφασης.

## **Κεφάλαιο 2: Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων**

### **2.1. Τι είναι τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (ΣΥΑ);**

Ο όρος σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, όπως και άλλοι όροι στον τομέα της πληροφορικής, είναι μια έκφραση πολύσημη (δηλαδή σημαίνει διαφορετικά πράγματα για διαφορετικούς ανθρώπους). Δεν υπάρχει καθολικά αποδεκτός ορισμός.

Σύμφωνα με τους Sprague και Carlson [4], τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (ΣΥΑ) περιλαμβάνουν μια κατηγορία πληροφοριακών συστημάτων βασισμένα σε υπολογιστή για να υποστηρίξουν τις δραστηριότητες λήψης αποφάσεων των διευθυντών και άλλων εργαζομένων στη γνώση στους οργανισμούς. Στο πλαίσιο της εφαρμογής τους, χρησιμοποιούνται τεχνολογίες επικοινωνιών, δεδομένα, έγγραφα, γνώσεις ή/και μοντέλα για τον εντοπισμό και την επίλυση προβλημάτων, την ολοκλήρωση των εργασιών της διαδικασίας λήψης αποφάσεων και τη λήψη αποφάσεων. Ουσιαστικά τα ΣΥΑ είναι μια φιλοσοφία ανάπτυξης και χρήσης των συστημάτων πληροφοριών και όχι μία τεχνολογία [4], [7]–[9].

Τα ΣΥΑ είναι βοηθητικά συστήματα και δεν προορίζονται να αντικαταστήσουν τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων. Στην πραγματικότητα, ένα ΣΥΑ μπορεί να θεωρηθεί ως μια εννοιολογική μεθοδολογία, δηλαδή ένας ευρύς όρος, ο οποίος περιγράφει οποιοδήποτε μηχανογραφημένο σύστημα που υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων σε έναν οργανισμό. Ένας οργανισμός μπορεί να διαθέτει ένα σύστημα διαχείρισης γνώσεων για να καθοδηγεί όλο το προσωπικό του στην επίλυση προβλημάτων. Ένας άλλος οργανισμός μπορεί να διαθέτει ξεχωριστά συστήματα υποστήριξης για το μάρκετινγκ, τα χρηματοοικονομικά και τη λογιστική κ.α. Το ΣΥΑ τα περιλαμβάνει όλα αυτά [8, p. 46].

## 2.2. Χαρακτηριστικά των ΣΥΑ

Επειδή, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, δεν υπάρχει επικρατούσα άποψη σχετικά με το τι είναι ένα ΣΥΑ, προφανώς δεν υπάρχει συμφωνία σχετικά με τα τυπικά χαρακτηριστικά τους. Κάποια βασικά χαρακτηριστικά των ΣΥΑ είναι τα εξής:

1. Παροχή υποστήριξης των υπευθύνων λήψης αποφάσεων, κυρίως σε ημιδομημένα και μη δομημένα προβλήματα, συνδυάζοντας την ανθρώπινη κρίση με τις μηχανογραφημένες πληροφορίες. Στα ημιδομημένα προβλήματα, οι αποφάσεις λαμβάνονται με τη συνεργασία των μαθηματικών/αναλυτικών εργαλείων του συστήματος και την εμπειρία και την κρίση του χρήστη. Στα μη δομημένα προβλήματα δεν υπάρχει συγκεκριμένη αντιμετώπιση. Μπορεί να είναι πρωτόγνωρα ή εξαιρετικά πολύπλοκα και γι' αυτό η λήψη αποφάσεων από τον χρήστη λαμβάνεται από την υποκειμενική του κρίση, την εκτεταμένη εμπειρία του και μερικές φορές με έμπνευση.
2. Έμφαση στην αποτελεσματικότητα της λήψης αποφάσεων (π.χ. ποιότητα, ακρίβεια, επικαιρότητα), παρά στην αποδοτικότητα (π.χ. κόστος λήψης αποφάσεων).
3. Φιλικότητα και διαδραστικότητα προς το χρήστη. Η αλληλεπιδραστική διεπαφή χρήστη - συστήματος σε φυσική γλώσσα, καθώς και οι ισχυρές γραφικές δυνατότητες μπορούν να αυξήσουν σε μεγάλο βαθμό την αποτελεσματικότητα των ΣΥΑ.
4. Παροχή υποστήριξης αποφάσεων σε όλα τα επίπεδα διοίκησης, από τα ανώτατα στελέχη έως τους διευθυντές γραμμής.
5. Ευελιξία και προσαρμοστικότητα προς τους χρήστες, ώστε να μπορούν να συνδυάζουν, να προσθέτουν, να διαγράφουν, να αλλάζουν ή να αναδιατάσσουν βασικά στοιχεία. Ένα ΣΥΑ μπορεί να είναι είτε αυτόνομο σύστημα, είτε ολοκληρωμένο σύστημα, είτε σύστημα βασισμένο στο διαδίκτυο. Επίσης, μπορούν εύκολα να τροποποιηθούν για την επίλυση άλλων, παρόμοιων προβλημάτων.
6. Έχουν αναπτυχθεί για να υποστηρίξουν την ατομική και την ομαδική λήψη αποφάσεων, όπως επίσης πολλαπλών ανεξάρτητων ή αλληλεξαρτωμένων αποφάσεων.
7. Ένα ΣΥΑ είναι ικανό να διεξάγει την ανάλυση σεναρίων ( «τι θα γίνει εάν» ) και την ανάλυση επιδίωξης στόχων. Η ανάλυση σεναρίων είναι η διαδικασία υποθετικής αλλαγής των δεδομένων του προβλήματος και η παρατήρηση των επιπτώσεων των αποτελεσμάτων. Με την ανάλυση σεναρίων, ένας διευθυντής μπορεί να κάνει αλλαγές στα δεδομένα του προβλήματος (π.χ. ο αριθμός των αυτοκινήτων για τον επόμενο μήνα) και να δει αμέσως τον αντίκτυπο στην απαίτηση για υποσυστήματα (παράθυρα, κινητήρες κ.λπ.).
8. Ένα ΣΥΑ ενσωματώνεται με διάφορα μαθηματικά, στατιστικά και επιχειρησιακά ερευνητικά μοντέλα.

Από τα παραπάνω χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν, το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός ΣΥΑ είναι ότι το σύστημα προορίζεται να παρέχει υποστήριξη για τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και όχι στην αυτοματοποίηση λήψης αποφάσεων [8], [10]–[12].

## 2.3. Κατηγορίες των ΣΥΑ

Ο Power [4] έχει ταξινομήσει τα ΣΥΑ σε πέντε τύπους. Το πλαίσιο αυτό επικεντρώνεται σε μία κύρια διάσταση με πέντε κατηγορίες και τρεις δευτερεύουσες κατηγορίες. Αναλυτικά:

1. ΣΥΑ με γνώμονα τα δεδομένα (Data-Driven DSS)
2. ΣΥΑ με γνώμονα το μοντέλο (Model-Driven DSS)
3. ΣΥΑ με γνώμονα τα έγγραφα (Document-Driven DSS)
4. ΣΥΑ με γνώμονα τη γνώση (Knowledge-Driven DSS)
5. ΣΥΑ με γνώμονα την επικοινωνία και ομαδικά ΣΥΑ (Communication-Driven and Group DSS) [4], [11]

### 2.3.1. ΣΥΑ με γνώμονα τα δεδομένα (Data-Driven DSS)

Η πρώτη κατηγορία ΣΥΑ με γνώμονα τα δεδομένα είναι μια μορφή συστήματος υποστήριξης, που επικεντρώνεται στην παροχή δεδομένων για τη λήψη αποφάσεων. Τις περισσότερες φορές αυτό γίνεται με τη μορφή μιας αποθήκης δεδομένων - μια βάση δεδομένων σχεδιασμένη να αποθηκεύει δεδομένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτρέπει την αναζήτηση και την ανάλυσή τους από τους χρήστες. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα τέτοιων συστημάτων:

- ➔ Ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οπτική αναπαράσταση γεωγραφικά εξαρτώμενων δεδομένων με τη χρήση χαρτών [4], [13].
- ➔ Το 1996 η Microsoft παρουσίασε την υπηρεσία αγοράς αυτοκινήτων μέσω του διαδικτυακού συστήματος CarPoint. Το CarPoint, συνδύαζε επικαιροποιημένες, αντικειμενικές πληροφορίες για όλες τις μεγάλες σειρές μοντέλων, που πωλούνταν στις Ηνωμένες Πολιτείες, με συνδέσμους σε ένα από τα κορυφαία διαδικτυακά προγράμματα αγοράς-μίσθωσης, το Auto-By-Tel. Το αποτέλεσμα ήταν ένας δικτυακός τόπος, που εξοικονομούσε στους χρήστες χρόνο, χρήμα και ταλαιπωρία κατά την αγορά ενός νέου αυτοκινήτου.
- ➔ Ένα άλλο παράδειγμα είναι το Stock finder, το οποίο βοηθά τους ενδιαφερόμενους να ταξινομήσουν τις μετοχές βάσει ορισμένων κριτηρίων [14].

### 2.3.2. ΣΥΑ με γνώμονα τα μοντέλα (Model-Driven DSS)

Μια δεύτερη κατηγορία, τα ΣΥΑ που βασίζονται σε μοντέλα, περιλαμβάνει συστήματα, που χρησιμοποιούν για παράδειγμα λογιστικά και χρηματοοικονομικά μοντέλα, μοντέλα αναπαράστασης και μοντέλα βελτιστοποίησης. Τα συστήματα αυτά μπορούν να είναι εξαιρετικά χρήσιμα για την πρόβλεψη των επιπτώσεων των αλλαγών στις επιχειρηματικές διαδικασίες, καθώς μπορούν να χρησιμοποιήσουν δεδομένα του παρελθόντος για να βοηθήσουν τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, ώστε να αντιμετωπίσουν πολύπλοκα σενάρια. Ένα απλό και ευρέως διαδεδομένο παράδειγμα εργαλείου τελικού χρήστη για την ανάπτυξη ΣΥΑ είναι το Microsoft Excel. Το Excel περιλαμβάνει δεκάδες στατιστικά πακέτα, ένα πακέτο γραμμικού προγραμματισμού (Solver) και πολλά μοντέλα χρηματοοικονομικής και διοικητικής επιστήμης [7], [8], [13]. Ένα ακόμη παράδειγμα είναι ο «Υπολογιστής Σχεδιασμού Συνταξιοδότησης» της Fidelity, ο οποίος βοηθά τον χρήστη να

αποφασίζει πόσο είναι το απαραίτητο ποσό που πρέπει να επενδύει κάθε μήνα για τη συνταξιοδότηση [14].

### **2.3.3. ΣΥΑ με γνώμονα τη γνώση (Knowledge-Driven DSS)**

Τα ΣΥΑ με γνώμονα τη γνώση προτείνουν ή συνιστούν δράσεις στους χρήστες. Χρησιμοποιούν επιχειρησιακούς κανόνες και βάσεις γνώσεων. Αυτά τα ΣΥΑ είναι συστήματα ανθρώπου-υπολογιστή (ιστοσελίδες, εφαρμογές, προϊόντα, υπηρεσίες κ.λπ.) με εξειδικευμένη τεχνογνωσία επίλυσης προβλημάτων. Η εμπειρογνωμοσύνη αποτελείται από γνώσεις για έναν συγκεκριμένο τομέα, κατανόηση των προβλημάτων στον τομέα αυτό και ικανότητα στην επίλυση ορισμένων από αυτά τα προβλήματα. Μια συναφής έννοια είναι η εξόρυξη δεδομένων. Ο όρος αυτός αναφέρεται σε μια δυνατότητα που περιλαμβάνεται σε αναλυτικές εφαρμογές, που αναζητούν κρυμμένα μοτίβα σε μια βάση δεδομένων. Η εξόρυξη δεδομένων είναι η διαδικασία ανάλυσης μεγάλου όγκου δεδομένων για την παραγωγή σχέσεων περιεχομένου δεδομένων [4], [7].

### **2.3.4. ΣΥΑ με γνώμονα τα έγγραφα (Document-Driven DSS)**

Τα ΣΥΑ με γνώμονα τα έγγραφα, είναι συστήματα σχεδιασμένα για να βοηθούν τους χρήστες να συλλέγουν, να ανακτούν, να ταξινομούν και να διαχειρίζονται μη δομημένα έγγραφα, συμπεριλαμβανομένων των ιστοσελίδων. Ένα ΣΥΑ με γνώμονα τα έγγραφα ενσωματώνει μια ποικιλία τεχνολογιών αποθήκευσης και επεξεργασίας για να παρέχει πλήρη ανάκτηση και ανάλυση εγγράφων. Σε αντίθεση με τα ΣΥΑ με γνώμονα τα δεδομένα, τα ΣΥΑ με γνώμονα τα έγγραφα χρησιμοποιούν δεδομένα που δεν μπορούν εύκολα να τυποποιηθούν και να αποθηκευτούν. Οι τρεις κύριες μορφές δεδομένων που χρησιμοποιούνται στα ΣΥΑ με βάση τα έγγραφα είναι οι εξής:

1. Προφορικές, δηλαδή απομαγνητοφωνημένες συνομιλίες.
2. Γραπτές, δηλαδή εκθέσεις, σημειώματα, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο και άλλη αλληλογραφία.
3. Βίντεο, δηλαδή τηλεοπτικές διαφημίσεις και δελτία ειδήσεων.

Καμία από τις παραπάνω μορφές δεν προσφέρεται εύκολα για τυποποιημένη αποθήκευση και ανάλυση σε βάσεις δεδομένων, επομένως οι χρήστες χρειάζονται εργαλεία ΣΥΑ για τη μετατροπή αυτών των δεδομένων σε γνώση, η οποία είναι πολύτιμη στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Παραδείγματα εργαλείων βασισμένων σε έγγραφα υπάρχουν στις μηχανές αναζήτησης στο διαδίκτυο, οι οποίες έχουν σχεδιαστεί για να κοσκινίζουν τεράστιους όγκους αταξινόμητων δεδομένων μέσω της χρήσης αναζητήσεων με λέξεις-κλειδιά [7], [13].

### **2.3.5. ΣΥΑ με γνώμονα την επικοινωνία και ομαδικά ΣΥΑ (Communication-Driven and Group DSS)**

Τα ΣΥΑ με βάση τις επικοινωνίες επιτρέπουν σε δύο ή περισσότερα άτομα να επικοινωνούν μεταξύ τους, να μοιράζονται πληροφορίες και να συντονίζουν τις δραστηριότητές τους. Τα Συστήματα Υποστήριξης Ομαδικών Αποφάσεων ή GDSS είναι ένας υβριδικός τύπος ΣΥΑ, που επιτρέπει σε πολλούς χρήστες να εργάζονται συνεργατικά, χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία λογισμικού. Παραδείγματα εργαλείων υποστήριξης ομάδων είναι: ηχητικές διασκέψεις, πίνακες ανακοινώσεων και διαδικτυακές διασκέψεις, κοινή χρήση εγγράφων, ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, λογισμικό συνεδριάσεων πρόσωπο με πρόσωπο που υποστηρίζεται από υπολογιστή και διαδραστικό βίντεο

[15]. Ένα λογισμικό ΣΥΑ με γνώμονα τις επικοινωνίες έχει τουλάχιστον ένα από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [4]:

- Επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ ομάδων ανθρώπων
- Διευκολύνει την ανταλλαγή πληροφοριών
- Υποστηρίζει τη συνεργασία και τον συντονισμό μεταξύ ανθρώπων
- Υποστηρίζει καθήκοντα λήψης ομαδικών αποφάσεων

### 2.3.6. Δευτερεύουσες κατηγορίες

Οι δευτερεύουσες κατηγορίες που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των ΣΥΑ περιλαμβάνουν τον σκοπό, τους στοχευόμενους χρήστες και την ικανή τεχνολογία.

ΣΥΑ μεταξύ οργανισμών (Interorganizational DSS) ή ΣΥΑ εντός ενός οργανισμού (Intraorganizational DSS)

Το πρόθεμα «intra» σημαίνει ότι το ΣΥΑ χρησιμοποιείται εντός ενός συγκεκριμένου οργανισμού, ενώ το πρόθεμα «inter» σημαίνει ότι το ΣΥΑ χρησιμοποιείται ευρύτερα. Τα περισσότερα ΣΥΑ είναι συστήματα εντός ενός συγκεκριμένου οργανισμού (Intraorganizational DSS), έχοντας σχεδιαστεί για χρήση από τους διευθυντές μιας εταιρείας ως αυτόνομα ΣΥΑ ή για χρήση από μια ομάδα διευθυντών μιας εταιρείας ως ομαδικό ή επιχειρησιακό ΣΥΑ.

Τα ΣΥΑ μεταξύ οργανισμών (Interorganizational DSS) είναι μια σχετικά νέα κατηγορία ΣΥΑ, που κατέστη δυνατή λόγω των νέων τεχνολογιών και της ταχείας ανάπτυξης του δημόσιου Διαδικτύου. Τα ΣΥΑ μεταξύ οργανισμών χρησιμοποιούνται από δύο ή περισσότερους οργανισμούς, που συνεργάζονται σε ένα συγκεκριμένο πρόβλημα ή έργο εξυπηρετώντας τους μετόχους, τους πελάτες, τους τραπεζίτες ή/και τους προμηθευτές μιας εταιρείας. Το δημόσιο διαδίκτυο δημιουργεί συνδέσεις επικοινωνίας για πολλούς τύπους συστημάτων μεταξύ οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων των ΣΥΑ. Οι εταιρείες δημιουργούν διαδικτυακά (web-based), ΣΥΑ μεταξύ οργανισμών, τα οποία οι πελάτες μπορούν να χρησιμοποιούν, για την αξιολόγηση των προϊόντων, τον έλεγχο του κόστους ή την μείωση των αποθεμάτων. Αυτά τα ΣΥΑ μπορεί να βασίζονται σε μοντέλα (model-driven DSS), σε γνώσεις (knowledge-driven DSS), σε δεδομένα (data-driven DSS), σε έγγραφα (document-driven DSS) ή σε επικοινωνίες (communication-driven DSS). Οι απευθυνόμενοι χρήστες είναι οι διευθυντές και οι εργαζόμενοι μιας επιχείρησης, για την εξυπηρέτηση πελατών, προμηθευτών ή κάποιου άλλου οργανισμού που συνεργάζονται μαζί και μερικές φορές σε πελάτες λιανικής πώλησης [4], [16], [17].

#### Function-Specific or General Purpose DSS

Τα ΣΥΑ αυτής της κατηγορίας, είναι συστήματα που κατέχουν και αντλούν γνώσεις σχετικές με αποφάσεις για μια ειδική εργασία (π.χ. μια λειτουργία μάρκετινγκ ή μια λειτουργία παραγωγής), που εκτελεί ένας οργανισμός. Ορισμένα προϊόντα ΣΥΑ έχουν σχεδιαστεί για να υποστηρίζουν καθήκοντα λήψης αποφάσεων σε μια συγκεκριμένη βιομηχανία, όπως ένα ΣΥΑ προγραμματισμού πληρωμάτων για μια αεροπορική εταιρεία. Ένα ΣΥΑ ειδικού σκοπού, έχει σημαντικό στόχο την επίλυση ενός συνήθους ή επαναλαμβανόμενου καθήκοντος λήψης αποφάσεων. Όπως και τα ΣΥΑ μεταξύ οργανισμών, έτσι και τα ΣΥΑ ειδικών εργασιών μπορεί να ανήκουν σε μία από τις πέντε βασικές κατηγορίες των ΣΥΑ. Επίσης, τα συστήματα αυτά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το σκοπό τους:

- Τα ΣΥΑ ειδικής λειτουργίας (function-specific DSS), βοηθούν ένα άτομο ή μια ομάδα να φέρει εις πέρας ένα συγκεκριμένο έργο λήψης αποφάσεων.
- Τα ΣΥΑ γενικού σκοπού (general-purpose DSS), βοηθούν στην υποστήριξη ευρέων καθηκόντων όπως η παρακολούθηση της επιχειρηματικής απόδοσης, η επιχειρηματική ευφυΐα, η διαχείριση έργων και η ανάλυση αποφάσεων.

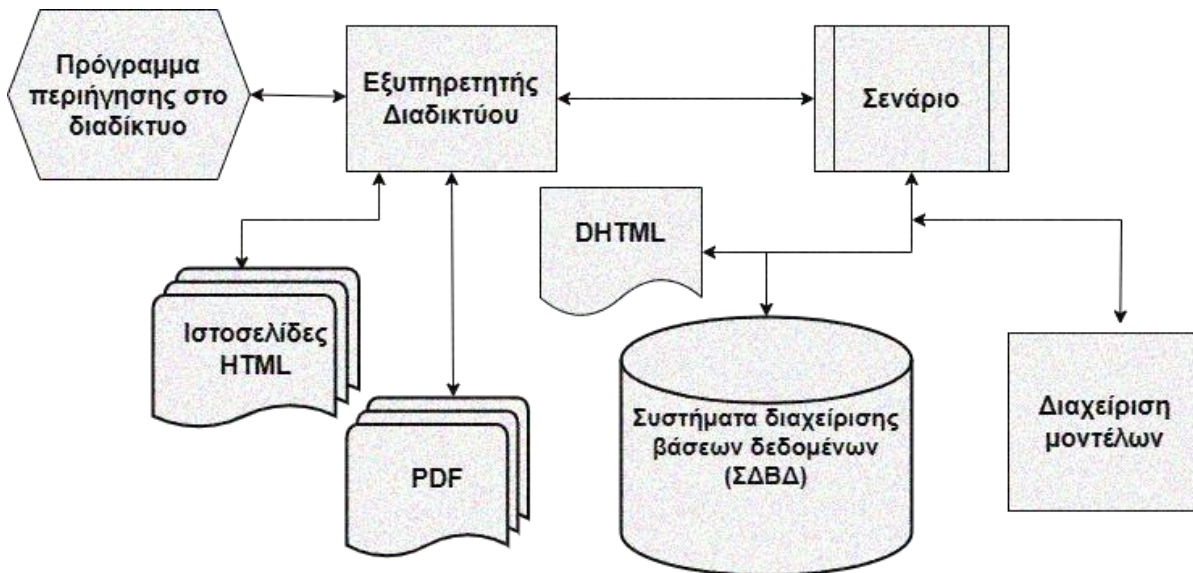
Τέλος, ορισμένα ΣΥΑ γενικού σκοπού βοηθούν στην πραγματικότητα στη δημιουργία ΣΥΑ ειδικών εργασιών. Τέτοια συστήματα έχουν ονομαστεί γεννήτριες ΣΥΑ [4], [17].

### ΣΥΑ βασισμένα στο διαδίκτυο (Web-Based DSS)

Η κυρίαρχη πλατφόρμα πληροφορικής (IT) στις επιχειρήσεις, αλλάζει από τους κεντρικούς υπολογιστές (mainframes) και τα συστήματα πελάτη-εξυπηρετητή (client/server) που βασίζονται σε LAN, σε τεχνολογίες Web και Internet. Αυτή η τεχνολογική αλλαγή διευρύνει αυτό που ο Peter Keen [4] ονόμασε «εμβέλεια πληροφοριών» και «εύρος πληροφοριών». Η εμβέλεια των ΣΥΑ και πληροφόρησης, έχει επεκταθεί σημαντικά για να εξυπηρετεί μια πολύ μεγάλη ομάδα ενδιαφερομένων. Το εύρος και η ποικιλία των πληροφοριών υποστήριξης αποφάσεων που μπορούν να αναπτυχθούν, να μεταφερθούν και να διαμοιραστούν γίνεται εξίσου πολύ μεγάλο [18]. Όλοι οι τύποι ΣΥΑ που αναφέρθηκαν πιο πάνω, μπορούν να υλοποιηθούν με τη χρήση τεχνολογιών Web [4]. Λόγω των αρχιτεκτονικών και των δικτύων του Παγκόσμιου Ιστού, παρέχονται ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες στον υπεύθυνο λήψης αποφάσεων, που επιτρέπουν στην τεχνογνωσία να συγκεντρώνει και να ελέγχει τις πληροφορίες και να τις παρέχει αποτελεσματικά στους διαχειριστές για να τις χρησιμοποιήσουν [14].

Η βασική δομή των ΣΥΑ βασισμένα στον Παγκόσμιο Ιστό που εφαρμόζεται, είναι συνήθως απλή. Η πλειοψηφία αυτών των συστημάτων, κατασκευάζονται με τη χρήση μιας αρχιτεκτονικής τριών ή τεσσάρων επιπέδων. Συγκεκριμένα:

Ένα ΣΥΑ που βασίζεται στον Παγκόσμιο Ιστό, αποτελείται από ένα μηχανογραφημένο σύστημα, που παρέχει πληροφορίες ή εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων σε έναν διαχειριστή ή αναλυτή υποστήριξης αποφάσεων, χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα περιήγησης στον Παγκόσμιο Ιστό «thin client», όπως ο FireFox, ο Internet Explorer ή ο Google Chrome. Ένας χρήστης λοιπόν, που χρησιμοποιεί ένα πρόγραμμα περιήγησης στο Web στέλνει ένα αίτημα, χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο μεταφοράς υπερκειμένου (HTTP) σε έναν διακομιστή Ιστού. Στη συνέχεια, ο διακομιστής Ιστού επεξεργάζεται το αίτημα, χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα ή ένα σενάριο. Το σενάριο μπορεί να υλοποιεί ή να συνδέεται με ένα μοντέλο, να επεξεργάζεται ένα αίτημα βάσης δεδομένων ή να μορφοποιεί ένα έγγραφο. Τέλος, τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο πρόγραμμα περιήγησης στο Web του χρήστη (Εικόνα 1). Οι διαδικτυακές εφαρμογές έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να επιτρέπουν σε κάθε εξουσιοδοτημένο χρήστη με ένα πρόγραμμα περιήγησης στο Web και μια σύνδεση στο Internet να αλληλεπιδρά με αυτές. Ο κώδικας της εφαρμογής βρίσκεται συνήθως σε έναν απομακρυσμένο διακομιστή και η διεπαφή χρήστη παρουσιάζεται στο πρόγραμμα περιήγησης στο Web του χρήστη.



Εικόνα 1, Αρχιτεκτονική ΣΥΑ βασισμένα στο διαδίκτυο [4], [17], [18]

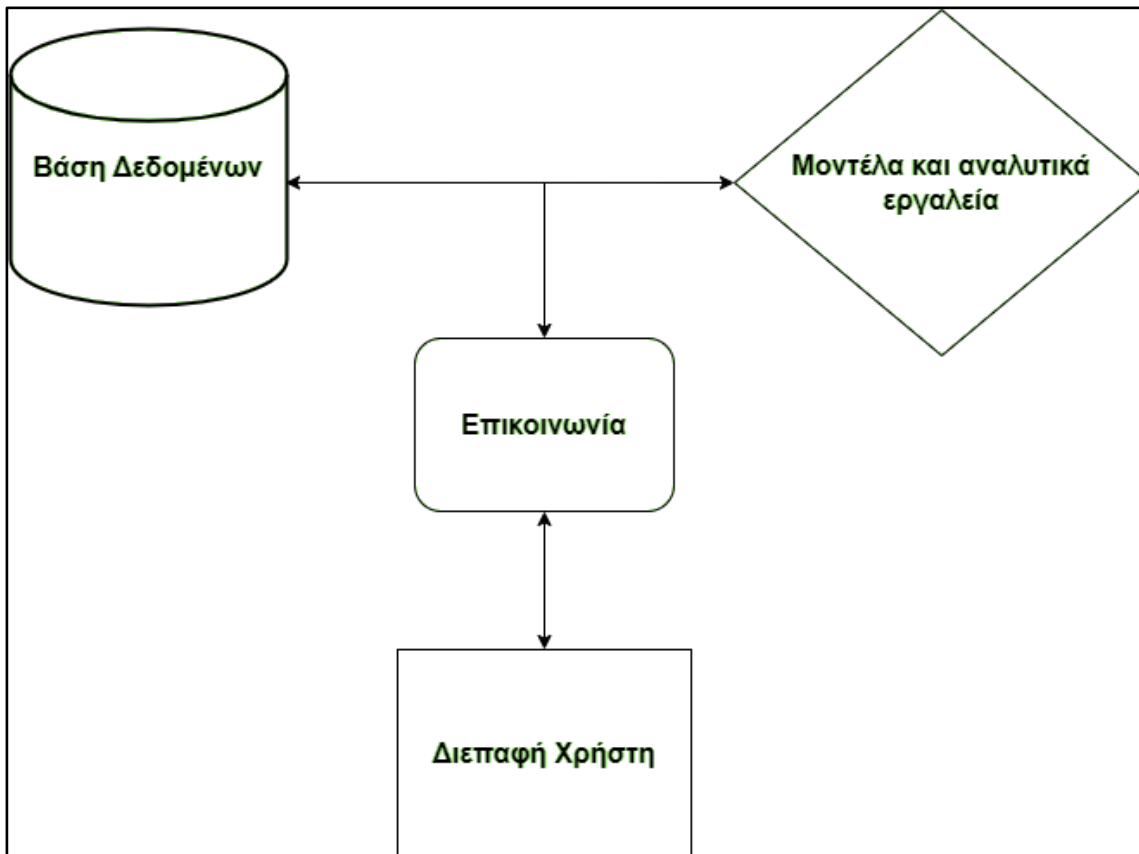
Σε πολλές εταιρείες, ένα διαδικτυακό ΣΥΑ είναι συνώνυμο ενός ενδοδικτύου. Ο όρος «web-based» σημαίνει ότι, ολόκληρη η εφαρμογή υλοποιείται με τη χρήση τεχνολογιών Web (web server, HTML, CGI, SQL server). Ο όρος «web-enabled» σημαίνει ότι βασικά μέρη μιας εφαρμογής, όπως μια βάση δεδομένων, παραμένουν σε ένα παλιό σύστημα, αλλά η εφαρμογή μπορεί να προσπελαστεί από ένα στοιχείο τεχνολογίας Web και να εμφανιστεί σε ένα πρόγραμμα περιήγησης [4], [17], [18].

## 2.4. Αρχιτεκτονική των ΣΥΑ

Αξίζει να τονιστεί, ότι η ανάλυση της αρχιτεκτονικής ενός ΣΥΑ δεν ορίζει το τι είναι ένα ΣΥΑ, αλλά διατυπώνει τη λειτουργία του, ως οντολογία που παρέχει μια κοινή γλώσσα για τον σχεδιασμό, τη συζήτηση και την αξιολόγηση του ΣΥΑ, ανεξάρτητα από τις ποικίλες παραλλαγές τους. Μία αρχιτεκτονική είναι ουσιαστικά ένα γενικό πλαίσιο οργάνωσης, για κάποιο συγκεκριμένο «αντικείμενο» προσδιορίζοντας τα κύρια στοιχεία, που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την ανάπτυξη και τη χρήση του «αντικειμένου». Για παράδειγμα, η γενική αρχιτεκτονική των σπιτιών προσδιορίζει σημαντικά στοιχεία όπως το σύστημα υδραυλικών εγκαταστάσεων, το αποχετευτικό σύστημα, το ηλεκτρικό σύστημα, ένα σύστημα επεξεργασίας αέρα κ.α. Προσδιορίζει επίσης, τις σχέσεις μεταξύ αυτών των στοιχείων. Παρομοίως, η αρχιτεκτονική των ΣΥΑ μπορεί να περιγραφεί από ένα γενικό πλαίσιο που προσδιορίζει τα βασικά στοιχεία ενός ΣΥΑ και τις μεταξύ τους σχέσεις.

Πολλοί ακαδημαϊκοί περιγράφουν την συνολική αρχιτεκτονική των ΣΥΑ με βάση τέσσερα κύρια δομικά στοιχεία: τη διεπαφή χρήστη, μια βάση δεδομένων, τα μοντέλα και τα αναλυτικά εργαλεία και την αρχιτεκτονική και το δίκτυο ΣΥΑ (επικοινωνία). Η συγκεκριμένη δομή των ΣΥΑ, παραμένει χρήσιμη επειδή εντοπίζει τα κοινά σημεία μεταξύ των διαφόρων τύπων ΣΥΑ, αλλά παρέχει μόνο μια αρχική προοπτική για την κατανόηση της πολυπλοκότητας των αρχιτεκτονικών των ΣΥΑ.





Εικόνα 2, Δομικά στοιχεία ΣΥΑ [4], [19]

1. Μια βάση δεδομένων ΣΥΑ είναι μια συλλογή δεδομένων οργανωμένων για εύκολη πρόσβαση και ανάλυση. Οι μεγάλες βάσεις δεδομένων σε επιχειρησιακή κλίμακα ΣΥΑ συχνά αποκαλούνται αποθήκες δεδομένων ή data marts.
2. Τα μαθηματικά και αναλυτικά μοντέλα αποτελούν σημαντικό μέρος πολλών ΣΥΑ, ιδίως των ΣΥΑ που βασίζονται σε μοντέλα (Model-Driven DSS). Το λογισμικό διαχείρισης μοντέλων μπορεί να είναι συγκεντρωμένο σε έναν διακομιστή με βάση δεδομένων ή συγκεκριμένα μοντέλα μπορούν να διανεμηθούν σε υπολογιστές-πελάτες. Τα Java applets και τα προγράμματα JavaScript παρέχουν ένα νέο ισχυρό μέσο για την παροχή μοντέλων στους χρήστες σε μια αρχιτεκτονική thin-client.
3. Σύμφωνα με τον Bennet [4], για έναν χρήστη που δεν είναι εξοικειωμένος με τέτοιου είδους συστήματα, ο σχεδιασμός της κατάλληλης διεπαφής χρήστη (User Interface - UI), αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα για την επιτυχία της εφαρμογής υποστήριξης αποφάσεων. Πιο συγκεκριμένα, η διεπαφή χρήστη περιλαμβάνει το σύνολο των μενού, των εικονιδίων, των εντολών, των μορφών γραφικής απεικόνισης ή/και άλλων αναπαραστάσεων που παρέχονται από ένα πρόγραμμα λογισμικού, για να επιτρέπουν στο χρήστη να επικοινωνεί και να χρησιμοποιεί σωστά την εκάστοτε εφαρμογή. Τα εργαλεία για την κατασκευή της διεπαφής χρήστη, ονομάζονται μερικές φορές γεννήτριες ΣΥΑ, εργαλεία ερωτημάτων και αναφορών και πακέτα ανάπτυξης front-end. Υπάρχουν δύο αρχιτεκτονικές διεπαφής χρήστη:
  - Η αρχιτεκτονική thin-client, όπου ο χρήστης αλληλεπιδρά χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα περιήγησης στο διαδίκτυο. Η αρχιτεκτονική αυτή έχει πολλά πλεονεκτήματα, αλλά περιορίζεται στην ευχρηστία του προγράμματος.

- Αντίθετα, στην αρχιτεκτονική thick-client, το πρόγραμμα βρίσκεται στον υπολογιστή του χρήστη του ΣΥΑ, με αποτέλεσμα την ευκολότερη χρήση.

Τέλος, είναι απαραίτητο να επισημανθεί πως μια καλά σχεδιασμένη διεπαφή χρήστη μπορεί να αυξήσει την ταχύτητα επεξεργασίας από τον άνθρωπο, τη μείωση των λαθών, την αύξηση της παραγωγικότητας και τη δημιουργία μιας αίσθησης ελέγχου από τον χρήστη.

4. Η αρχιτεκτονική των ΣΥΑ και η συνιστώσα δικτύου αναφέρεται στον τρόπο οργάνωσης του υλικού (hardware), στον τρόπο κατανομής του λογισμικού (software) και των δεδομένων στο σύστημα και στον τρόπο ενσωμάτωσης και φυσικής σύνδεσης των στοιχείων του ΣΥΑ [4], [7].

Ένας διαφορετικός τρόπος σχεδίασης της αρχιτεκτονικής ενός ΣΥΑ, μπορεί συχνά να διαγραφεί με βάση τέσσερα επίπεδα: το διάγραμμα ροής της διαδικασίας λήψης επιχειρηματικών αποφάσεων, την αρχιτεκτονική συστημάτων, την τεχνική αρχιτεκτονική και τον σχεδιασμό διεπαφής χρήστη. Αρχικά, το διάγραμμα ροής επιχειρησιακής διαδικασίας λήψης αποφάσεων αναφέρεται σε ποιες εργασίες έχουν ολοκληρωθεί. Στη συνέχεια, η αρχιτεκτονική συστημάτων αποτελείται από τα κύρια στοιχεία λογισμικού. Η τεχνική αρχιτεκτονική περιλαμβάνει τη δικτύωση, τα πρωτόκολλα και το υλικό (hardware). Τέλος, ο σχεδιασμός της διεπαφής χρήστη αφορά τις εξόδους και τις δυνατότητες του συστήματος.

Επίσης, οι δομές και τα πρότυπα για τον τρόπο χρήσης ενός προγράμματος, καθώς και οι κατηγορίες εφαρμογών που μπορούν να δημιουργηθούν στο πρόγραμμα, ορίζονται από την αρχιτεκτονική του συστήματος. Ορισμένες από τις απαιτήσεις της αρχιτεκτονικής για διάφορες κατηγορίες ΣΥΑ ακολουθούν παρακάτω:

Τύπος ΣΥΑ	Απαιτούμενο δίκτυο	Εργαλεία/Διαδικασίες
Data-Driven DSS	Συνήθως ναι	Πρόσβαση σε δεδομένα μέσω διαδικτύου
Model-Driven DSS	Μερικές φορές	Προσομοίωση, βελτιστοποίηση
Document-Driven DSS	Συνήθως ναι	Αναζήτηση και αποθήκευση αρχείων PDF, HTML, TXT
Knowledge-Driven DSS	Μερικές φορές	Στατιστικά μοντέλα, τεχνητή νοημοσύνη
Communication-Driven and Group DSS	Πάντα	Αποθήκευση μηνυμάτων, υποστήριξη διεργασιών για τα ομαδικά ΣΥΑ (GDSS)
Interorganizational DSS	Πάντα	Εξαρτάται από το σκοπό

Πίνακας 1, Θέματα πλαισίου και αρχιτεκτονικής ΣΥΑ [4]

Ο σχεδιασμός μιας προσεγγιζόμενης αρχιτεκτονικής για ένα ΣΥΑ παρέχει σε έναν οργανισμό σημαντικά οφέλη. Ένα έγγραφο αρχιτεκτονικής, βοηθά τους προγραμματιστές στη συνεργασία τους, στη βελτίωση του προγραμματισμού, στη δυνατότητα άλλων ομάδων να υλοποιούν συστήματα που

πρέπει να συνεργάζονται με το ΣΥΑ, στη διευκόλυνση των προγραμματιστών να «μεταφέρουν» τις έννοιες του συστήματος στη διοίκηση, καθώς και να γνωστοποιήσουν τις ανάγκες σε πιθανούς προμηθευτές.

Τα τεχνικά οφέλη μιας αρχιτεκτονικής ΣΥΑ περιλαμβάνουν την ικανότητα να σχεδιάζονται τα συστήματα με αποτελεσματικό και συντονισμένο τρόπο και να αξιολογούνται οι τεχνολογικές επιλογές με βάση τον τρόπο λειτουργίας τους και όχι από μια πιο αφηρημένη προοπτική. Η επίτευξη όλων αυτών των πλεονεκτημάτων απαιτεί τη στενή συνεργασία τόσο των ειδικών του πληροφοριακού συστήματος όσο και των μελλοντικών χρηστών του ΣΥΑ για την ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής [4].

## 2.5. Χωρικά Συστήματα Υποστήριξης Αποφάσεων (Spatial DSS)

Τα χωρικά συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (ΧΣΥΑ), τα οποία υποστηρίζουν τη χωρική ανάλυση και τη λήψη αποφάσεων, τυγχάνουν σήμερα μεγάλης προσοχής. Η έρευνα για τα συστήματα αυτά προέρχεται από δύο διαφορετικές πηγές: τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3) και τα ΣΥΑ. Όσον αφορά τα ΣΥΑ, η αδυναμία υποστήριξης χωρικών δεδομένων αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους περιορισμούς των συστημάτων αυτών. Από την άλλη πλευρά, τα ΓΣΠ ενώ παρέχουν δυνατότητες μοντελοποίησης, συνήθως δεν είναι επαρκείς ή άμεσα εφαρμόσιμες σε μη δομημένα χωρικά προβλήματα λήψης αποφάσεων. Έτσι λοιπόν, αξιοποιώντας την αναλυτική ικανότητα λήψης αποφάσεων από τα παραδοσιακά ΣΥΑ και των χωρικών δυνατοτήτων των ΓΣΠ, έχουν αναπτυχθεί τα ΧΣΥΑ, που ικανοποιούν τις ανάγκες των γεωγράφων και των υπευθύνων λήψης αποφάσεων υψηλού επιπέδου [20], [21].

Η ιδέα των ΧΣΥΑ αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1980, και μέχρι το τέλος της δεκαετίας τα ΧΣΥΑ συμπεριλήφθηκαν σε μια έγκυρη ανασκόπηση του τομέα των ΓΣΠ. Η τάση αυτή ήταν εμφανής στην έναρξη μιας ερευνητικής πρωτοβουλίας για τα ΧΣΥΑ το 1990 από το Εθνικό Κέντρο Γεωγραφικών Πληροφοριών και Ανάλυσης των ΗΠΑ. Κατά συνέπεια, μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990, τα ΧΣΥΑ είχαν αποκτήσει μια αναγνωρισμένη θέση στην κοινότητα των ΓΣΠ και αναγνωρίστηκαν από τον Muller [22] ως ένας αναπτυσσόμενος τομέας στην εφαρμογή της τεχνολογίας ΓΣΠ. Η ανάπτυξη των ΧΣΥΑ συνδέθηκε με την ανάγκη επέκτασης των δυνατοτήτων των ΓΣΠ για την αντιμετώπιση σύνθετων, ασαφών, χωρικών προβλημάτων λήψης αποφάσεων [23]. Η καθυστέρηση στην αναγνώριση της σημασίας των ΧΣΥΑ σε σύγκριση με άλλους τομείς ΣΥΑ, οφείλεται στις μεγαλύτερες απαιτήσεις της χωρικής επεξεργασίας στην τεχνολογία πληροφοριών [22].

Τα ΧΣΥΑ έχουν σχεδιαστεί για να βοηθούν τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να επιλύουν σύνθετα προβλήματα, όπως η επιλογή τοποθεσίας<sup>1</sup>, η πολεοδομία και η δρομολόγηση, τα οποία έχουν ισχυρή χωρική συνιστώσα. Ένα ΧΣΥΑ ενσωματώνει τόσο λειτουργίες των ΓΣΠ, όπως χαρτογραφική απεικόνιση, διαχείριση χωρικών δεδομένων, όσο και δυνατότητες αναλυτικής μοντελοποίησης, ευέλικτης διεπαφής χρήστη και σύνθετες δομές χωρικών δεδομένων. Έτσι, τα ΧΣΥΑ παρέχουν ένα πλαίσιο για την ενσωμάτωση: 1) δυνατοτήτων αναλυτικής και χωρικής

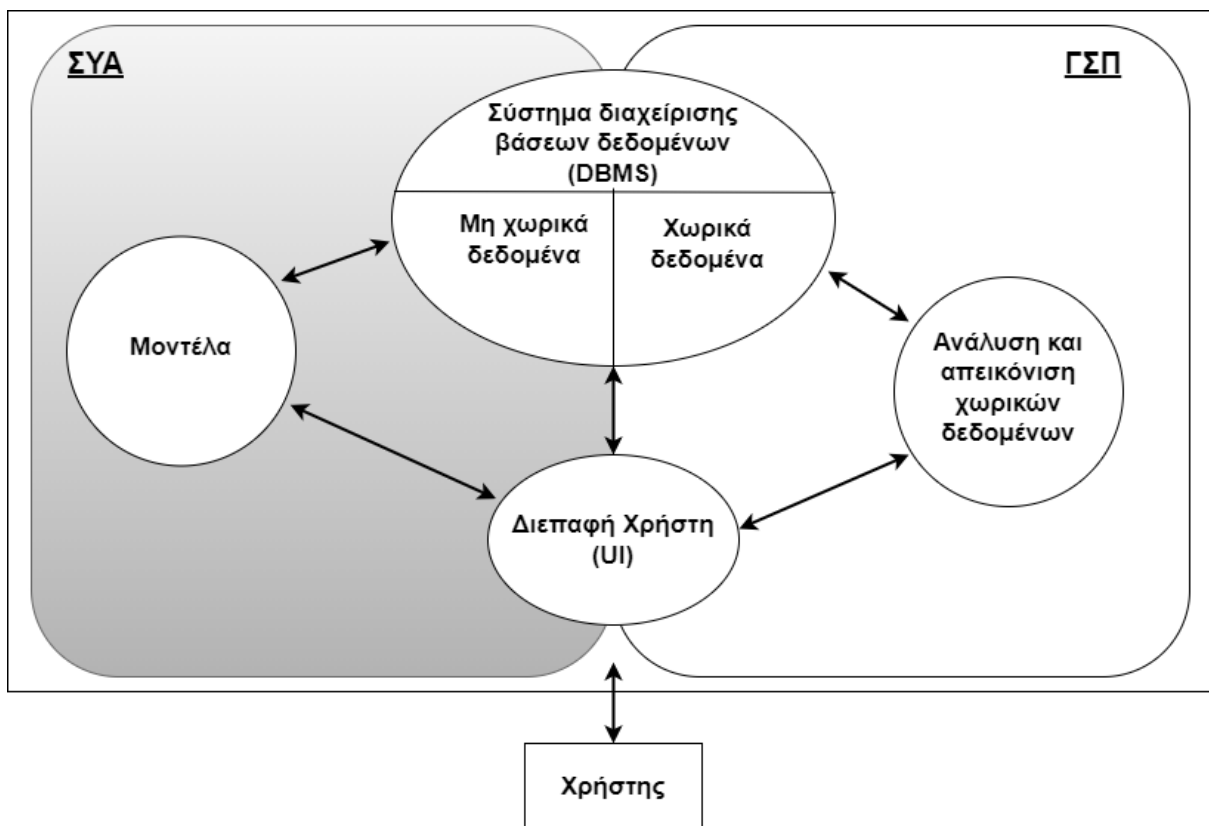
---

<sup>1</sup> Η επιλογή τοποθεσίας υποδηλώνει την πρακτική της χωροθέτησης νέων εγκαταστάσεων, τόσο για τις επιχειρήσεις όσο και για την κυβέρνηση ([https://en.wikipedia.org/wiki/Site\\_selection](https://en.wikipedia.org/wiki/Site_selection)).

μοντελοποίησης, 2) διαχείριση χωρικών και μη χωρικών δεδομένων, 3) γνώση του τομέα<sup>2</sup>, 4) δυνατότητες χωρικής απεικόνισης και 5) δυνατότητες υποβολής εκθέσεων [20].

Παρόμοια με τον ορισμό των ΣΥΑ, έτσι και στα ΧΣΥΑ δεν υπάρχει καθολικά αποδεκτός ορισμός. Σύμφωνα με τον Malczewski [21], ένα ΧΣΥΑ είναι ένα διαδραστικό σύστημα βασισμένο σε υπολογιστή, που έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει έναν χρήστη ή μια ομάδα χρηστών στην επίτευξη υψηλότερης αποτελεσματικότητας στη λήψη αποφάσεων, κατά την επίλυση ενός ημιδομημένου χωρικού προβλήματος λήψης αποφάσεων. Ο Densham [21] αναφέρει ότι τα ΧΣΥΑ είναι ρητά σχεδιασμένα για να παρέχουν στο χρήστη ένα περιβάλλον λήψης αποφάσεων που επιτρέπει την ανάλυση γεωγραφικών πληροφοριών με ευέλικτο τρόπο. Ακόμη ο Leirnik [21] και άλλοι όρισαν τα ΧΣΥΑ ως ολοκληρωμένα περιβάλλοντα, τα οποία χρησιμοποιούν τις βάσεις δεδομένων που είναι τόσο χωρικά όσο και μη χωρικά μοντέλα, εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων όπως συστήματα εμπειρογνομόνων, στατιστικά πακέτα, πακέτα βελτιστοποίησης και βελτιωμένα γραφικά για να προσφέρουν στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων ένα νέο παράδειγμα ανάλυσης και επίλυσης προβλημάτων [21]. Με λίγα λόγια, τα ΧΣΥΑ είναι παρόμοια με τα ΣΥΑ, με τη διαφορά ότι δίνεται έμφαση στην καταγραφή και επεξεργασία χωρικών δεδομένων για την επίλυση χωρικών προβλημάτων [24].

Σύμφωνα με τους Sprague και Carlson, ένα παραδοσιακό ΣΥΑ αποτελείται από τρία κύρια στοιχεία: μια βάση δεδομένων, μια βάση μοντέλων και μια διεπαφή χρήστη [25]. Από την άλλη πλευρά, τα ΓΣΠ μπορούν επίσης να θεωρηθούν ότι αποτελούνται από τρία δομικά στοιχεία: μια βάση δεδομένων, μια διεπαφή χρήστη και δυνατότητες δημιουργίας, ανάλυσης και απεικόνισης χωρικών δεδομένων.



Εικόνα 3, Δομικά στοιχεία ΧΣΥΑ [21]

<sup>2</sup> Η γνώση τομέα είναι η γνώση ενός συγκεκριμένου, εξειδικευμένου κλάδου ή τομέα, σε αντίθεση με τη γενική γνώση ([https://en.wikipedia.org/wiki/Domain\\_knowledge](https://en.wikipedia.org/wiki/Domain_knowledge)).

Σε ένα ΣΥΑ η συνιστώσα της βάσης δεδομένων ασχολείται κυρίως με τη συλλογή, ανάκτηση, διαχείριση και ανάλυση μη χωρικών δεδομένων. Αυτό το δομικό στοιχείο συνήθως δεν υποστηρίζει χαρτογραφική απεικόνιση ή χαρτογράφηση, που είναι απαραίτητα για τη λήψη χωρικών αποφάσεων. Παράλληλα, τα ΓΣΠ παρέχουν λειτουργίες συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης και χαρτογραφικής παρουσίασης χωρικών και μη χωρικών δεδομένων. Συνολικά, η βάση δεδομένων και των δύο συστημάτων περιλαμβάνει δεδομένα θέσης (π.χ. συντεταγμένες), τοπολογικά δεδομένα (π.χ. σημεία, γραμμές, πολύγωνα και σχέσεις μεταξύ τους) και περιγραφικά δεδομένα ή αλλιώς χαρακτηριστικά, που αναπαριστούν τιμές ή ιδιότητες (π.χ. γεωλογία, υψόμετρο, κατανομή των χρήσεων γης ενός δήμου, κατανομή πληθυσμού στα οικοδομικά τετράγωνα του ίδιου δήμου κ.λ.π.). Και στα δύο συστήματα, η συνιστώσα της βάσης δεδομένων τροφοδοτεί με κατάλληλες πληροφορίες τις άλλες συνιστώσες ανάλογα με τις ανάγκες [21], [23], [26], [27].

Η συνιστώσα της βάσης μοντέλων παρέχει στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων πρόσβαση σε μια ποικιλία μοντέλων που τους βοηθούν στη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Μερικά από τα παραδείγματα μοντέλων περιλαμβάνουν στατιστικά, προσομοιώσεις, βασισμένα σε διαδικασίες, μαθηματικά, βελτιστοποίηση, λογιστικά, πολυκριτήρια αξιολόγηση κ.α. Τα παραδοσιακά ΣΥΑ έχουν κατασκευαστεί για να χρησιμοποιούν διάφορες ειδικές τεχνικές μοντελοποίησης. Ωστόσο, το λογισμικό ΓΣΠ, ενώ περιέχει γενικές χωρικές αναλυτικές λειτουργίες, δεν περιέχει ειδικές δυνατότητες αναλυτικής μοντελοποίησης [21], [28].

Το στοιχείο της διεπαφής χρήστη τόσο στα ΓΣΠ όσο και στα ΣΥΑ διευκολύνει την αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη και του υπολογιστικού συστήματος. Αποτελεί ίσως το σημαντικότερο στοιχείο, καθώς οι μη διαισθητικές ή αδέξιες διεπαφές χρήστη μπορούν να απογοητεύσουν τους χρήστες και να καταστήσουν ένα λειτουργικό σύστημα από την πλευρά του διαχειριστή σε μη λειτουργικό ως προς τον χρήστη της εφαρμογής.

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, η ανάπτυξη των ΧΣΥΑ εξελίχθηκε, ώστε να χρησιμοποιούνται στοιχεία τόσο από τα ΣΥΑ όσο και από τα ΓΣΠ [21].

## **Κεφάλαιο 3: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems – GIS)**

### **3.1. Εισαγωγή**

Πολλοί τύποι λήψης αποφάσεων έχουν μια γεωγραφική (χωρική) συνιστώσα, καθώς η επιλογή του τόπου αποτελεί σημαντικό μέρος της απόφασης για το πώς. Αποφάσεις που αφορούν την απόσταση, την κατεύθυνση, τη γειτνίαση, τη σχετική θέση και άλλες ακόμη πιο σύνθετες χωρικές έννοιες, αντιμετωπίζονται από τον καθένα μας σε τακτική, αλλά τις περισσότερες φορές, διαισθητική βάση. Κατά τη διάρκεια πολλών αιώνων αναπτύχθηκε μια αποτελεσματική μέθοδος αποθήκευσης πληροφοριών σχετικά με πολύπλοκες χωρικές σχέσεις, με σκοπό την υποστήριξη λήψης αποφάσεων. Αυτή η αναλογική συσκευή αποθήκευσης χωρικών δεδομένων είναι γνωστή ως χάρτης, ο οποίος δείχνει τα γεωγραφικά αντικείμενα και τη χωρική τους σχέση [22], [29]. Η χωρική σχέση είναι η αντίληψη της σχέσης μεταξύ των αντικειμένων στο χώρο και περιέχει τις έννοιες της αλληλουχίας και της κατηγοριοποίησης. Η αλληλουχία σχετίζεται με την κατάταξη των αντικειμένων, ενώ η κατηγοριοποίηση σχετίζεται με την κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των αντικειμένων και τη δημιουργία κατηγοριών [30]. Ο πρώτος χάρτης μπορεί να δημιουργήθηκε πριν από το πρώτο

αλφάβητο, οπότε είναι σαφές ότι η δημιουργία αποτελεσματικών συσκευών αποθήκευσης και απεικόνισης χωρικών δεδομένων απασχολεί τον άνθρωπο εδώ και πολλές χιλιάδες χρόνια [29].

Μια κρίσιμη πτυχή στις φυσικές, κοινωνικές και εφαρμοσμένες επιστήμες, αποτελεί η αναπαράσταση των αντικειμένων στο χώρο. Σε όλη τη διάρκεια της ιστορίας υπήρξαν πολλές μέθοδοι χαρακτηρισμού του γεωγραφικού χώρου, ιδίως χάρτες που δημιουργήθηκαν από καλλιτέχνες, ναυτικούς και άλλους και οδήγησαν τελικά στην ανάπτυξη του τομέα της χαρτογραφίας. Δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η ψηφιακή εποχή έχει ξεκινήσει μια μεγάλη προσπάθεια αξιοποίησης των γεωγραφικών δεδομένων, αλλά όχι μόνο ως χάρτες. Ένα ΓΣΠ διευκολύνει τη συλλογή, την ανάλυση και την αναφορά χωρικών δεδομένων και σχετικών φαινομένων. Αν και η παραγωγή χαρτών είναι ένα από τα πλέον χρησιμοποιούμενα χαρακτηριστικά, οι δυνατότητες των ΓΣΠ είναι πολύ περισσότερες από την απλή χαρτογράφηση. Οι εφαρμογές των ΓΣΠ είναι σημαντικές σε έναν τεράστιο αριθμό τομέων, που κυμαίνονται από βασικές γεωγραφικές απογραφές μέχρι μοντέλα προσομοίωσης [31].

## 3.2. Ορισμός

Ο ορισμός των ΓΣΠ έχει αλλάξει με την πάροδο του χρόνου, ανταποκρινόμενος στις ευρείες εφαρμογές για τις οποίες χρησιμοποιούνται πλέον και ανταποκρινόμενος στον ορισμό όπως τον βλέπει ο τελικός χρήστης [31]. Ωστόσο, σύμφωνα με την αμερικανική πολυεθνική εταιρεία λογισμικού συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών ESRI [32], ο ορισμός των ΓΣΠ είναι ο εξής:

Ένα ΓΣΠ είναι ένα σύστημα που δημιουργεί, διαχειρίζεται, αναλύει και χαρτογραφεί όλους τους τύπους δεδομένων. Τα δεδομένα μπορούν να προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως δεδομένα ερευνών, γεωγραφικούς/τοπογραφικούς/αεροπορικούς χάρτες, δορυφορικά ή αρχειοθετημένα δεδομένα. Ακόμη, μπορεί να έχουν τη μορφή δεδομένων εντοπισμού (όπως γεωγραφικά πλάτη/μήκη) ή δεδομένων σε μορφή πίνακα (χαρακτηριστικών) [33]. Το ΓΣΠ συνδέει τα δεδομένα με έναν χάρτη, ενσωματώνοντας τα δεδομένα θέσης (πού βρίσκονται τα πράγματα) με όλους τους τύπους περιγραφικών πληροφοριών (πώς είναι τα πράγματα εκεί). Αυτό παρέχει ένα θεμέλιο για τη χαρτογράφηση και την ανάλυση που χρησιμοποιείται στην επιστήμη και σχεδόν σε κάθε βιομηχανία. Τα ΓΣΠ βοηθούν τους χρήστες να κατανοήσουν τα μοτίβα, τις σχέσεις και το γεωγραφικό πλαίσιο. Στην εποχή μας, τα ΓΣΠ χρησιμοποιούνται από εκατοντάδες χιλιάδες οργανισμούς σχεδόν σε κάθε τομέα, για τη δημιουργία χαρτών που επικοινωνούν, τη διεξαγωγή αναλύσεων, τη διανομή πληροφοριών και την επίλυση σύνθετων προβλημάτων σε όλο τον κόσμο. Η τεχνολογία ΓΣΠ εφαρμόζει τη γεωγραφική επιστήμη με εργαλεία για την κατανόηση και τη συνεργασία. Βοηθά τους ανθρώπους να επιτύχουν έναν κοινό στόχο: να αποκτήσουν αξιοποιήσιμες πληροφορίες από όλους τους τύπους δεδομένων [32].

## 3.3. Ιστορία των ΓΣΠ

Τη δεκαετία του 1960 ο Roger Tomilson επινόησε την ονομασία Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, συνδυάζοντας τη χαρτογράφηση με βάσεις δεδομένων για την απογραφή χρήσης γης του Καναδά και των σχετικών φυσικών πόρων, όπως τα εδάφη και η ξυλεία [31], [34]. Το ΓΣΠ του Καναδά του Roger Tomilson ήταν ένα σύστημα βασισμένο σε κεντρικό υπολογιστή (mainframe). Οι κεντρικοί υπολογιστές ήταν οι μοναδικοί υπολογιστές εκείνης της εποχής, οι οποίοι ήταν αργοί και δεν είχαν σχεδόν καθόλου μαζική αποθήκευση, αλλά βασίζονταν σε μαγνητική ταινία με διαδοχική πρόσβαση. Επίσης, δεν υπήρχαν δίκτυα υψηλής ταχύτητας και τα δεδομένα ανταλλάσσονταν με τη μεταφορά ταινιών. Οι εντολές εισόδου παρέχονταν σε διάτρητες κάρτες, ή ίσως επικοινωνούσαν με τη χρήση τεχνολογίας τηλετύπου με ταχύτητα 300 bits ανά δευτερόλεπτο [34]. Λόγω της

πρωτοποριακής συμβολής του Roger Tomlinson στην προέλευση και την ανάπτυξη των ΓΣΠ, του αποδίδεται συχνά η ιδιότητα του "πατέρα των ΓΣΠ" [35].

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970, η χρήση των ΓΣΠ άρχισε να επεκτείνεται, χρησιμοποιώντας κυρίως ακόμη προσεγγίσεις που βασίζονται σε κεντρικούς υπολογιστές. Αν και ξεκίνησε κατά τη δεκαετία του 1960, το Εργαστήριο Γραφικών Υπολογιστών και Χωρικής Ανάλυσης του Χάρβαρντ ήταν μία από τις κύριες ακαδημαϊκές ομάδες που επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη λογισμικού χαρτογράφησης για ευρύτερη διανομή κατά τη δεκαετία του 1970 [31]. Αυτό το λογισμικό, το SYMAP, αναπτύχθηκε αρχικά για συστήματα σε κεντρικό υπολογιστή και παρείχε πρόσβαση σε θεματική χαρτογράφηση, η οποία παρείχε πρόχειρη έξοδο χαρτών με την υπερεκτύπωση χαρακτήρων για την απόκτηση αποχρώσεων του γκρι, σε γραμμικούς εκτυπωτές [31], [34]. Τα αρχεία GBF/DIME (Geographic Base File/Dual Independent Map Encoding), τα οποία ξεκίνησαν τη δεκαετία του 1960, αλλά είναι περισσότερο γνωστά για την κυκλοφορία τους με την απογραφή των ΗΠΑ το 1980, παρείχαν τις βασικές γεωγραφικές πληροφορίες για τη χαρτογράφηση. Αυτά τα αρχεία GBF/DIME αντιστοιχίστηκαν με τη γεωγραφία της απογραφής και παρείχαν μια αναπαράσταση κόμβων και διανυσμάτων μεταξύ κόμβων (δηλ. τόξα) που όριζαν περιοχές (δηλ. οικοδομικά τετράγωνα) με περιοχές διευθύνσεων για κάθε πρόσωπο οικοδομικού τετραγώνου. Αυτή η αναπαράσταση δεδομένων ήταν μια σημαντική πρόοδος για τη χρήση των ΓΣΠ στη δημογραφική ανάλυση, σε σύγκριση με τον προσανατολισμό των CGIS στους φυσικούς πόρους.

Οι εμπορικές εφαρμογές ΓΣΠ άρχισαν να εμφανίζονται τη δεκαετία του 1970. Η αρχική έκδοση του ARC/INFO από το Ινστιτούτο Ερευνών Περιβαλλοντικών Συστημάτων (ESRI) το 1981 αποτελεί την σημαντικότερη από αυτές τις εφαρμογές. Η εποχή αυτή αναδεικνύει την ανάπτυξη των ΓΣΠ ως ένα γενικότερο εργαλείο γεωγραφικών δεδομένων και ανάλυσης σε σύγκριση με μια εξειδικευμένη ειδική εφαρμογή. Το ARC/INFO σχεδιάστηκε για να λειτουργεί σε μικροϋπολογιστές, οι οποίοι ήταν μικρά πολυχρηστικά συστήματα υπολογιστών σε σύγκριση με τα κεντρικά πλαίσια και προϋπήρχαν των προσωπικών υπολογιστών ενός χρήστη.

Τη δεκαετία του 1990 κυκλοφόρησε ένα λογισμικό ΓΣΠ που λειτουργούσε σε σταθμούς εργασίας Windows NT και τελικά σε Η/Υ. Η απελευθέρωση των αρχείων TIGER (Topologically Integrated Geographic Encoding and Reference) της απογραφής των ΗΠΑ, τα οποία ήταν ενημερωμένα από το αρχικό σύστημα GBF/DIME και το ψηφιακό γραμμικό γράφημα της Γεωλογικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ ως ψηφιακός χάρτης βάσης, ανέδειξε την αλλαγή της λεκάνης απορροής, που σχετίζεται με τη σημαντική μείωση του κόστους και την αύξηση της πρόσβασης σε βασικά υπολογιστικά και γεωγραφικά εργαλεία [31].

Στην εποχή μας, τα ΓΣΠ δίνουν στους ανθρώπους τη δυνατότητα να δημιουργήσουν τα δικά τους ψηφιακά επίπεδα χαρτών για να βοηθήσουν στην επίλυση προβλημάτων του πραγματικού κόσμου. Έχουν επίσης εξελιχθεί σε ένα μέσο για την ανταλλαγή δεδομένων και τη συνεργασία, εμπνέοντας ένα όραμα που γίνεται τώρα γρήγορα πραγματικότητα - μια συνεχής, επικαλυπτόμενη και διαλειτουργική βάση δεδομένων ΓΣΠ του κόσμου, για όλα σχεδόν τα θέματα. Σήμερα, εκατοντάδες χιλιάδες οργανισμοί μοιράζονται το έργο τους και δημιουργούν καθημερινά δισεκατομμύρια χάρτες για την αφήγηση ιστοριών και την αποκάλυψη μοτίβων, τάσεων και σχέσεων για τα πάντα.

Με τη μετακίνησή των ΓΣΠ στον ιστό και το υπολογιστικό νέφος (cloud computing) και την ενσωμάτωση με πληροφορίες πραγματικού χρόνου μέσω του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), τα ΓΣΠ έχουν γίνει μια πλατφόρμα σχετική με σχεδόν κάθε ανθρώπινη προσπάθεια - ένα νευρικό σύστημα του πλανήτη. Με τα επίκαιρα προβλήματα της αύξησης του πληθυσμού, της απώλειας της φύσης και της ρύπανσης, τα ΓΣΠ θα διαδραματίζουν όλο και πιο σημαντικό ρόλο στον τρόπο με τον οποίο κατανοούμε και αντιμετωπίζουμε αυτά τα ζητήματα και θα παρέχουν ένα μέσο για την επικοινωνία λύσεων χρησιμοποιώντας την κοινή γλώσσα της χαρτογράφησης [36].

### 3.4. Δομικά μέρη ΓΣΠ

Η διάδοση των ΓΣΠ εξηγείται από τη μοναδική τους ικανότητα να αφομοιώνουν δεδομένα από πολύ διαφορετικές πηγές, να αναλύουν τάσεις με την πάροδο του χρόνου και να αξιολογούν χωρικά τις επιπτώσεις που προκαλεί η ανάπτυξη. Υπάρχουν πέντε τύποι ερωτημάτων που μπορεί να απαντήσει ένα εξελιγμένο ΓΣΠ, τα οποία σχετίζονται με τη θέση, την κατάσταση, τις τάσεις, τα πρότυπα και τη μοντελοποίηση. Τα ΓΣΠ αποτελούνται από πέντε στοιχεία τα οποία περιλαμβάνουν το υλικό (hardware), το λογισμικό (software), τα δεδομένα, τους ανθρώπους και τις μεθόδους.

➤ Το υλικό αποτελείται από τα εξής συστήματα:

1. Έναν Ηλεκτρονικό Υπολογιστή (H/Y) και ειδικότερα την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), με την οποία συνδέονται αρκετές περιφερειακές μονάδες (συσκευές εισόδου-εξόδου). Ο H/Y αποτελεί τη ραχοκοκαλιά του υλικού των ΓΣΠ.
2. Ένα σύστημα γραφικής απεικόνισης έγχρωμων εικόνων υψηλής ανάλυσης και εικόνων κειμένου.
3. Ένα σύστημα αποθήκευσης μεγάλου όγκου χωρικών δεδομένων (κινητοί σκληροί δίσκοι, οπτικοί δίσκοι).
4. Ο ψηφιοποιητής (digitizer) και ο σαρωτής (scanner) αποτελούν τις βασικές περιφερειακές μονάδες εισόδου γεωγραφικών δεδομένων. Ο ψηφιοποιητής μετατρέπει δεδομένα αναλογικής μορφής (χάρτης) σε ψηφιακή. Ο σαρωτής είναι η πιο συνηθισμένη συσκευή εξαγωγής χαρτογραφημένων δεδομένων. Αποτελεί ένα είδος αυτόματου ψηφιοποιητή, με αποτέλεσμα την αισθητή μείωση του χρόνου εισαγωγής των δεδομένων και τη βελτίωση της ψηφιακής καταγραφής. Το μειονέκτημα των σαρωτών είναι, ότι δεν υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής κάποιων συγκεκριμένων δεδομένων και στοιχείων, με αποτέλεσμα την προσθήκη μεγάλου όγκου άχρηστης ή λανθασμένης πληροφορίας (π.χ. μουτζούρες, τυχαίες γραμμές κ.α.).
5. Οι αυτόματοι σχεδιαστές (plotters) και οι εκτυπωτές (printers) είναι οι πιο συνηθισμένες συσκευές εξόδου σε έντυπη μορφή, για μια εγκατάσταση υλικού ΓΣΠ [26], [27], [33], [37].

➤ Το λογισμικό ΓΣΠ παρέχει τις λειτουργίες και τα εργαλεία που απαιτούνται για την αποθήκευση, την ανάλυση και την εμφάνιση γεωγραφικών πληροφοριών. Υπάρχουν πολλά λογισμικά ΓΣΠ για συγκεκριμένες εφαρμογές ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη [33].

➤ Τα χωρικά και περιγραφικά (μη χωρικά) δεδομένα μπορούν να συλλεχθούν εσωτερικά ή να αγοραστούν από έναν εμπορικό πάροχο δεδομένων. Μέσα από την διαδικασία ψηφιοποίησης των χωρικών δεδομένων και εν συνεχεία των απαραίτητων διορθώσεων από πιθανά σφάλματα, τα χωρικά δεδομένα εισάγονται στο ΓΣΠ. Οι δύο βασικές αναπαραστάσεις των γεωγραφικών δεδομένων σε ένα ΓΣΠ είναι οι διανυσματικές ή οι ραστερικές (βασιζόμενα σε πλέγμα κανάβου - grid). Τα δεδομένα ράστερ είναι συχνά εικόνες που αναπαρίστανται από τον αριθμό των εικονοστοιχείων σε μορφή γραμμής και στήλης που συνθέτουν την εικόνα. Τα διανυσματικά δεδομένα βασίζονται στην ακριβή θέση των γεωγραφικών στοιχείων, όπως σημεία, γραμμές και περιοχές. Επίσης, μαζί με τα χωρικά δεδομένα εισάγονται και δεδομένα σε πίνακες (μη χωρικά), που σχετίζονται με τα αντικείμενα του χάρτη. Για την αποτελεσματική αποθήκευση, ανάκτηση και ενημέρωση αυτών των δεδομένων, ένα ΓΣΠ θα



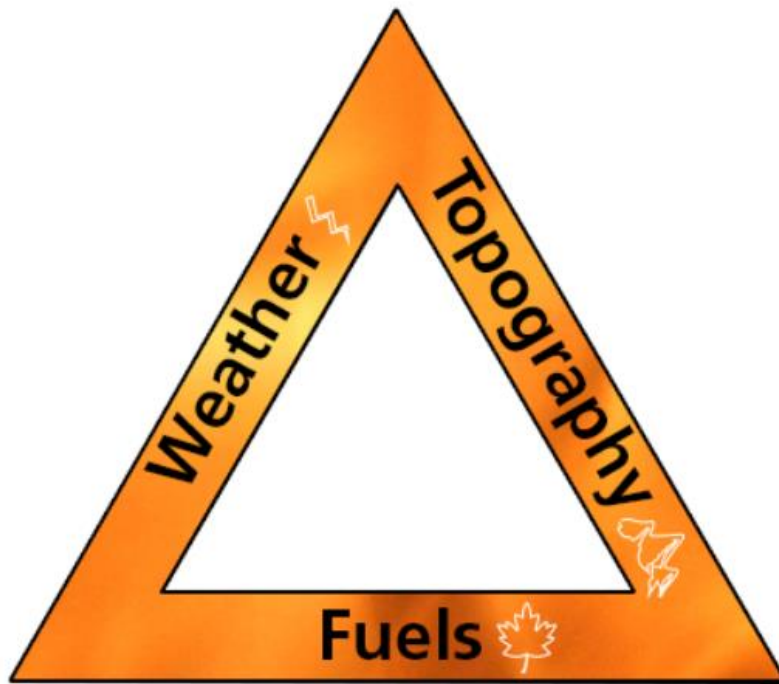
πρέπει να περιλαμβάνει ένα σύστημα διαχείρισης βάσης δεδομένων (ΣΔΒΔ) [31], [33], [37]–[39].

- Οι άνθρωποι που έχουν γνώση στο χειρισμό των ΓΣΠ είναι ικανοί να σχεδιάζουν, να διατηρούν και να αναλύουν δεδομένα, για την εκτέλεση διαφόρων εργασιών. Σε γενικές γραμμές, οι άνθρωποι που χρησιμοποιούν τα ΓΣΠ μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: ο χειριστής CAD/GIS, του οποίου η εργασία είναι η διανυσματοποίηση των αντικειμένων του χάρτη, και ο μηχανικός/χρήστης ο οποίος χρησιμοποιεί τα διανυσματοποιημένα δεδομένα για την εκτέλεση ερωτημάτων, αναλύσεων ή οποιασδήποτε άλλης εργασίας [33].
- Οι μέθοδοι περιλαμβάνουν τις οδηγίες, τις προδιαγραφές, τις διαδικασίες και τα πρότυπα για την επιτυχή λειτουργία των ΓΣΠ. Είναι δηλαδή μοντέλα και πρακτικές λειτουργίας που είναι μοναδικές σε κάθε οργανισμό. Για τη δημιουργία χαρτών και την περαιτέρω χρήση τους για οποιοδήποτε έργο, υπάρχουν διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται. Ο αυτοματοποιημένος δημιουργός «raster to vector» ή η χειροκίνητη διανυσματοποίηση σαρωμένων εικόνων αποτελούν τεχνικές δημιουργίας χάρτη [33].

## Κεφάλαιο 4: Δασικές Πυρκαγιές

### 4.1. Συμπεριφορά των πυρκαγιών

Η πυρκαγιά είναι μια ανεξέλεγκτη φωτιά που εκδηλώνεται σε άγριες περιοχές, αλλά μπορεί επίσης να αφορά αστικές ή γεωργικές περιοχές. Η κατανόηση της βασικής συμπεριφοράς πυρκαγιών αποτελεί ένα μείζον ζήτημα, πριν από την ανάληψη οποιασδήποτε δραστηριότητας μοντελοποίησης και πρόβλεψης πυρκαγιών. Με τον όρο «συμπεριφορά της πυρκαγιάς» περιγράφεται το μέγεθος, η κατεύθυνση και η ένταση της εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Γενικότερα, ορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τους τρόπους με τους οποίους η βλάστηση καίγεται, οι φλόγες αναπτύσσονται, η πυρκαγιά εξαπλώνεται και εκδηλώνει ακραίες συμπεριφορές (π.χ. δίνη φωτιάς, κηλίδες κ.λπ.). Η συμπεριφορά της πυρκαγιάς συνδέεται ευρέως με τις μετεωρολογικές συνθήκες βραχυπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα, με τις φυσικές συνθήκες (τοπική και περιφερειακή τοπογραφία και χαρακτηριστικά του τοπίου) και με τη βλάστηση. Η ανάπτυξη και η συμπεριφορά των πυρκαγιών έχουν σαφή χαρακτηριστικά, καθώς οι συνδυασμοί των παραπάνω τριών στοιχείων (καιρός, τοπογραφία, βλάστηση – τρίγωνο συμπεριφοράς πυρκαγιών) είναι σχεδόν άπειροι και το σημείο ανάφλεξης δεν είναι προβλέψιμο.



Εικόνα 4, Τα τρία σκέλη του τριγώνου της συμπεριφοράς πυρκαγιών [40].

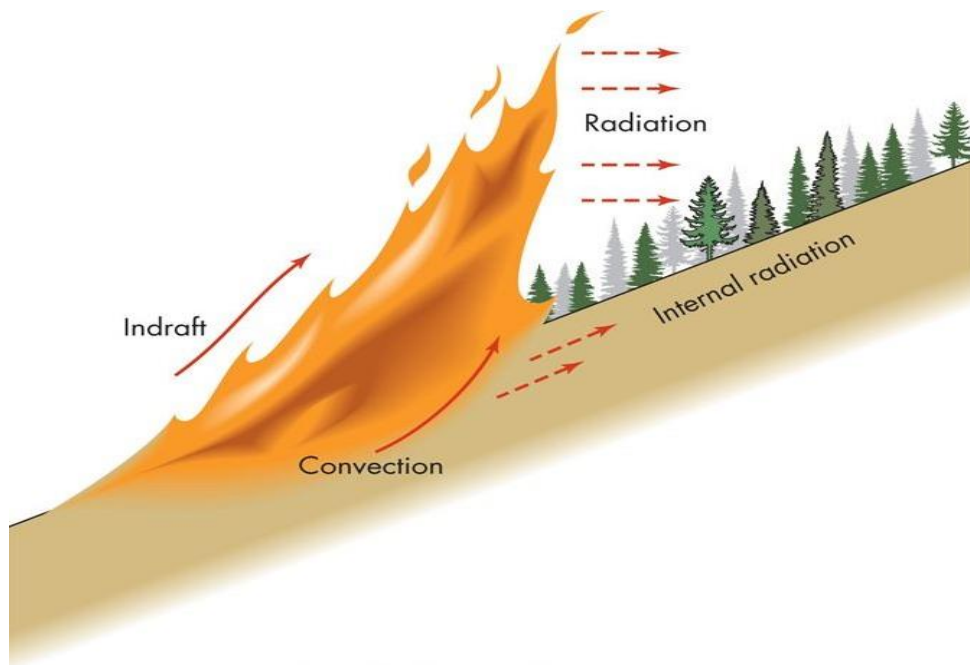
Οι τρεις αυτοί παράγοντες δε λειτουργούν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον. Αλληλεπιδρούν και σχηματίζουν ένα διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον, που καθορίζει το πλαίσιο συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Πραγματικά, κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς δεν είναι σύνηθες να καταγράφεται μόνο μία συμπεριφορά, αλλά πολλές παραλλαγές της, όχι μόνο στο χώρο, αλλά και στο χρόνο, λόγω των διαφορετικών και μεταβαλλόμενων περιβαλλοντικών συνθηκών. Μεταξύ των σημαντικότερων χαρακτηριστικών για την περιγραφή της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς είναι: ο ρυθμός εξάπλωσης, η ένταση της πυρκαγιάς, το ύψος της φλόγας, η μετάβαση σε πυρκαγιά κόμης. Επίσης, θεμελιώδης παράγοντας για την περιγραφή της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς που συχνά αγνοείται είναι ο χρόνος. Πράγματι, η πυρκαγιά είναι ένα πολύ δυναμικό φαινόμενο και όλα τα χαρακτηριστικά εξάπλωσης μπορούν να αλλάξουν συναρτήσει του χρόνου, ακόμη και αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες παραμένουν αμετάβλητες. Έτσι λοιπόν, συμπεριλαμβάνοντας τον χρόνο ως τέταρτο παράγοντα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το «τετράγωνο της συμπεριφοράς των πυρκαγιών» [41]–[43].

Στο τρίγωνο της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, η πιο σταθερή μεταβλητή στο χρόνο έχει θεωρηθεί η τοπογραφία λόγω της σχετικής στατικότητάς της. Αντίθετα, ο καιρός αποτελεί το πιο μεταβαλλόμενο στοιχείο, με γρήγορες και συχνά σημαντικές μεταβολές στο χώρο και στο χρόνο. Τέλος, η βλάστηση αλλάζει στο χώρο και στο χρόνο.

#### 4.1.1. Τοπογραφία

Σε ζώνες με σύνθετη ορειογραφία, η επίδραση της τοπογραφίας στην πυρκαγιά είναι εντονότερη απ' ό,τι σε επίπεδες περιοχές. Στο τρίγωνο της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, η επίδραση της τοπογραφίας στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς είναι πιο προβλέψιμη από την καύσιμη ύλη και τον καιρό. Η τοπογραφία περιλαμβάνει στοιχεία όπως η κλίση, η όψη, το υψόμετρο, τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά (π.χ. φαράγγια, κοιλάδες, ποτάμια). Τα στοιχεία αυτά μπορούν να επηρεάσουν το ρυθμό εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς όπως και άλλα χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς πυρκαγιάς σε άγρια περιοχή [41], [44].

Κλίση είναι ο βαθμός κλίσης μιας πλαγιάς, όπου επηρεάζει άμεσα τον ρυθμό εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς (ROS). Οι πυρκαγιές εξαπλώνονται ταχύτερα στην ανηφόρα από ό,τι στην κατηφόρα λόγω, της αυξημένης προθέρμανσης των επερχόμενων καυσίμων στην ανηφορική κλίση με την ανοδική διάδοση της θερμότητας και των φλογών [42], [44].



Εικόνα 5, Πυρκαγιά σε ανηφορική κλίση [45]

Όψη είναι η κατεύθυνση προς την οποία είναι στραμμένη μια πλαγιά. Η όψη της πλαγιάς καθορίζει την ποσότητα θέρμανσης που δέχονται τα φυτά και τα δέντρα από τον ήλιο. Οι νότιες και νοτιοδυτικές πλαγιές δέχονται περισσότερο ηλιακό φως από τις πλαγιές με βόρειο προσανατολισμό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι N/NΔ πλαγιές να είναι θερμότερες από τις B/BA πλαγιές, με χαμηλότερη σχετική υγρασία και ξηρότερη βλάστηση. Αυτές οι πλαγιές τείνουν να έχουν λιγότερη βλάστηση και συνήθως μικρότερα και αραιότερα καύσιμα. Στις N/NΔ πλαγιές είναι πιθανότερο να υπάρχουν αναφλέξεις με αυξημένη συμπεριφορά πυρκαγιάς, απ' ό,τι στις πλαγιές με βόρειο προσανατολισμό [44].

Το υψόμετρο επηρεάζει επίσης την εποχιακή ξήρανση των καυσίμων, με τα χαμηλότερα υψόμετρα να ξηραίνουν τα καύσιμα νωρίτερα μέσα στο έτος. Επιπλέον, σε μεγαλύτερα υψόμετρα, το χιόνι τείνει να παραμένει, γεγονός που επηρεάζει την υγρασία της καύσιμης ύλης και συνεπώς την έναρξη της αντιπυρικής περιόδου. Ωστόσο, έχουν μεγαλύτερη τάση να πλήττονται από κεραυνούς και επακόλουθες αναφλέξεις [42], [44].

#### 4.1.2. Μετεωρολογικές συνθήκες

Οι μετεωρολογικοί παράγοντες είναι μεταβλητοί, μερικές φορές ακόμη και απροσδόκητα, τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο και σε αντίθεση με τη βλάστηση, δεν μπορούν να ελεγχθούν ή να διαχειριστούν από τον άνθρωπο. Παρ' όλα αυτά, οι μετεωρολογικοί παράγοντες μπορούν να

προβλεφθούν και η καλή γνώση της εξέλιξης των μετεωρολογικών συνθηκών μπορεί να είναι θεμελιώδης για τις επιχειρήσεις κατάσβεσης και διαχείρισης των πυρκαγιών.

Σύμφωνα με τον Velez [41], οι μετεωρολογικές μεταβλητές μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες:

- μεταβλητές που επηρεάζουν την πιθανότητα ανάφλεξης μιας πυρκαγιάς, επειδή επηρεάζουν κυρίως την υγρασία του καυσίμου. Επομένως, αυτές οι μεταβλητές ασκούν περιορισμένη επίδραση στο ρυθμό εξάπλωσης της πυρκαγιάς.
- μεταβλητές που συντελούν στη διαμόρφωση του ρυθμού εξάπλωσης, επειδή επηρεάζουν τη ροή του οξυγόνου που είναι απαραίτητο για τις διαδικασίες καύσης και μεταφοράς θερμότητας. Επομένως, η κυρίαρχη επίδραση αυτών των μεταβλητών είναι στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς.

#### Μετεωρολογικές μεταβλητές που επηρεάζουν την ανάφλεξη της πυρκαγιάς

Η ηλιακή ακτινοβολία, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχοπτώσεις, χιονοπτώσεις, χαλάζι, χιονόβροχο, πάχνη), η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία και οι κεραυνοί, είναι μεταβλητές που επηρεάζουν την πιθανότητα ανάφλεξης μιας πυρκαγιάς.

- Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την ενεργειακή πηγή όλων των φυσικών διεργασιών. Έχει έμμεση επίδραση στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς, καθώς η ακτινοβολία επηρεάζει διάφορους παράγοντες που συνδέονται στενά με τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς όπως η υγρασία και η θερμοκρασία της καύσιμης ύλης.
- Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα μπορούν να μεταβάλουν γρήγορα την υγρασία του εδάφους και της βλάστησης, τόσο της ζωντανής όσο και της νεκρής. Η επίδραση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην υγρασία της νεκρής βλάστησης είναι σχεδόν άμεση, ενώ για τη ζωντανή βλάστηση η υγρασία μεταβάλλεται μετά από μερικές ημέρες.
- Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει άμεσα την ενέργεια που απαιτείται για την επίτευξη της θερμοκρασίας ανάφλεξης και την ευκολία με την οποία πραγματοποιείται η καύση. Στη βλάστηση, θεμελιώδη επίδραση έχει η θερμοκρασία του αέρα, τόσο για την ξηρότητα όσο και για τη θερμοκρασία των ιστών. Στη βλάστηση που θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία, η ανάφλεξη και η καύση δημιουργούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα και ο ρυθμός εξάπλωσης είναι μεγαλύτερος.
- Η περιεκτικότητα σε υγρασία του αέρα, μετρούμενη ως σχετική υγρασία, λόγω της σύνδεσής της με τις θερμοκρασίες, σε κανονικές συνθήκες παρουσιάζει μια σημαντική ημερήσια διακύμανση, με ελάχιστο τις κεντρικές και τις θερμότερες ώρες της ημέρας και μέγιστο κατά τη διάρκεια της νύχτας. Σε γενικές γραμμές, ποσοστά κάτω από 30% σχετικής υγρασίας ευνοούν την ανάφλεξη και τη διάδοση της πυρκαγιάς.
- Οι κεραυνοί αποτελούν, σε ορισμένες περιοχές (π.χ. ορεινές ζώνες των Ηνωμένων Πολιτειών), τις κύριες αιτίες ανάφλεξης πυρκαγιών. Οι πυρκαγιές αυτές μπορούν γρήγορα να λάβουν σημαντικές διαστάσεις, καθώς συνδέονται συχνά με ισχυρούς ανέμους και επερχόμενο σούρουπο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τα πυροσβεστικά σώματα να παρεμποδίζονται στις άμεσες και εναέριες παρεμβάσεις [41], [46].

## Μετεωρολογικές μεταβλητές που επηρεάζουν το ρυθμό εξάπλωσης της πυρκαγιάς

Ο άνεμος και η ατμοσφαιρική σταθερότητα είναι μεταβλητές που επηρεάζουν το ρυθμό εξάπλωσης της πυρκαγιάς.

- Ο άνεμος ως διανυσματικό μέγεθος, ορίζεται από την ένταση και την κατεύθυνσή του. Αντιπροσωπεύει την κίνηση των αερίων μαζών σε σχέση με την επιφάνεια της γης. Αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο για τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς, καθώς επηρεάζει τον ρυθμό εξάπλωσης και την έντασή της. Μπορεί ακόμη να επιτρέψει στις φλόγες να διασχίσουν αμυντικά εμπόδια ή μπορεί να διευκολύνει τη μετάβαση σε πυρκαγιές κόμης.
- Οι πυρκαγιές επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την ατμοσφαιρική κίνηση και τις ιδιότητες της ατμόσφαιρας που επηρεάζουν την κίνησή της. Οι επιφανειακοί άνεμοι με τις συνακόλουθες θερμοκρασίες και υγρασίες, όπως παρατηρούνται στην καθημερινή ζωή, λαμβάνονται συνήθως υπόψη για την αξιολόγηση του κινδύνου πυρκαγιάς. Λιγότερο προφανείς, αλλά εξίσου σημαντικές, είναι οι κατακόρυφες κινήσεις που επηρεάζουν τις πυρκαγιές με πολλούς τρόπους. Η ατμοσφαιρική σταθερότητα μπορεί είτε να ενισχύσει είτε να καταστείλει την κατακόρυφη κίνηση του αέρα. Η ίδια η θερμότητα της πυρκαγιάς δημιουργεί κατακόρυφη κίνηση, τουλάχιστον κοντά στην επιφάνεια, αλλά η συναγωγική κυκλοφορία που δημιουργείται με αυτόν τον τρόπο επηρεάζεται άμεσα από τη σταθερότητα του αέρα. Με τη σειρά της, επηρεάζεται το ρεύμα που εισέρχεται στη φωτιά σε χαμηλά επίπεδα και αυτό έχει σημαντική επίδραση στην ένταση της φωτιάς [41], [47].

### **4.1.3. Βλάστηση**

Καθοριστικό ρόλο στην ευκολία ανάφλεξης, στην ένταση και στο ρυθμό εξάπλωσης της πυρκαγιάς και στο ύψος των φλογών, συμβάλλει η βλάστηση η οποία είναι η καύσιμη ύλη πάνω στην οποία διαδίδεται η πυρκαγιά. Η βλάστηση αποτελεί το πιο μελετημένο στοιχείο από το τρίγωνο της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς και η γνώση της αποτελεί βασικό στοιχείο για την κατανόηση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Πριν από την πραγματοποίηση οποιασδήποτε ανάλυσης, διάφοροι παράγοντες, όπως η περιεκτικότητα υγρασίας στην καύσιμη ύλη, ο τύπος της και η υγεία της βλάστησης, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Το πόσο γρήγορα ή αργά καίγεται η φωτιά, εξαρτάται από την υγρασία που υπάρχει στη βλάστηση. Ευκολότερα δημιουργείται η ανάφλεξη της φωτιάς σε βλάστηση με ελάχιστη περιεκτικότητα σε υγρασία απ' ό,τι στην υγρή βλάστηση. Ωστόσο, αν και η καυστικότητα της υγρής βλάστησης είναι μικρότερη, η υγρασία επιτρέπει τη φωτιά να διατηρηθεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Ο τύπος των καυσίμων και η ποσότητα που υπάρχουν ποικίλλουν ανάλογα με τη βλάστηση. Το είδος του φυτού είναι συχνά ο πρωταρχικός παράγοντας που επιτρέπει την ταξινόμηση των πυρκαγιών ως πυρκαγιές δασών, θάμνων, ερήμων κ.ο.κ. Επίσης, η πυκνότητα της υπάρχουσας βλάστησης καθορίζει την ποσότητα της καύσιμης ύλης που υπάρχει, για τη διατήρηση της ανάφλεξης. Τέλος, η ομοιόμορφη εξάπλωση της πυρκαγιάς συμβαίνει με την παρουσία ομοιογενούς τύπου βλάστησης.

Η υγεία της βλάστησης καθορίζει την ποσότητα υγρασίας που υπάρχει στα καύσιμα. Η ζωντανή ποώδης βλάστηση είναι λιγότερο ευαίσθητη στην καύση σε σύγκριση με τα νεκρά καύσιμα. Επιπλέον, το πρότυπο χρήσης γης επηρεάζει την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις έχουν ισχυρή αντίσταση στις πυρκαγιές σε σύγκριση με την αφύλακτη γη για μεγάλο χρονικό διάστημα λόγω, της συσσώρευσης ξηρών καυσίμων (νεκροί κατακείμενοι κορμοί, κλαδάκια, κ.α.), τα οποία είναι ευάλωτα στη φωτιά [41], [42].

## 4.2. Τύποι δασικών πυρκαγιών/Μοντέλα πυρκαγιάς

Οι δασικές πυρκαγιές μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κατηγορίες: την πυρκαγιά εδάφους, την πυρκαγιά επιφανείας και την πυρκαγιά κόμης ή θόλου.

### Πυρκαγιά εδάφους

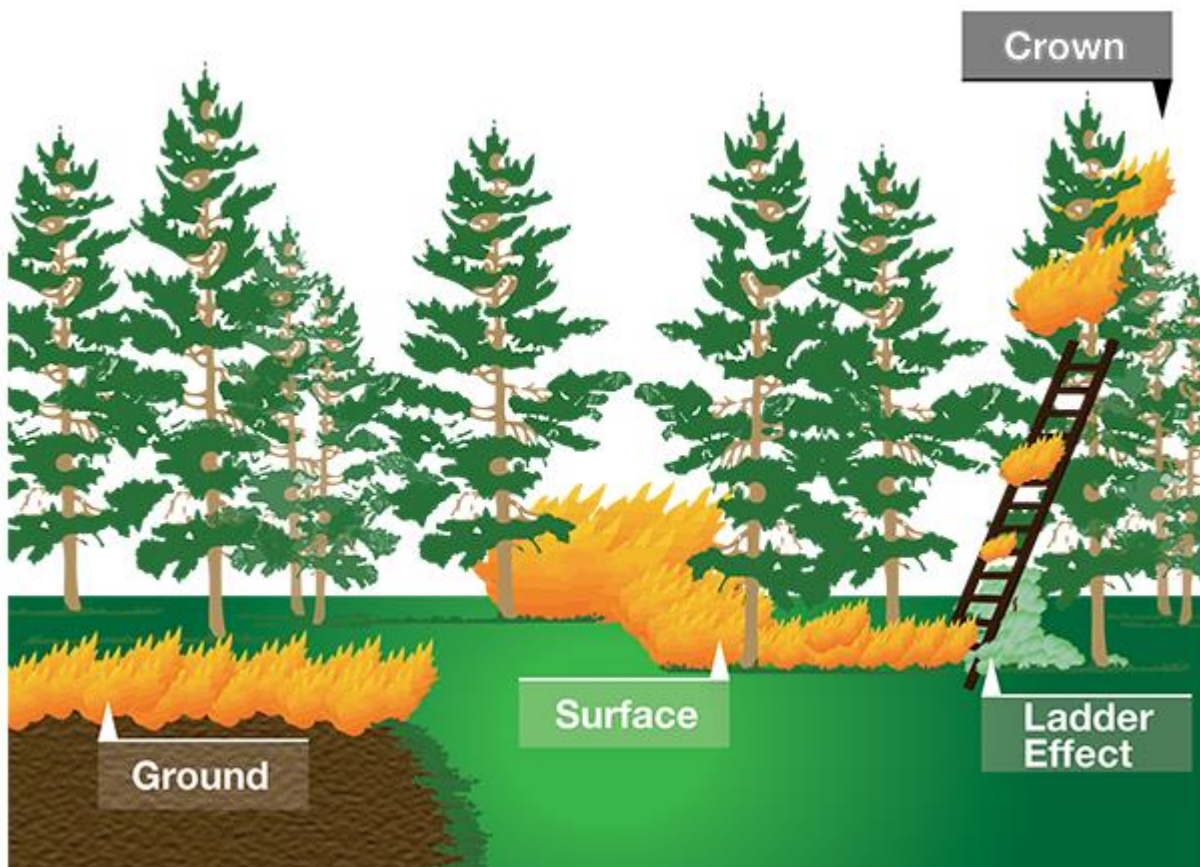
Πυρκαγιά εδάφους ονομάζεται η πυρκαγιά που καίγεται κάτω από το έδαφος με τη βοήθεια οργανικών υλικών, όπως τύρφη, αποσυντεθειμένες ρίζες κ.α. Λόγω της έλλειψης του απαραίτητου οξυγόνου, οι πυρκαγιές αυτές συνήθως διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα και συχνά απαρατήρητες, διότι παράγουν ελάχιστο έως καθόλου καπνό, αποτελώντας συχνά πηγή αναζωπυρώσεων και πρόκλησης των πυρκαγιών επιφανείας. Σε σύγκριση με τις επιφανειακές πυρκαγιές και τις πυρκαγιές κόμης, οι πυρκαγιές εδάφους είναι λιγότερο καταστροφικές. Επιπλέον, η πυρκαγιά εδάφους έχει τη δυνατότητα διεξόδου έως και 2 μέτρα κάτω από το έδαφος. Ο ρυθμός διάδοσης είναι αργός, αλλά η κατάσβεση είναι δύσκολη [42], [48], [49].

### Πυρκαγιά επιφανείας

Πυρκαγιά επιφανείας ονομάζεται η φωτιά που αναφλέγεται και διαδίδεται στην επιφάνεια του εδάφους με τη βοήθεια σπασμένων κλαδιών, χούμων (δηλαδή τη νεκρή καύσιμη ύλη που έχει αποσυντεθεί όπως βελόνες, φύλλα, κλαδάκια), χόρτων, πρέμων μαζί με άλλα είδη καύσιμης ύλης που υπάρχουν στην επιφάνεια της γης. Τα καύσιμα αυτά έχουν ύψος μικρότερο από 2 μέτρα και κυμαίνονται από μικρά δέντρα μέχρι θάμνους και ποώδη βλάστηση. Η ένταση και ο ρυθμός εξάπλωσης της πυρκαγιάς επιφανείας, δεν καθορίζονται μόνον από τα δασικά καύσιμα, αλλά και από τις υπάρχουσες καιρικές συνθήκες και την τοπογραφία, οι οποίες επηρεάζουν τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς. Συνήθως από μια πυρκαγιά επιφανείας προκαλείται η πυρκαγιά κόμης [42], [49].

### Πυρκαγιά κόμης

Πυρκαγιά κόμης ή θόλου ονομάζεται η πυρκαγιά που καίει τις κορυφές των δέντρων ή το ανώτερο στρώμα του φυλλώματος, ανεξάρτητα ή σε συνδυασμό με μια επιφανειακή πυρκαγιά. Επειδή το περιβάλλον πυρκαγιάς που αποτελείται από τη βλάστηση (καύσιμη ύλη), τις μετεωρολογικές συνθήκες και την τοπογραφία είναι πολύπλοκο και δυναμικό, αυτοί οι τύποι πυρκαγιάς εμφανίζονται συχνά ταυτόχρονα στο πλαίσιο μιας πυρκαγιάς στην ύπαιθρο και οι μεταβάσεις μεταξύ των τύπων πυρκαγιάς συμβαίνουν με την αλλαγή της καύσιμης ύλης, του καιρού και της τοπογραφίας. Τα ψηλά δέντρα και τα «καύσιμα σκάλας» αποτελούν την κύρια καύσιμη ύλη για την ανάφλεξη των πυρκαγιών κόμης. Με τα καύσιμα σκάλας η φωτιά διαδίδεται πιο εύκολα από την επιφάνεια στις κορυφές των δέντρων [42], [50].



Εικόνα 6, Τύποι δασικών πυρκαγιών [51]

Σύμφωνα με τον Van Wagner [41], μπορούν να διακριθούν δύο κατηγορίες πυρκαγιών κόμης: παθητικές και ενεργητικές. Σε αυτές τις κατηγορίες, οι ανεξάρτητες πυρκαγιές κόμης, μπορούν να προστεθούν ως τρίτη κατηγορία.

Παθητική ή Πυρπόληση	Ενεργή	Ανεξάρτητη

Εικόνα 7, Οι τρεις τύποι πυρκαγιών κόμης [52]

Στην παθητική πυρκαγιά κόμης καίγεται όλη η κόμη του δέντρου ή ένα μέρος της, αλλά η συμπεριφορά της πυρκαγιάς εξαρτάται από τη συμπεριφορά της φωτιάς στην επιφανειακή βλάστηση.

Ομοίως και ο ρυθμός εξάπλωσης της πυρκαγιάς κόμης εξαρτάται από τον ρυθμό εξάπλωσης της επιφανειακής πυρκαγιάς.

Η ενεργή πυρκαγιά κόμης, χαρακτηρίζεται από τη σταθερή διάδοση υψηλής και συνεκτικής φλόγας στο μέτωπο της φωτιάς. Η έκτασή της κυμαίνεται από την επιφάνεια του εδάφους έως και πάνω από τη κορυφή των δέντρων. Παρόλο που οι δύο κατηγορίες πυρκαγιάς είναι συνδεδεμένες (επιφάνεια και κόμη), ο ρυθμός εξάπλωσης της φωτιάς καθορίζεται αποκλειστικά από την πυρκαγιά κόμης.

Η ανεξάρτητη πυρκαγιά κόμης εξαπλώνεται από κόμη σε κόμη ανεξάρτητα από την επιφανειακή πυρκαγιά και τη θερμότητα που εκπέμπει [46].

Αξιοσημείωτη αναφορά στους τύπους των πυρκαγιών, είναι το φαινόμενο της κηλίδωσης δηλαδή η μετάδοση δασικών πυρκαγιών με καύτρες. Εκτός από την ακτινοβολία και τη συναγωγή, δηλαδή την μετάδοση της θερμότητας μεταξύ ενός στερεού και ενός κινούμενου ρευστού με την επαγωγή θερμών αερίων, οι δασικές πυρκαγιές μπορούν να προκληθούν από την εκτόξευση αναμμένων τεμαχίων καύσιμης ύλης (καύτρες) από μία ήδη υπάρχουσα πυρκαγιά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τη δημιουργία νέων σημειακών πυρκαγιών. Σύμφωνα με τον Rothermel [42], η επίδραση της κηλίδωσης στις πυρκαγιές εξαρτάται από: α) την πηγή της πυρκαγιάς, β) το πόσο μακριά θα εκτοξευθούν τα καμένα υλικά και γ) την πιθανότητα ανάφλεξης κατά την προσγγείωση. Με τη γνώση ότι η συμπεριφορά των νέων πυρκαγιών είναι συχνά απρόβλεπτη, η κηλίδωση θεωρείται ως το σοβαρότερο πρόβλημα στη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών [41], [42], [46], [49].

### 4.3. ΣΥΑ-Δασικές πυρκαγιές

Ένας από τους μεγαλύτερους κινδύνους για τη βιωσιμότητα και την αειφόρο ανάπτυξη<sup>3</sup> των δασών, αποτελούν οι καταστροφικές και επαναλαμβανόμενες δασικές πυρκαγιές (υψηλής έντασης), δημιουργώντας συνέπειες στο φυσικό και πολιτιστικό περιβάλλον, καθώς και στην οικονομία και την ποιότητα ζωής των τοπικών και περιφερειακών πληθυσμών. Για τη διατήρηση του αποθηκευμένου άνθρακα και τη συμβολή στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής από τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα των μεγάλων δασικών πυρκαγιών, η διαχείριση των δασών μπορεί να επικεντρωθεί στην πρόληψη των καταστροφικών δασικών πυρκαγιών.

Σύμφωνα με μια μελέτη του Σακελλαρίου [53], αναλύοντας την κατάσταση της τεχνολογίας των χρησιμοποιούμενων ΣΥΑ στις δασικές πυρκαγιές, έχουν ταξινομηθεί τα συστήματα αυτά ως εξής: α) συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων ή/και μαθηματικοί ή οικονομικοί αλγόριθμοι για σκοπούς χωρικής βελτιστοποίησης, β) ΣΥΑ πλήρως διαδικτυακά (Web-based DSS), περιλαμβάνοντας προσομοιωτές δασικών πυρκαγιών και εργαλεία δορυφορικής τεχνολογίας για την άμεση ανίχνευση και πρόβλεψη της εξέλιξης των δασικών πυρκαγιών και γ) ΣΥΑ πλήρως ενσωματωμένα σε πλατφόρμες ΓΣΠ, τα οποία διαθέτουν εργαλεία χειρισμού, επεξεργασίας και ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων, αναπτύσσοντας στρατηγικά και επιχειρησιακά σχέδια [9], [53].

#### ΣΥΑ που βασίζονται σε συστήματα διαχείρισης βάσεων δεδομένων και μαθηματικούς/οικονομικούς αλγόριθμους

Ένα από τα πρώτα ΣΥΑ που αξιοποίησε τη χρήση διαφόρων τεχνολογικών εργαλείων και ο πρόδρομος των επόμενων και τεχνολογικά προηγμένων ΣΥΑ για την πρόληψη και την καταπολέμηση των δασικών πυρκαγιών είναι το Σύστημα Πληροφοριών Διαχείρισης Πυρκαγιών

<sup>3</sup> Γνώμονας της αειφορίας είναι η μέγιστη δυνατή απολαβή αγαθών από το περιβάλλον, χωρίς όμως να διακόπτεται η φυσική παραγωγή αυτών των προϊόντων σε ικανοποιητική ποσότητα και στο μέλλον.



(FMIS). Παρόλο που ένα περιβάλλον έκτακτης ανάγκης παρουσιάζει ένα ευρύ φάσμα καταστάσεων, εντούτοις, οι διαφορές δεν απαιτούν ριζικά διαφορετικά σχέδια. Ο πυρήνας αυτού του συστήματος είναι η ενσωμάτωση στις βάσεις δεδομένων του, ορισμένο αριθμό προεπεξεργασμένων σεναρίων που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα περιστατικά πυρκαγιάς. Αυτό εξαλείφει την ανάγκη σύνταξης νέων σεναρίων από την αρχή (π.χ. λόγω της αλλαγής των μετεωρολογικών δεδομένων, ανίχνευση πυρκαγιάς κ.α.), ειδικά όταν εργάζονται σε πραγματικό χρόνο [53], [54].

### **ΣΥΑ με βάση προσομοιωτές συμπεριφοράς πυρκαγιάς**

Τα μαθηματικά μοντέλα του Rothermel [53] αποτελούν τα θεμέλια της προσομοίωσης πυρκαγιάς, για την εκτίμηση της εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Επιπλέον, ανέπτυξε μοντέλα για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς κόμης. Αυτά τα μοντέλα πυρκαγιάς υπάρχουν σε πολλούς σύγχρονους προσομοιωτές, όπως το Farsite, αναδεικνύοντας τη συμβολή και τη σημασία τους στην επιστήμη των δασικών πυρκαγιών.

Το Farsite είναι ένα ντετερμινιστικό λογισμικό προσομοίωσης πυρκαγιών, που χρησιμοποιεί τις αρχές του ελλειπτικού μοντέλου<sup>4</sup> ανάπτυξης των μετώπων των δασικών πυρκαγιών. Έχει τρεις κύριες χρήσεις:

- Προσομοίωση προηγούμενων πυρκαγιών
- Προσομοίωση ενεργών πυρκαγιών
- Προσομοίωση πιθανών πυρκαγιών

Η προσομοίωση των πυρκαγιών του παρελθόντος βασίζεται σε γνωστά πρότυπα ανάπτυξης πυρκαγιών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, τη δημιουργία εμπιστοσύνης στη χρήση του προσομοιωτή, για την πρόβλεψη της ανάπτυξης ενεργών πυρκαγιών. Το Farsite περιλαμβάνει μοντέλα συμπεριφοράς πυρκαγιάς υπολογίζοντας τη συμπεριφορά των πυρκαγιών επιφανείας και κόμης, καθώς και την κηλίδωση, την επιτάχυνση της πυρκαγιάς από σημειακή πηγή ανάφλεξης και την υγρασία της καύσιμης ύλης. Μία πυρκαγιά αναπτύσσεται ξεκινώντας από ένα σημείο ανάφλεξης το οποίο εξελίσσεται συναρτήσει του ανέμου και της κλίσης, καθώς και του ρυθμού εξάπλωσης της πυρκαγιάς και του χρονικού βήματος. Οι κύριες είσοδοι του Farsite, αποτελούνται από τα γεωμορφολογικά και μετεωρολογικά δεδομένα, τα καύσιμα και τα χαρακτηριστικά του ανέμου. Αντίστοιχα, οι κύριες έξοδοι του προσομοιωτή είναι η περίμετρος της πυρκαγιάς, η εξάπλωση και η ένταση της πυρκαγιάς [53], [55].

### **ΣΥΑ που βασίζονται σε πλατφόρμες ΓΣΠ**

Για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας των σταδίων διαχείρισης των πυρκαγιών, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού, της διαχείρισης και της λήψης αποφάσεων, τα τελευταία χρόνια έχουν χρησιμοποιηθεί τα ΣΥΑ με βάση τα ΓΣΠ. Σύμφωνα με τους Kucuk και Bilgili [56], με την τεχνολογία των ΓΣΠ, είναι ευκολότερη, οικονομικότερη και ταχύτερη από τις παραδοσιακές προσεγγίσεις η απόκτηση και ανάλυση πληροφοριών για τις δραστηριότητες πυρόσβεσης και για προληπτικά μέτρα πριν από την πυρκαγιά και για τις επιχειρήσεις μετά την πυρκαγιά.

---

<sup>4</sup> Ο Richards [55] κατέληξε αναλυτικά σε μια διαφορική εξίσωση, που διαδίδει οποιοδήποτε σημείο χρησιμοποιώντας ένα ελλειπτικό σχήμα πυρκαγιάς. Η τεχνική του Richards χρησιμοποιείται στο μοντέλο FARSITE και χρησιμοποιεί τις κορυφές του πολυγώνου της περιμέτρου της πυρκαγιάς ως σημεία διάδοσης.

➤ ΣΥΑ με βάση τον αλγόριθμο Dijkstra και την ανάλυση δικτύων

Για την εύρεση της συντομότερης διαδρομής μεταξύ δύο σημείων ο αλγόριθμος του Dijkstra χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Ένας από τους τομείς που εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος Dijkstra, είναι σε προσομοιώσεις δασικών πυρκαγιών, καθώς σύμφωνα με τους φυσικούς νόμους, μια πυρκαγιά ακολουθεί τη συντομότερη διαδρομή. Το σκεπτικό βασίζεται στο γεγονός ότι η φωτιά θα αναφλέξει την πλησιέστερη καύσιμη ύλη, καθώς εξελίσσεται κατά μήκος της δασικής επιφάνειας.

Η ανάλυση δικτύων αποτελεί μία από τις πιο γνωστές εφαρμογές του αλγορίθμου του Dijkstra, η οποία συνήθως αναφέρεται στα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου. Πολλοί ερευνητές έχουν διερευνήσει τη βέλτιστη (συντομότερη) διαδρομή, κυρίως για σκοπούς μεταφοράς και έκτακτης ανάγκης. Ένα παράδειγμα είναι η εύρεση των συντομότερων αποστάσεων μεταξύ πυρκαγιών και πυροσβεστικών υπηρεσιών για την ελαχιστοποίηση του χρόνου διέλευσης [53].

## **4.4. Υπάρχοντα συστήματα μοντελοποίησης καύσιμης ύλης και συμπεριφοράς πυρκαγιάς**

Σημαντικό ρόλο στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών, αποτελούν τα μαθηματικά μοντέλα (ή αλλιώς συστήματα μοντελοποίησης) πρόβλεψης της συμπεριφοράς των πυρκαγιών και των επιπτώσεών τους. Η χρήση αυτών των συστημάτων σε συνδυασμό με την προσωπική εμπειρία από πυρκαγιές και τη βασική κατανόηση των μοντέλων πυρκαγιάς, μπορούν να εφαρμοστούν με σωστές προβλέψεις σε μια σειρά από δραστηριότητες διαχείρισης πυρκαγιών, συμπεριλαμβανομένης της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών, το σχεδιασμό προβλεπόμενων πυρκαγιών και της αξιολόγησης του κινδύνου καύσιμης ύλης [57].

### **FLAMMAP**

Το σύστημα ανάλυσης και χαρτογράφησης πυρκαγιών FlamMap είναι μια επιτραπέζια εφαρμογή ανάλυσης πυρκαγιών που εκτελείται σε περιβάλλον λειτουργικού συστήματος Windows 64-bit. Περιγράφει τη δυναμική συμπεριφορά πυρκαγιάς, υπό σταθερές περιβαλλοντικές συνθήκες (υγρασία καύσιμης ύλης, καιρικές συνθήκες). Η ένταση της πυρκαγιάς, ο ρυθμός διάδοσης της πυρκαγιάς, το μήκος της φλόγας, η δραστηριότητα πυρκαγιάς κόμης και άλλα χαρακτηριστικά, μπορούν να προσομοιωθούν στο πρόγραμμα. Η συμπεριφορά πυρκαγιάς υπολογίζεται για κάθε εικονοστοιχείο εντός του αρχείου τοπίου ανεξάρτητα. Επίσης, μπορεί να προσομοιώσει την ανάπτυξη και την εξάπλωση της πυρκαγιάς και πιθανές αναφλέξεις υπό σταθερές περιβαλλοντικές συνθήκες (καιρικές συνθήκες και υγρασία καύσιμης ύλης).

Αξιοσημείωτη είναι η αναφορά των συστημάτων που περιλαμβάνει το FlamMap:

- FARSITE (Fire Area Simulator)
- FlamMap BASIC
- Minimum Travel Time
- Treatment Optimization Model
- Conditional Burn Probability

Το FARSITE, ενσωματωμένο πλέον στο FlamMap, έχει τη δυνατότητα υπολογισμού της ανάπτυξης και της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους, υπό ετερογενείς συνθήκες καυσίμων, εδάφους, υγρασίας καυσίμων και καιρού.

Η βασική λειτουργία του προγράμματος (FlamMap BASIC) είναι η δημιουργία χαρτών ράστερ με τα πιθανά χαρακτηριστικά συμπεριφοράς της πυρκαγιάς (όπως ο ρυθμός εξάπλωσης, το μήκος της φλόγας, η ένταση της γραμμής πυρκαγιάς και η δραστηριότητα πυρκαγιάς κόμης) και τις περιβαλλοντικές συνθήκες (ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητες ανέμου στο μέσο της φλόγας και υγρασία νεκρής καύσιμης ύλης) σε ολόκληρο το τοπίο. Αυτοί οι χάρτες ράστερ μπορούν να προβληθούν στο FlamMap ή να εξαχθούν για χρήση σε ένα ΓΣΠ ή σε έναν επεξεργαστή κειμένου.

Η λειτουργία του ελάχιστου χρόνου διαδρομής (MTT) είναι ένα δισδιάστατο μοντέλο ανάπτυξης πυρκαγιάς, χρησιμοποιώντας χωρικές πληροφορίες της τοπογραφίας και της καύσιμης ύλης. Αναζητώντας το σύνολο των διαδρομών με τους ελάχιστους χρόνους εξάπλωσης της πυρκαγιάς από αναφλέξεις σημείων, γραμμών ή πολυγώνων, υπολογίζει την ανάπτυξη και τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς.

Το μοντέλο βελτιστοποίησης της επεξεργασίας καυσίμων επιτυγχάνεται, χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο, που προσπαθεί να εμποδίσει τις κύριες οδούς του μοντέλου MTT, με κατεργασίες καυσίμου οι οποίες είναι σχεδιασμένες για την εξασθένιση των πυρκαγιών. Για να επιχειρηθεί αυτή η διαδικασία απαιτούνται διάφορες σημαντικές παραδοχές, όπως η εύρεση θέσεων επεξεργασίας καυσίμων που επιβραδύνουν το ρυθμό ανάπτυξης μεγάλων πυρκαγιών. Αυτή η παραδοχή, αποτελεί τον ειδικό σκοπό της βελτιστοποίησης, αν και υπάρχουν πολλοί σκοποί, για την επεξεργασία των καυσίμων, όπως η παροχή τοπικών οφελών σε μια συγκεκριμένη περιοχή αντιμετώπισης. Παρ' όλα αυτά, η εξασθένιση της ανάπτυξης μεγάλων πυρκαγιών, επιτυγχάνεται με τη συλλογική επίδραση πολλών παραγόντων που εμφανίζονται στο τοπίο [5], [58], [59].

Στο FlamMap είναι ενσωματωμένα τα παρακάτω μοντέλα συμπεριφοράς πυρκαγιάς [5]:

1. το μοντέλο εξάπλωσης επιφανειακής πυρκαγιάς του Rothermel (1972)
2. το μοντέλο έναρξης πυρκαγιάς κόμης του Van Wagner (1977)
3. το μοντέλο εξάπλωσης πυρκαγιάς κόμης του Rothermel (1991)
4. το μοντέλο κηλίδωσης του Albin (1979)
5. η μέθοδος υπολογισμού της πυρκαγιάς κόμης του Finney (1998) ή των Scott και Reinhardt (2001)
6. το μοντέλο υγρασίας νεκρής καύσιμης ύλης του Nelson (2000). Αυτό επιτρέπει την προσαρμογή της νεκρής καύσιμης ύλης σε κάθε εικονοστοιχείο με βάση το υψόμετρο, την κλίση, την όψη, τη σκίαση και τις καιρικές συνθήκες .

## **WFDSS**

Το ΣΥΑ για πυρκαγιές στην άγρια φύση (Wildland Fire Decision Support System) βοηθά τους διαχειριστές και τους αναλυτές πυρκαγιών στη λήψη στρατηγικών και τακτικών αποφάσεων για περιστατικά πυρκαγιάς. Το WFDSS αποτελεί ένα ενιαίο σύστημα, ενσωματώνοντας τις διάφορες εφαρμογές που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση περιστατικών, βελτιώνοντας με αυτόν τον τρόπο τις διαδικασίες ανάλυσης και υποβολής εκθέσεων. Επίσης, είναι ένα ΣΥΑ βασισμένο στο διαδίκτυο

(Web-based DSS), για ευκολότερη απόκτηση δεδομένων με τον συνδυασμό εφαρμογών γραφείου μοντελοποίησης πυρκαγιών. Η διαδικασία λήψης αποφάσεων από τους διαχειριστές και αναλυτές πυρκαγιών, τεκμηριώνεται με ακρίβεια για όλους τους τύπους δασικών πυρκαγιών, καθώς παρέχεται με έναν εύκολο τρόπο από το σύστημα. Ως αποτέλεσμα, τα αποτελέσματα των αναλύσεων επισυνάπτονται στο σημείο λήψης αποφάσεων και περιλαμβάνονται στην τελική έκθεση του συμβάντος. Επίσης, ως ΣΥΑ βασισμένο στο διαδίκτυο, είναι ευκολότερη η ανταλλαγή αναλύσεων και εκθέσεων σε όλα τα επίπεδα του ομοσπονδιακού οργανισμού δασικών πυρκαγιών. Τέλος, εισάγει τις οικονομικές αρχές στη διαδικασία λήψης αποφάσεων για τις πυρκαγιές [60].

### **BehavePlus**

Το σύστημα μοντελοποίησης πυρκαγιάς BehavePlus είναι μια εφαρμογή γραφείου, που χρησιμοποιείται ευρέως στην πρόβλεψη δασικών πυρκαγιών. Χρησιμοποιείται για διάφορες εργασίες, όπως η πρόβλεψη της συμπεριφοράς των πυρκαγιών, η μελέτη πυρκαγιών, ο σχεδιασμός προβλεπόμενων πυρκαγιών, η κατανόηση του μοντέλου πυρκαγιάς, η εκτίμηση του κινδύνου καύσιμης ύλης, η επικοινωνία και η έρευνα. Το σύστημα είναι βασισμένο σε μαθηματικά μοντέλα, που περιγράφουν τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς και το περιβάλλον της πυρκαγιάς, προσομοιώνοντας το ρυθμό εξάπλωσης, το ύψος καύσης, την απόσταση εντοπισμού, τη θνησιμότητα των δέντρων, τον συντελεστή προσαρμογής του ανέμου, την υγρασία καυσίμου, καθώς και άλλες μεταβλητές. Με αυτόν τον τρόπο, χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς σε πολλαπλές καταστάσεις [61]–[63].

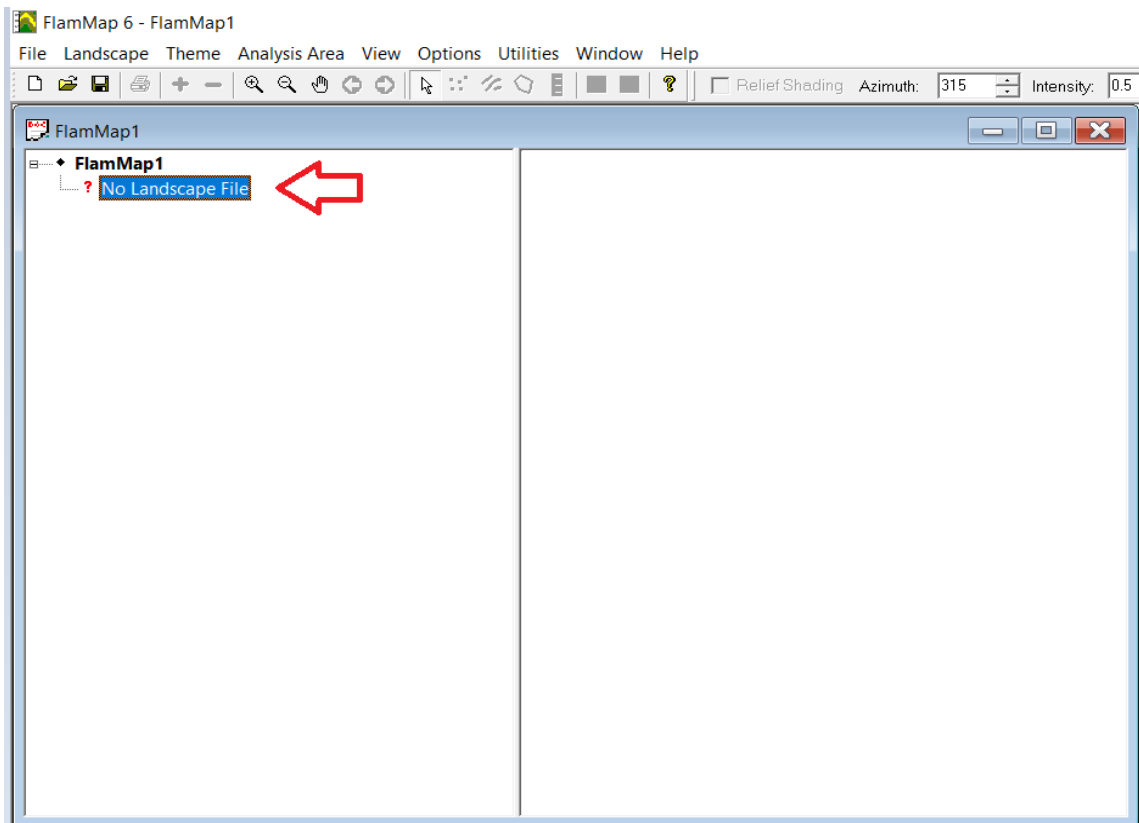
## **Κεφάλαιο 5: Υλοποίηση Μοντελοποίησης**

Η προσομοίωση ανάπτυξης πυρκαγιάς ορίζεται ως η μοντελοποίηση της εξάπλωσης και της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς σε τοπία με ετερογενή καύσιμα, τοπογραφία και καιρικές συνθήκες [64]. Στο πλαίσιο προσομοίωσης πυρκαγιάς από το πρόγραμμα FlamMap, έχει επιλεγεί η περιοχή του Χορτιάτη Θεσσαλονίκης. Αρχικά, θα αναλυθούν οι διαδικασίες εισαγωγής και ανάλυσης των παραμέτρων προσομοίωσης Farsite στο πρόγραμμα FlamMap. Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση πυρκαγιάς και θα εξεταστούν λεπτομερώς τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Τέλος, αυτά τα αποτελέσματα θα προβληθούν στο ελεύθερο και ανοικτού κώδικα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών QGIS (Κεφάλαιο 6).

### **5.1. Εισαγωγή παραμέτρων προσομοίωσης Farsite**

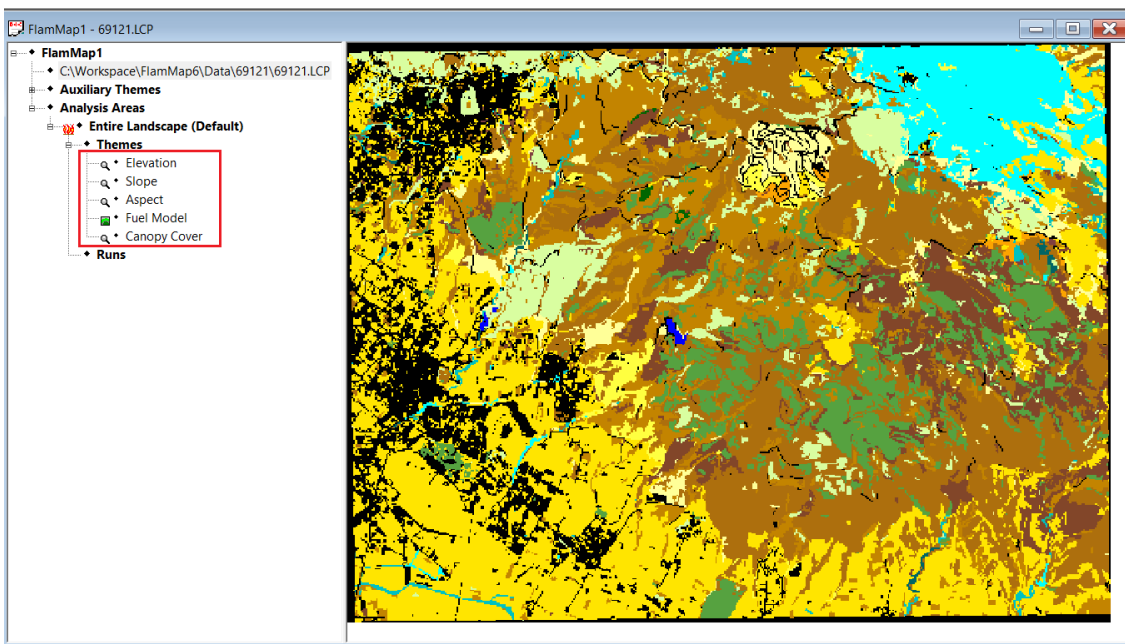
Για κάθε προσομοίωση Farsite, τα δεδομένα που απαιτούνται αποτελούν τα τρία σκέλη του τριγώνου της συμπεριφοράς πυρκαγιών: τοπογραφία, καιρός και καύσιμη ύλη. Η τοπογραφία και η καύσιμη ύλη απαιτούνται ως χωρικά θέματα, ενώ τα δεδομένα καιρού παρέχονται γενικά ως «ροές» ή πίνακας τιμών με την πάροδο του χρόνου. Απαραίτητη προϋπόθεση των χωρικών δεδομένων, είναι η παροχή τους από ένα ΓΣΠ [64].

Ξεκινώντας την εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα FlamMap, εισάγεται το τοπίο μελέτης για την προσομοίωση πιθανών πυρκαγιών με το αρχείο Landscape (.LCP).



Εικόνα 8, Εισαγωγή τοπίου

Το τοπίο (αρχείο Landscape) περιέχει τα χωρικά δεδομένα, που περιγράφουν την καύσιμη ύλη και την τοπογραφία και πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον πέντε βασικά θέματα δεδομένων σε μορφή ράστερ. Αυτά τα θέματα είναι η κλίση, η όψη της πλαγιάς του εδάφους, το υψόμετρο, το μοντέλο καύσιμης ύλης και η κάλυψη θόλου [59], [65].



Εικόνα 9, Το τοπίο της περιοχής μελέτης

Τα τρία πρώτα θέματα δεδομένων (χάρτες ράστερ) που αφορούν την τοπογραφία του τοπίου, έχουν αναλυθεί στο κεφάλαιο 4.

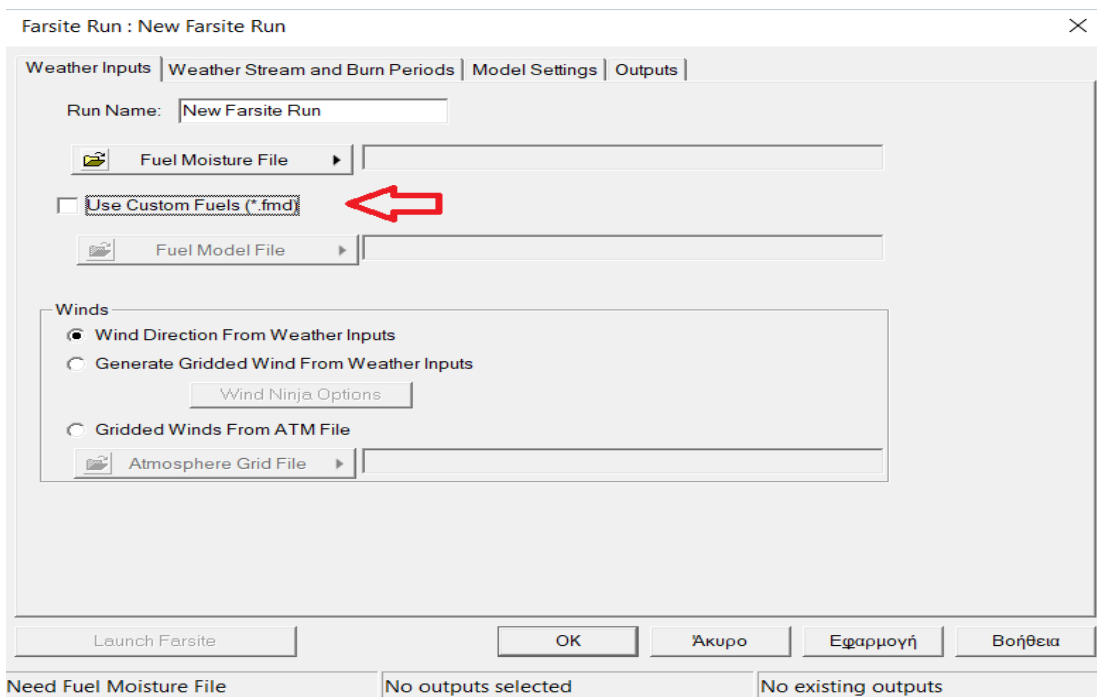
Το θέμα πλέγματος «Fuel Model» αποτελείται από διάφορα είδη καύσιμης ύλης (μοντέλα), τα οποία ταξινομούνται από έναν ακέραιο δείκτη για κάθε μοντέλο καυσίμου. Σύμφωνα με τον Anderson [66] τα πρώτα 13 μοντέλα καύσιμης ύλης για τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς, αφορούν τη σοβαρή περίοδο της αντιπυρικής περιόδου, όταν οι πυρκαγιές θέτουν μεγαλύτερα προβλήματα ελέγχου.

- |    |  |
|----|--|
| 1  | → Κοντό γρασίδι (1 πόδι)                         |
| 2  | → Ξυλεία (χόρτο και υπόροφος)                    |
| 3  | → Ψηλό γρασίδι (2,5 πόδια)                       |
| 4  | → Chapparral ή φυτοκοινότητες θαμνώνων (6 πόδια) |
| 5  | → Θάμνοι (2 πόδια)                               |
| 6  | → Αδρανείς θάμνοι, σκληρό ξύλο                   |
| 7  | → Νότιο τραχύ (Southern rough)                   |
| 8  | → Σκουπίδια κλειστής ξυλείας                     |
| 9  | → Σκουπίδια από σκληρό ξύλο                      |
| 10 | → Ξυλεία (σκουπίδια και υπόροφος)                |
| 11 | → Ελαφριά υλοτομία                               |
| 12 | → Μεσαία υπολείμματα υλοτομίας                   |
| 13 | → Βαρύς παφλασμός υλοτομίας                      |

Πίνακας 2, Μοντέλα καυσίμων<sup>5</sup> Βόρειου Εργαστηρίου Δασικών Πυρκαγιών (NFFL) [67]

Οι αριθμοί μοντέλων καυσίμου 14-89 και 220-256 δεν χρησιμοποιούνται, διότι προορίζονται για μελλοντικά πρότυπα μοντέλων καυσίμου και για προσαρμοσμένα μοντέλα καυσίμου.

<sup>5</sup> Αναλυτικότερα: [Appendix B \(nifc.gov\)](https://www.nifc.gov)



Εικόνα 10, Δυνατότητα εισαγωγής προσαρμοσμένου μοντέλου καυσίμου

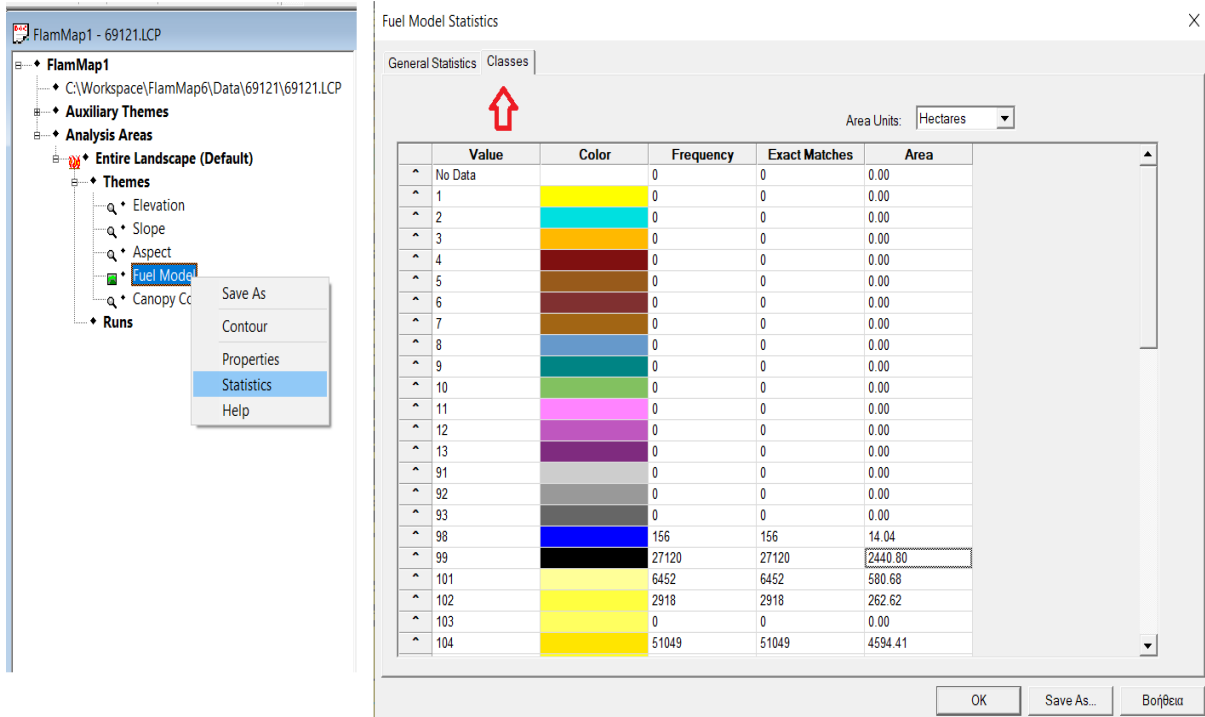
Τα υπόλοιπα μοντέλα καυσίμων που απέμειναν στο συνολικό εύρος 1-256, είναι ομαδοποιημένα ανά τύπο καυσίμου που μεταφέρει φωτιά. Η ομαδοποίηση των αριθμών μοντέλων καυσίμου αποτελείται από ένα μνημονικό κωδικό δύο γραμμάτων:

<b>Μη καύσιμο (NB)</b>	→	<b>90 έως 99</b>
<b>Χόρτο (GR)</b>	→	<b>100 έως 119</b>
<b>Γρασίδι-θάμνος (GS)</b>	→	<b>120 έως 139</b>
<b>Θάμνος (SH)</b>	→	<b>140 έως 159</b>
<b>Ξυλεία-υπόροφος (TU)</b>	→	<b>160 έως 179</b>
<b>Ξυλεία-σκουπίδια (TL)</b>	→	<b>180 έως 199</b>
<b>Κατάλοιπα από φυσικά φαινόμενα ή από ανθρώπινες δραστηριότητες (SB)</b>	→	<b>200 έως 219</b>

Πίνακας 3, Το διευρυμένο σύνολο τυποποιημένων μοντέλων [66]

Αξίζει να επισημανθεί, ότι στο νερό αντιστοιχεί ο αριθμός 98 και στο πέτρωμα (γυμνό έδαφος) ο αριθμός 99 [66].

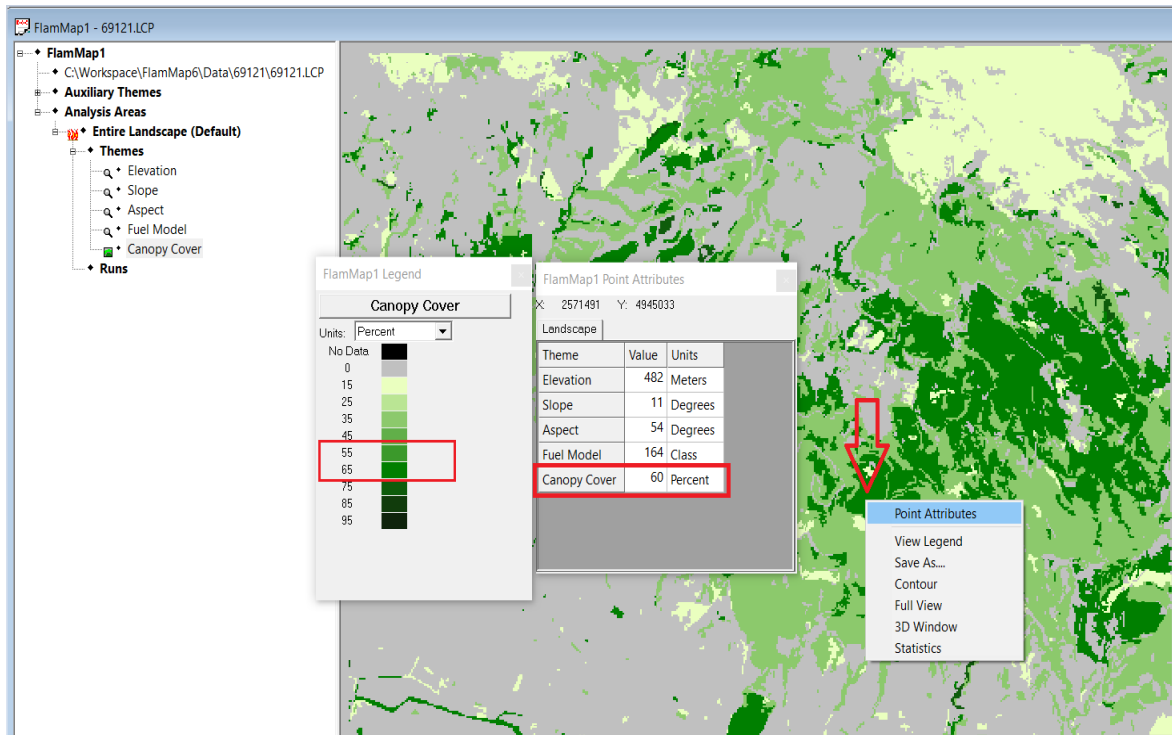
Για την προβολή του συνόλου των μοντέλων καυσίμων, καθώς και των χαρακτηριστικών τους (συχνότητα μοντέλων καυσίμου, ακριβείς αντιστοιχίες και περιοχή σε εκτάρια), υπάρχει η επιλογή «Statistics» από το θέμα μοντέλου καυσίμου.



Εικόνα 11, Κατηγορίες μοντέλων καυσίμου με μεμονωμένα χρώματα στο καθένα ξεχωριστά

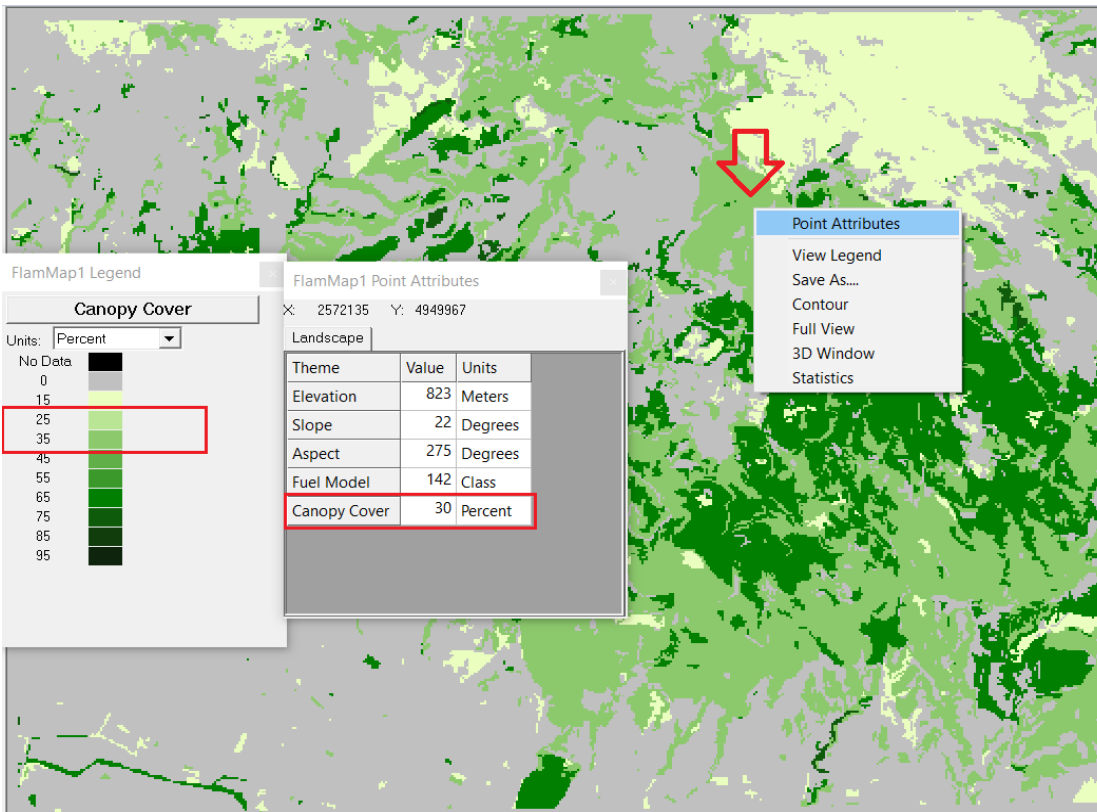
Το θέμα πλέγματος της κάλυψης κόμης (Canopy Cover) περιγράφει το ποσοστό κάλυψης της κόμης των δέντρων σε μια συστάδα.

Στις εικόνες 12 και 13, φαίνονται δύο παραδείγματα που δείχνουν το ποσοστό κάλυψης κόμης που υπάρχει σε δύο τυχαία χαρακτηριστικά σημεία του τοπίου. Στο πρώτο παράδειγμα, το ποσοστό κάλυψης κόμης που υπάρχει είναι 60%, ενώ στο δεύτερο παράδειγμα είναι 30%.



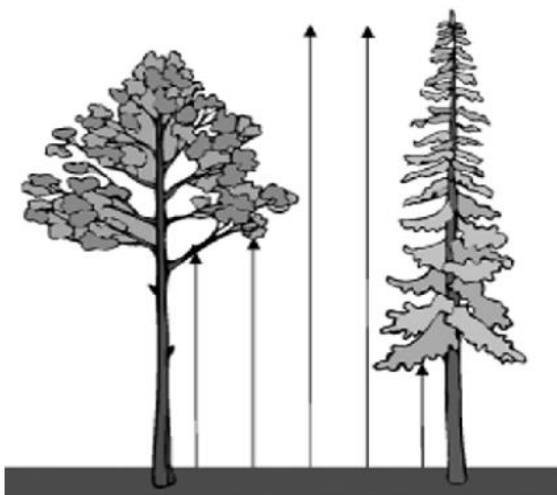
Εικόνα 12, Ποσοστό κάλυψης κόμης - παράδειγμα 1





Εικόνα 13, Ποσοστό κάλυψης κόμης - παράδειγμα 2

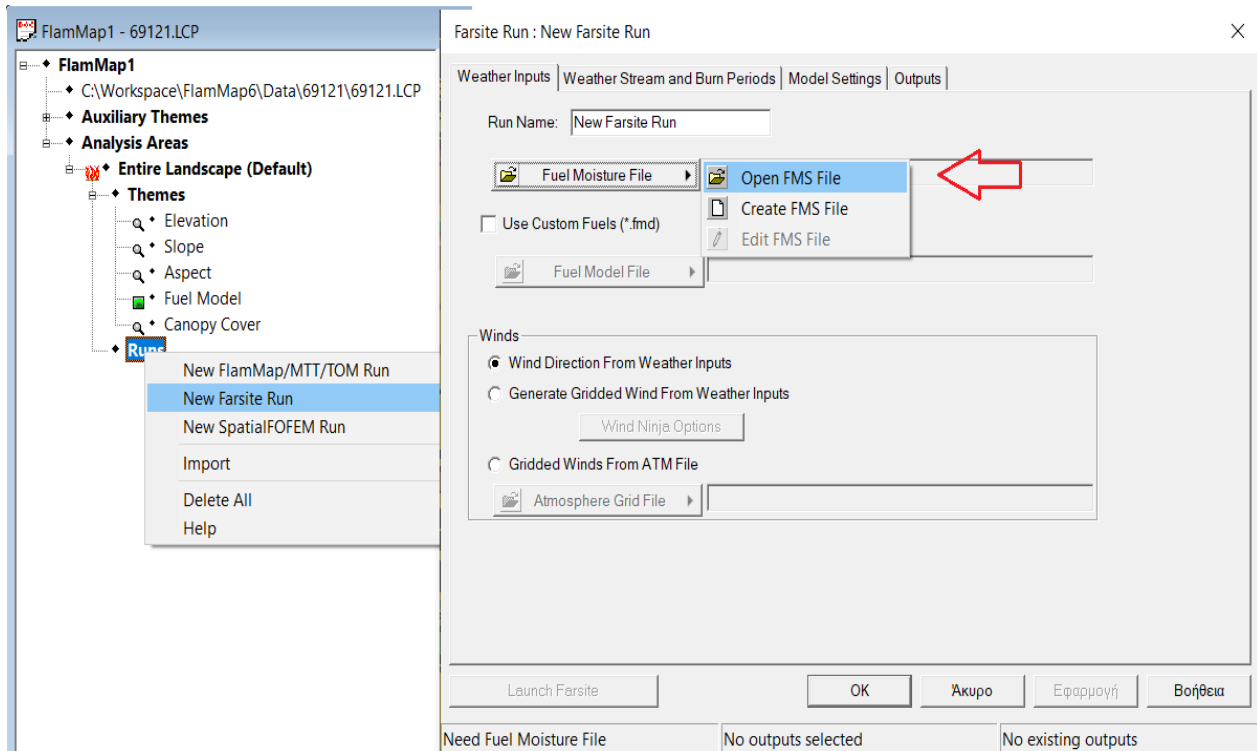
Συγκεκριμένα, η κάλυψη κόμης περιγράφει την κατακόρυφη προβολή της κόμης των δέντρων σε μια νοητή οριζόντια επιφάνεια που αντιπροσωπεύει την επιφάνεια του εδάφους (Εικόνα 14). Για να υπολογιστούν οι συντελεστές μείωσης του ανέμου και της σκίασης στο προαιρετικό μοντέλο υγρασίας νεκρής καύσιμης ύλης, απαιτείται το θέμα πλέγματος της κάλυψης κόμης (Canopy Cover) [68], [69].



Εικόνα 14, Η μέτρηση της κάλυψης της κόμης σε κατακόρυφη κατεύθυνση [70]

Επίσης, το αρχείο .LCP μπορεί να περιλαμβάνει προαιρετικά, ορισμένα θέματα δεδομένων όπως το ύψος βάσης (SH), το ύψος βάσης κόμης (CBH) και η πυκνότητα όγκου κόμης (CBD). Χαρακτηρίζονται ως προαιρετικά, διότι δεν απαιτούνται για την εκτέλεση επιφανειακής πυρκαγιάς. Ωστόσο, αυτά τα θέματα απαιτούνται για τον υπολογισμό ορισμένων πτυχών της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς όπως η πυρκαγιά κόμης [58].

Επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή των δεδομένων που χρειάζεται η προσομοίωση Farsite. Πρώτα, απαιτείται το αρχείο με τις αρχικές υγρασίες καύσιμης ύλης (.FMS), το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου ASCII [71]. Στην προσομοίωση Farsite που ακολουθεί, οι υγρασίες καύσιμης ύλης (αρχείο FMS) χρησιμοποιούνται ως σημείο εκκίνησης για το μοντέλο υγρασίας νεκρής καύσιμης ύλης.



Εικόνα 15, Εισαγωγή αρχείου με τις αρχικές υγρασίες καύσιμης ύλης

Row	1	5	8	12	100	100
1	1	5	8	12	100	100
2	2	5	8	12	100	100
3	3	5	8	12	100	100
4	4	5	8	12	100	100
5	5	5	8	12	100	100
6	6	5	8	12	100	100
7	7	5	8	12	100	100
8	8	5	8	12	100	100
9	9	5	8	12	100	100
10	10	5	8	12	100	100
11	11	5	8	12	100	100
12	12	5	8	12	100	100
13	13	5	8	12	100	100
14	14	5	8	12	100	100
15	15	5	8	12	100	100
16	16	5	8	12	100	100
17	17	5	8	12	100	100
18	18	5	8	12	100	100
19	19	5	8	12	100	100
20	20	5	8	12	100	100
21	21	5	8	12	100	100
22	22	5	8	12	100	100
23	23	5	8	12	100	100
24	24	5	8	12	100	100
25	25	5	8	12	100	100
26	26	5	8	12	100	100
27	27	5	8	12	100	100
28	28	5	8	12	100	100

Εικόνα 16, Αρχικές υγρασίες καύσιμης ύλης στην περιοχή του Χορτιάτη

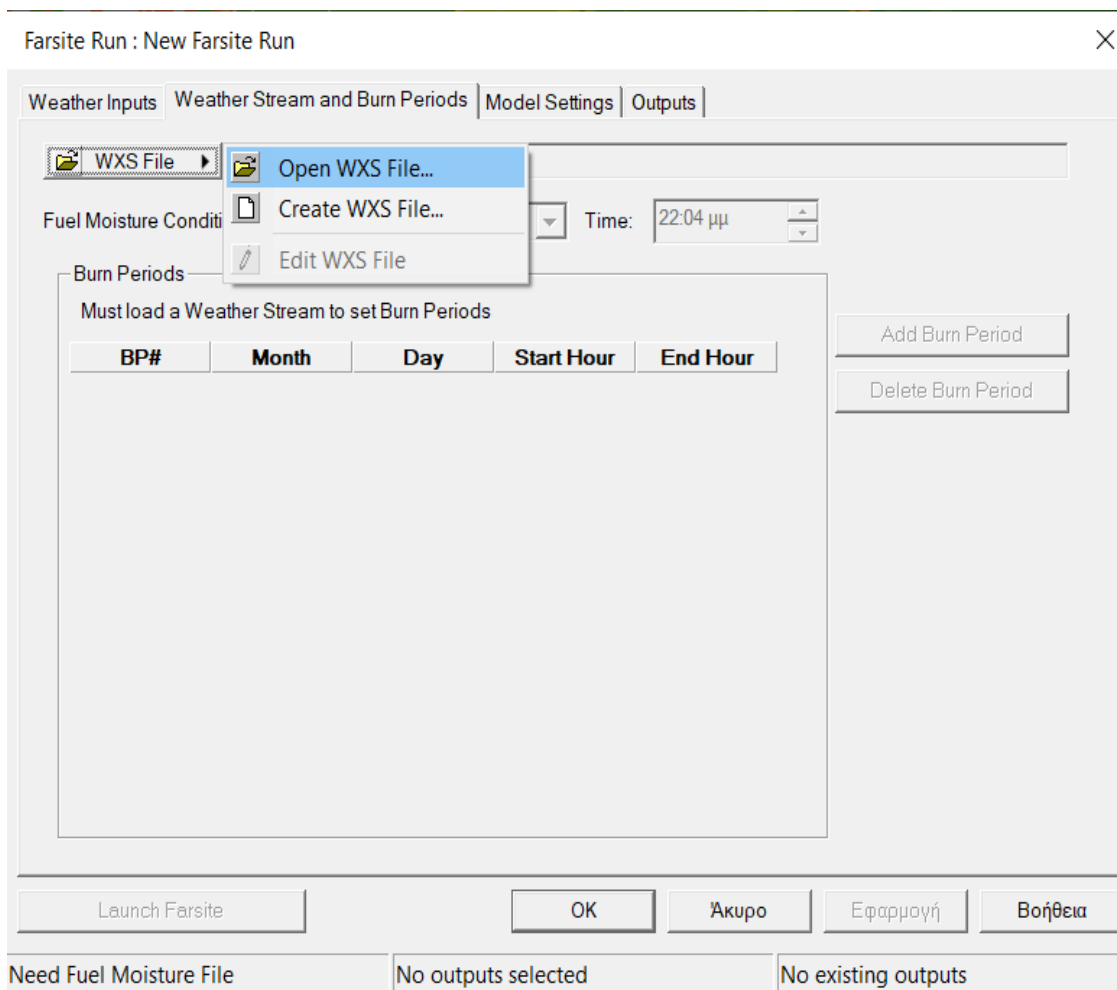
Καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου κλιμάκωσης/προετοιμασίας (conditioning period) της υγρασίας της νεκρής καύσιμης ύλης, η υγρασία των ζωντανής καύσιμης ύλης θεωρείται ότι παραμένει σταθερή (Εικόνα 15 – στήλες 5,6). Ένα σημαντικό κριτήριο για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, είναι η μεταβολή της περιεκτικότητας υγρασίας της νεκρής και πεσμένης ξυλώδους επιφανειακής καύσιμης ύλης. Γενικά, η ένταση και ο ρυθμός εξάπλωσης πυρκαγιάς (ROS), καθώς και η κατανάλωση καύσιμης ύλης, αυξάνονται με τα ξηρότερα καύσιμα.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον ρυθμό μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας στην καύσιμη ύλη, είναι η διάμετρος του σωματιδίου της ξυλώδους καύσιμης ύλης και οι περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι διάμετροι των σωματιδίων ξυλώδους καύσιμης ύλης έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με τη χρονυστέρησή τους. Η χρονυστέρηση (timelag) αναφέρεται στον χρόνο που θα χρειαστεί ένα σωματίδιο νεκρού καυσίμου να φτάσει στα 2/3 της ατμοσφαιρικής υγρασίας (είτε κατά την ύγρανση είτε κατά την ξήρανση). Τα καύσιμα με μεγαλύτερη διάμετρο έχουν γενικά μεγαλύτερη χρονυστέρηση. Αυτό σημαίνει ότι ανταποκρίνονται πιο αργά στις αλλαγές των περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες που καθορίζουν την υγρασία της καύσιμης ύλης ενός σωματιδίου καυσίμου είναι η θερμοκρασία του αέρα, η περιεκτικότητα υγρασίας στον αέρα (σχετική υγρασία), η βροχόπτωση (ποσότητα και διάρκεια) και η ηλιακή ακτινοβολία (τροποποιημένη από τη νεφοκάλυψη). Οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τους τοπικούς, τοπογραφικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες της τοποθεσίας του σωματιδίου καυσίμου, που είναι η κλίση, η όψη, το υψόμετρο και η κάλυψη δασικού θόλου [72], [73].

Το αρχείο «.FMS» αποτελείται από 256 γραμμές και 6 στήλες (Εικόνα 15).

- Η πρώτη στήλη (FuelMod) περιλαμβάνει τα μοντέλα καυσίμου 1-256, τα οποία αναλύσαμε παραπάνω.
- Οι στήλες 2 έως 4 υποδεικνύουν τρεις κατηγορίες χρονοστέρησης (1 ώρα, 10 ώρες, 100 ώρες) της νεκρής καύσιμης ύλης σε ποσοστό. Στις κατηγορίες χρονοστέρησης, αντιστοιχούν καύσιμα που αποτελούνται από στρογγυλά ξύλα με διάμετρο που κυμαίνεται μεταξύ: 0-0.635 εκατοστά, 0.635-2.54 εκατοστά και 2.54-7.62 εκατοστά αντίστοιχα [74].
- Οι στήλες 5 και 6 δείχνουν τα ποσοστά των ζωντανών ξυλώδη (LiveH) και των ζωντανών πώδη (Live W) καυσίμων [71].

Στη συνέχεια, εισάγεται το αρχείο με τις ροές των καιρικών συνθηκών (Weather Streams, Εικόνα 16), το οποίο αποτελείται από ημερήσιες παρατηρήσεις της ελάχιστης και μέγιστης υγρασίας και θερμοκρασίας, καθώς και της βροχόπτωσης σε ένα σταθερό υψόμετρο (Εικόνα 17). Με τα δεδομένα αυτά, γενικεύεται ένα ημερήσιο καιρικό πρότυπο, με σκοπό τον υπολογισμό της υγρασίας της νεκρής ξυλώδους καύσιμης ύλης [55].



Εικόνα 17, Εισαγωγή αρχείου Weather stream (.WXS)

Edit WXS File: C:\Workspace\FlamMap6\Data\69121\69121.wxs

Conditioning Start: 8/7/2023 Time: 13:00 μμ Units: Metric Elevation (m): 10

Graph Wx | Edit Wx Not Used: Conditioning: Burning:

Record	Burn	Date	Temperature (°C)	RH (%)	Precipitation (mm)	Wind Speed (km/h)	Wind Direction (°)	Cloud Cover (%)
1	<input type="checkbox"/>	07/08/23 13:00	34	20	0.000	30	300	0
2	<input type="checkbox"/>	07/08/23 14:00	35	20	0.000	30	300	0
3	<input type="checkbox"/>	07/08/23 15:00	36	20	0.000	30	300	0
4	<input type="checkbox"/>	07/08/23 16:00	36	20	0.000	30	300	0
5	<input type="checkbox"/>	07/08/23 17:00	35	20	0.000	30	300	0
6	<input type="checkbox"/>	07/08/23 18:00	34	20	0.000	30	300	0
7	<input type="checkbox"/>	07/08/23 19:00	33	20	0.000	30	300	0
8	<input type="checkbox"/>	07/08/23 20:00	31	20	0.000	30	300	0
9	<input type="checkbox"/>	07/08/23 21:00	29	20	0.000	30	300	0
10	<input type="checkbox"/>	07/08/23 22:00	27	20	0.000	30	300	0
11	<input type="checkbox"/>	07/08/23 23:00	25	20	0.000	30	300	0
12 *	<input type="checkbox"/>	07/09/23 00:00	23	20	0.000	30	300	0
13	<input type="checkbox"/>	07/09/23 01:00	21	20	0.000	30	300	0
14	<input type="checkbox"/>	07/09/23 02:00	19	20	0.000	30	300	0
15	<input type="checkbox"/>	07/09/23 03:00	18	20	0.000	30	300	0
16	<input type="checkbox"/>	07/09/23 04:00	17	20	0.000	30	300	0
17	<input type="checkbox"/>	07/09/23 05:00	16	20	0.000	30	300	0
18	<input type="checkbox"/>	07/09/23 06:00	16	20	0.000	30	300	0
19	<input type="checkbox"/>	07/09/23 07:00	17	20	0.000	30	300	0
20	<input type="checkbox"/>	07/09/23 08:00	18	20	0.000	30	300	0
21	<input type="checkbox"/>	07/09/23 09:00	21	20	0.000	30	300	0
22	<input type="checkbox"/>	07/09/23 10:00	24	20	0.000	30	300	0
23	<input type="checkbox"/>	07/09/23 11:00	28	20	0.000	30	300	0
24	<input type="checkbox"/>	07/09/23 12:00	31	20	0.000	30	300	0
25	<input type="checkbox"/>	07/09/23 13:00	34	20	0.000	30	300	0
26	<input type="checkbox"/>	07/09/23 14:00	35	20	0.000	30	300	0
27	<input type="checkbox"/>	07/09/23 15:00	36	20	0.000	30	300	0
28	<input type="checkbox"/>	07/09/23 16:00	36	20	0.000	30	300	0
29	<input type="checkbox"/>	07/09/23 17:00	35	20	0.000	30	300	0
30	<input type="checkbox"/>	07/09/23 18:00	34	20	0.000	30	300	0
31	<input type="checkbox"/>	07/09/23 19:00	33	20	0.000	30	300	0
32	<input type="checkbox"/>	07/09/23 20:00	31	20	0.000	30	300	0
33	<input type="checkbox"/>	07/09/23 21:00	29	20	0.000	30	300	0
34	<input type="checkbox"/>	07/09/23 22:00	27	20	0.000	30	300	0

Εικόνα 18, Ροές καιρικών συνθηκών στην περιοχή μελέτης

Η ημερομηνία έναρξης κλιματισμού ξεκινά στις 8/7/23 στις 13:00 και διαρκεί μέχρι τις 17/7/23 στις 13:00. Σε αυτό το χρονικό διάστημα ορίστηκαν και οι περίοδοι καύσης.

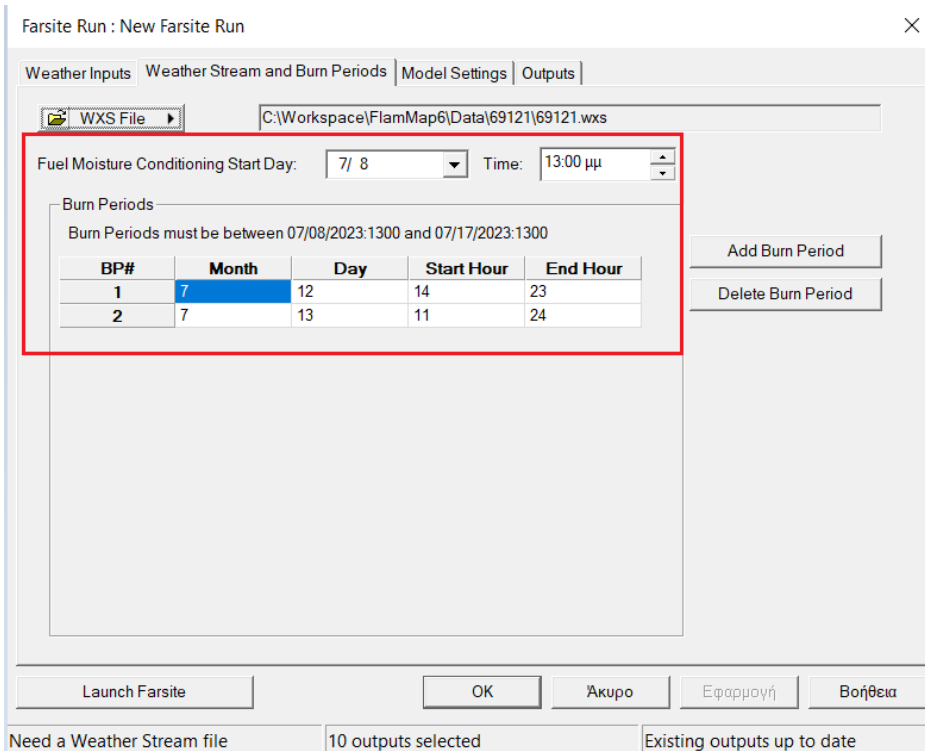
Conditioning Start: 8/7/2023 Time: 13:00 μμ Units: Metric Elevation (m): 10

Graph Wx Edit Wx Not Used: [ ] Conditioning: [ ] Burning: [ ]

Record	Burn	Date	Temperature (°C)	RH (%)	Precipitation (mm)	Wind Speed (km/h)	Wind Direction (°)	Cloud Cover (%)
94	<input type="checkbox"/>	07/12/23 10:00	24	20	0,000	30	300	0
95	<input type="checkbox"/>	07/12/23 11:00	28	20	0,000	30	300	0
96	<input type="checkbox"/>	07/12/23 12:00	31	20	0,000	30	300	0
97	<input type="checkbox"/>	07/12/23 13:00	34	20	0,000	30	300	0
98	<input checked="" type="checkbox"/>	07/12/23 14:00	35	20	0,000	30	300	0
99	<input checked="" type="checkbox"/>	07/12/23 15:00	36	20	0,000	30	300	0
100	<input checked="" type="checkbox"/>	07/12/23 16:00	36	20	0,000	30	300	0
101	<input checked="" type="checkbox"/>	07/12/23 17:00	35	20	0,000	30	300	0
102	<input checked="" type="checkbox"/>	07/12/23 18:00	34	20	0,000	30	300	0
103	<input checked="" type="checkbox"/>	07/12/23 19:00	33	20	0,000	30	300	0
104	<input checked="" type="checkbox"/>	07/12/23 20:00	31	20	0,000	30	300	0
105	<input checked="" type="checkbox"/>	07/12/23 21:00	29	20	0,000	30	300	0
106	<input checked="" type="checkbox"/>	07/12/23 22:00	27	20	0,000	30	300	0
107	<input type="checkbox"/>	07/12/23 23:00	25	20	0,000	30	300	0
108 *	<input type="checkbox"/>	07/13/23 00:00	23	20	0,000	30	300	0
109	<input type="checkbox"/>	07/13/23 01:00	21	20	0,000	30	300	0
110	<input type="checkbox"/>	07/13/23 02:00	19	20	0,000	30	300	0
111	<input type="checkbox"/>	07/13/23 03:00	18	20	0,000	30	300	0
112	<input type="checkbox"/>	07/13/23 04:00	17	20	0,000	30	300	0
113	<input type="checkbox"/>	07/13/23 05:00	16	20	0,000	30	300	0
114	<input type="checkbox"/>	07/13/23 06:00	16	20	0,000	30	300	0
115	<input type="checkbox"/>	07/13/23 07:00	17	20	0,000	30	300	0
116	<input type="checkbox"/>	07/13/23 08:00	18	20	0,000	30	300	0
117	<input type="checkbox"/>	07/13/23 09:00	21	20	0,000	30	300	0
118	<input type="checkbox"/>	07/13/23 10:00	24	20	0,000	30	300	0
119	<input checked="" type="checkbox"/>	07/13/23 11:00	28	20	0,000	30	300	0
120	<input checked="" type="checkbox"/>	07/13/23 12:00	31	20	0,000	30	300	0
121	<input checked="" type="checkbox"/>	07/13/23 13:00	34	20	0,000	30	300	0
122	<input checked="" type="checkbox"/>	07/13/23 14:00	35	20	0,000	30	300	0
123	<input checked="" type="checkbox"/>	07/13/23 15:00	36	20	0,000	30	300	0
124	<input checked="" type="checkbox"/>	07/13/23 16:00	36	20	0,000	30	300	0
125	<input checked="" type="checkbox"/>	07/13/23 17:00	35	20	0,000	30	300	0
126	<input checked="" type="checkbox"/>	07/13/23 18:00	34	20	0,000	30	300	0
127	<input checked="" type="checkbox"/>	07/13/23 19:00	33	20	0,000	30	300	0
128	<input checked="" type="checkbox"/>	07/13/23 20:00	31	20	0,000	30	300	0
129	<input checked="" type="checkbox"/>	07/13/23 21:00	29	20	0,000	30	300	0
130	<input checked="" type="checkbox"/>	07/13/23 22:00	27	20	0,000	30	300	0
131	<input checked="" type="checkbox"/>	07/13/23 23:00	25	20	0,000	30	300	0
132 *	<input type="checkbox"/>	07/14/23 00:00	23	20	0,000	30	300	0
133	<input type="checkbox"/>	07/14/23 01:00	21	20	0,000	30	300	0
134	<input type="checkbox"/>	07/14/23 02:00	19	20	0,000	30	300	0
135	<input type="checkbox"/>	07/14/23 03:00	18	20	0,000	30	300	0

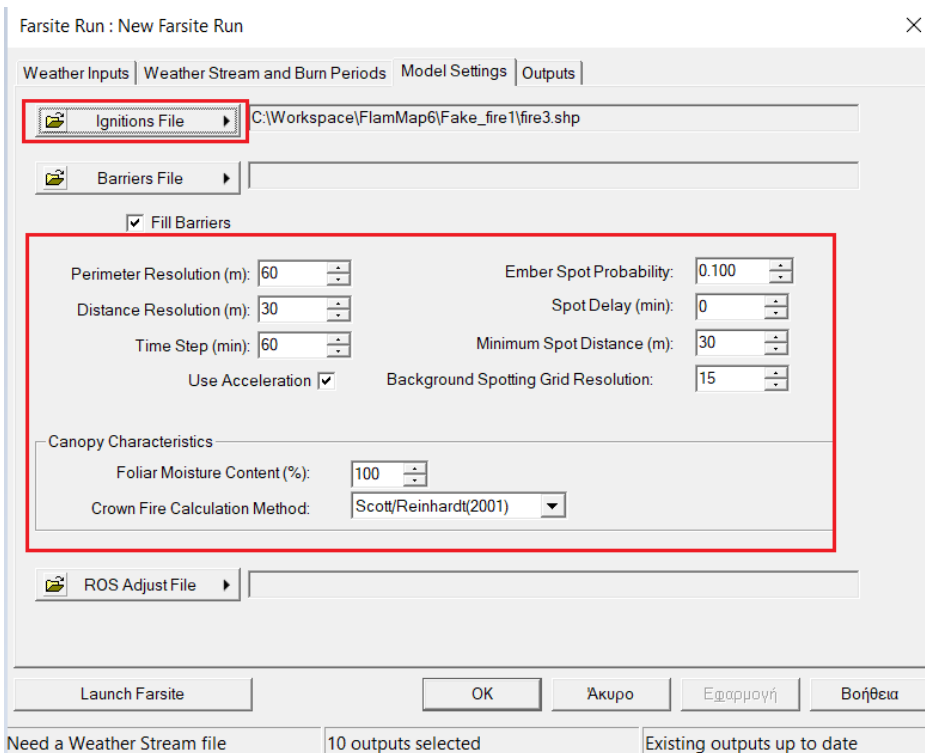
Εικόνα 19, Ορισμός περιόδων καύσης στο αρχείο Weather stream (.WXS).

Συνολικά, υπάρχει μια περίοδος κλιματισμού πέντε ημερών πριν την έναρξη της προσομοίωσης και δύο περίοδοι καύσης. Η πρώτη καύση διαρκεί 9 ώρες και η δεύτερη 13 ώρες.



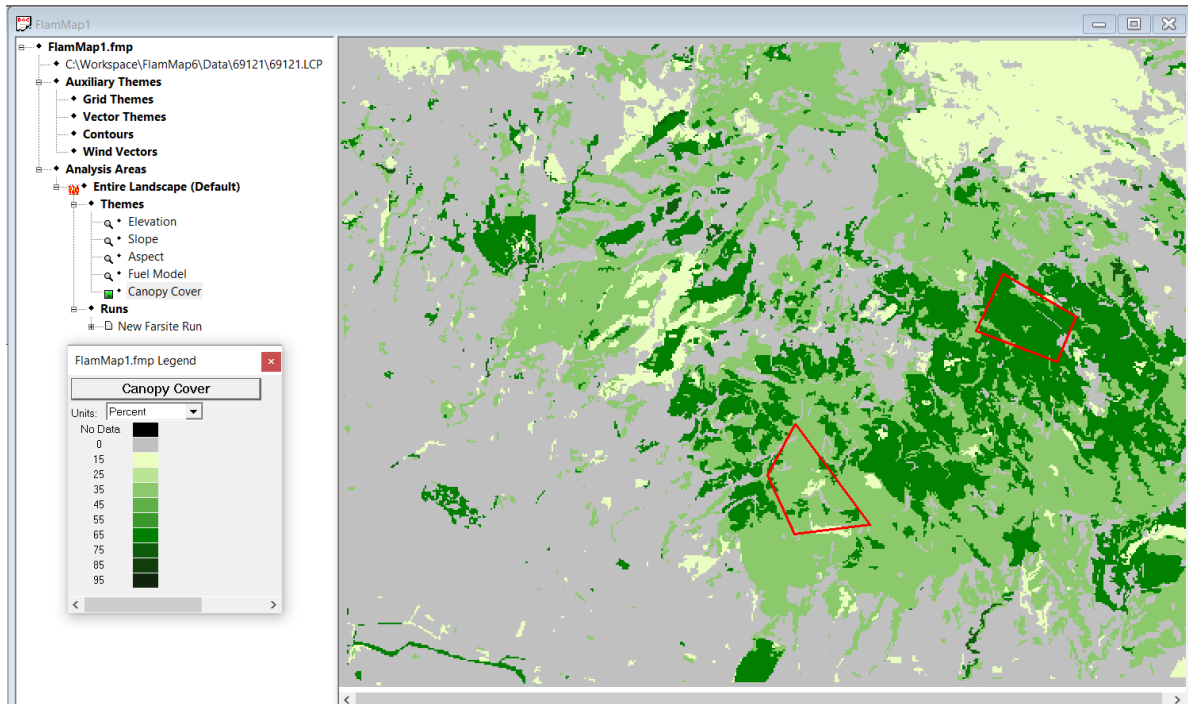
Εικόνα 20, Παράμετροι μοντελοποίησης (περίοδοι κλιμάκωσης/προετοιμασίας, περίοδοι καύσης)

Προχωρώντας στην τρίτη καρτέλα της προσομοίωσης Farsite απαιτείται η εισαγωγή ενός ή παραπάνω σημείων ανάφλεξης (ignition file) και στη συνέχεια η συμπλήρωση των χαρακτηριστικών συμπεριφοράς της πυρκαγιάς.



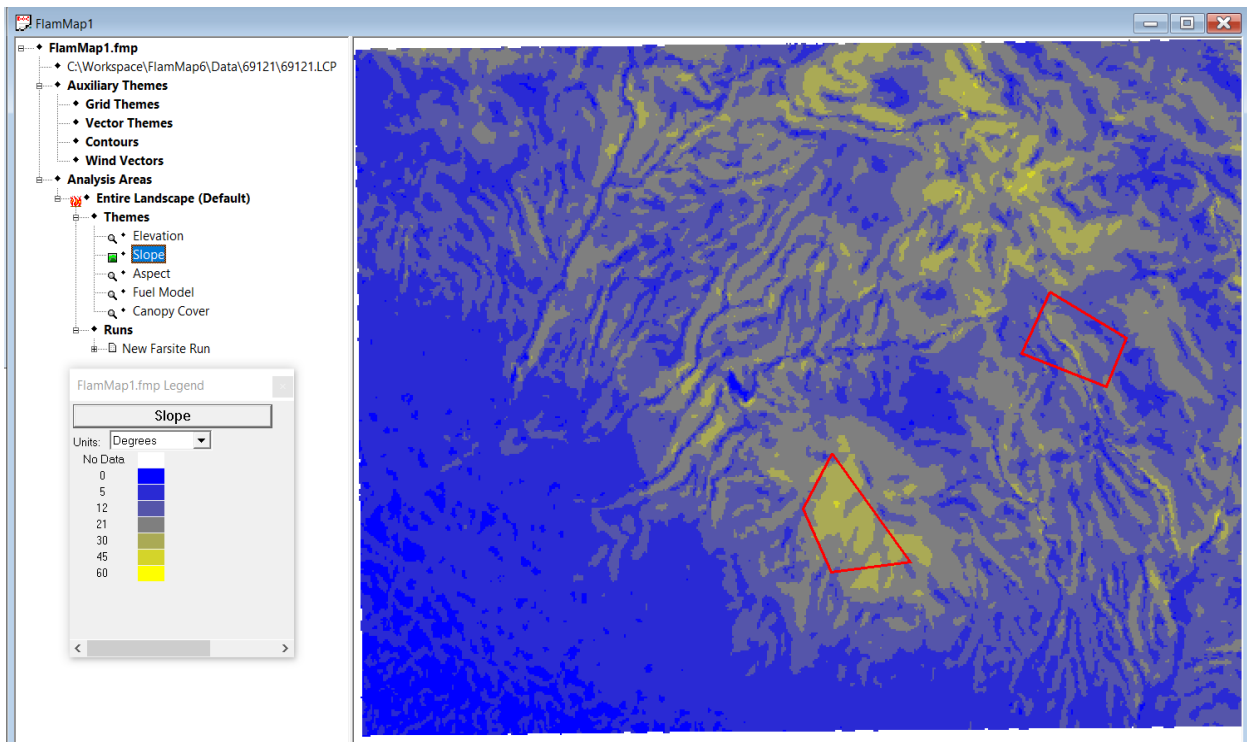
Εικόνα 21, Ρυθμίσεις μοντέλου

Στη συγκεκριμένη προσομοίωση έχουν επιλεγθεί δύο σημεία ανάφλεξης σε σχήμα πολυγώνου. Τα βασικά κριτήρια για την επιλογή του τόπου δημιουργίας των σημείων ανάφλεξης, ήταν το ποσοστό κάλυψης κόμης και η κλίση της περιοχής από τα θέματα πλεγμάτων του τοπίου (landscape). Συγκεκριμένα, στις εικόνες 22 και 23, με τη βοήθεια των υπομνημάτων στα αντίστοιχα θέματα πλεγμάτων, μπορούν να εντοπιστούν σημεία του τοπίου, που έχουν ελάχιστο έως αρκετό ποσοστό κάλυψης κόμης και μικρή έως μεγάλη κλίση στις πλαγιές, δεδομένα τα οποία επηρεάζουν άμεσα τη συμπεριφορά των πυρκαγιών. Έτσι λοιπόν, τα επιλεγμένα σημεία ανάφλεξης στο τοπίο καθορίζουν μια ενδιαφέρουσα ανάλυση της συμπεριφοράς των πυρκαγιών.



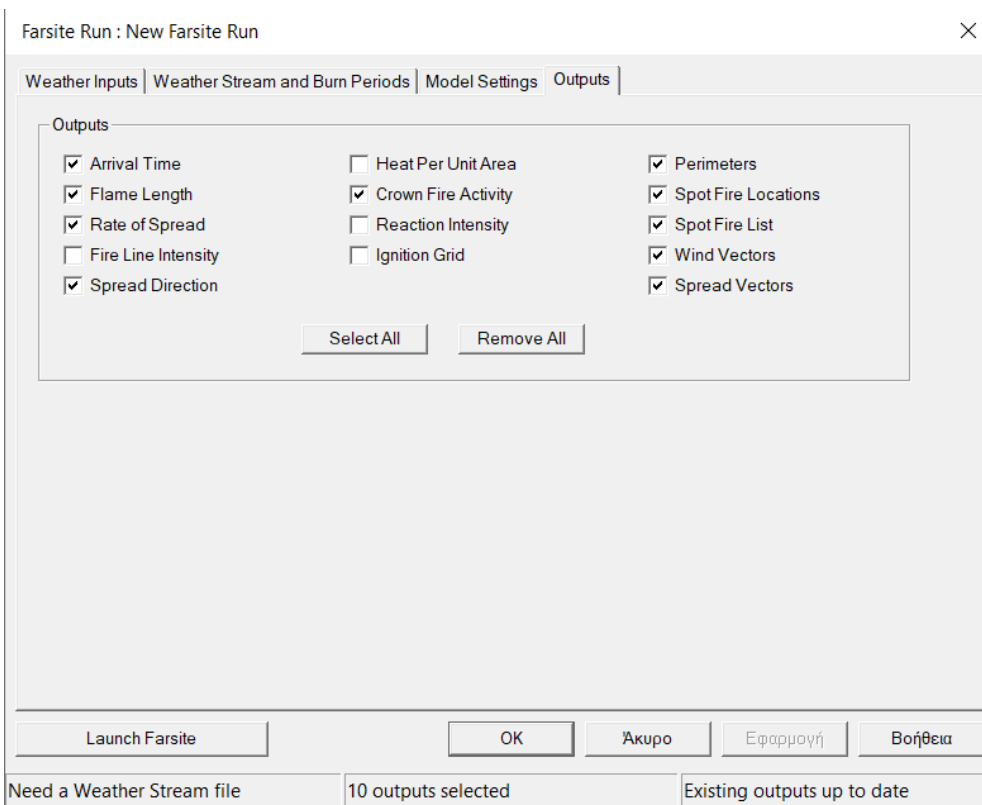
Εικόνα 22, Σημεία ανάφλεξης στο θέμα της κάλυψης κόμης





Εικόνα 23, Σημεία ανάφλεξης στο θέμα της κλίσης

Τέλος, από την τελευταία καρτέλα επιλέχθηκαν στοιχεία εξόδου όπως ο χρόνος άφιξης της πυρκαγιάς (Arrival Time), το μήκος της φλόγας (Flame Length), ο ρυθμός διάδοσης (Rate of Spread) κ.α., με διανυσματική και ψηφιδωτή μορφή, τα οποία θα βοηθήσουν στην κατανόηση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς.

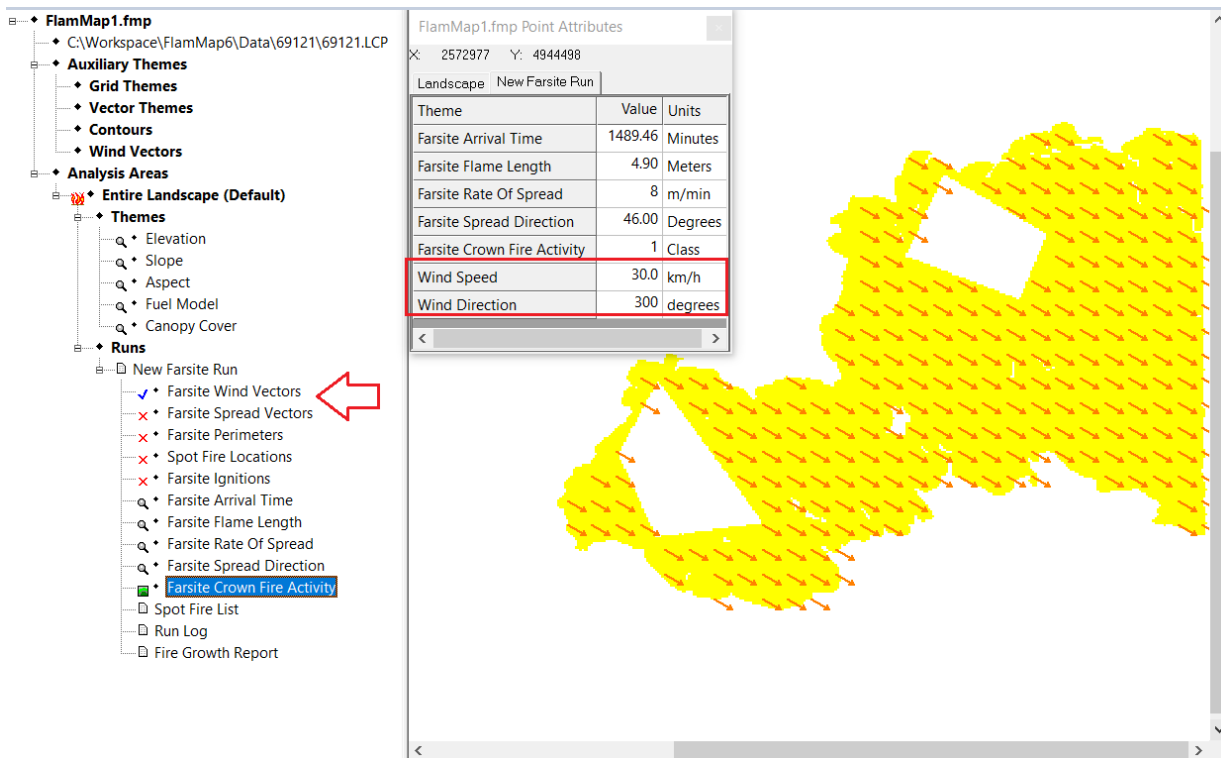


Εικόνα 24, Στοιχεία εξόδου προσομοίωσης

## 5.2. Αποτελέσματα Προσομοίωσης

Στοιχεία εξόδου διανυσματικής μορφής:

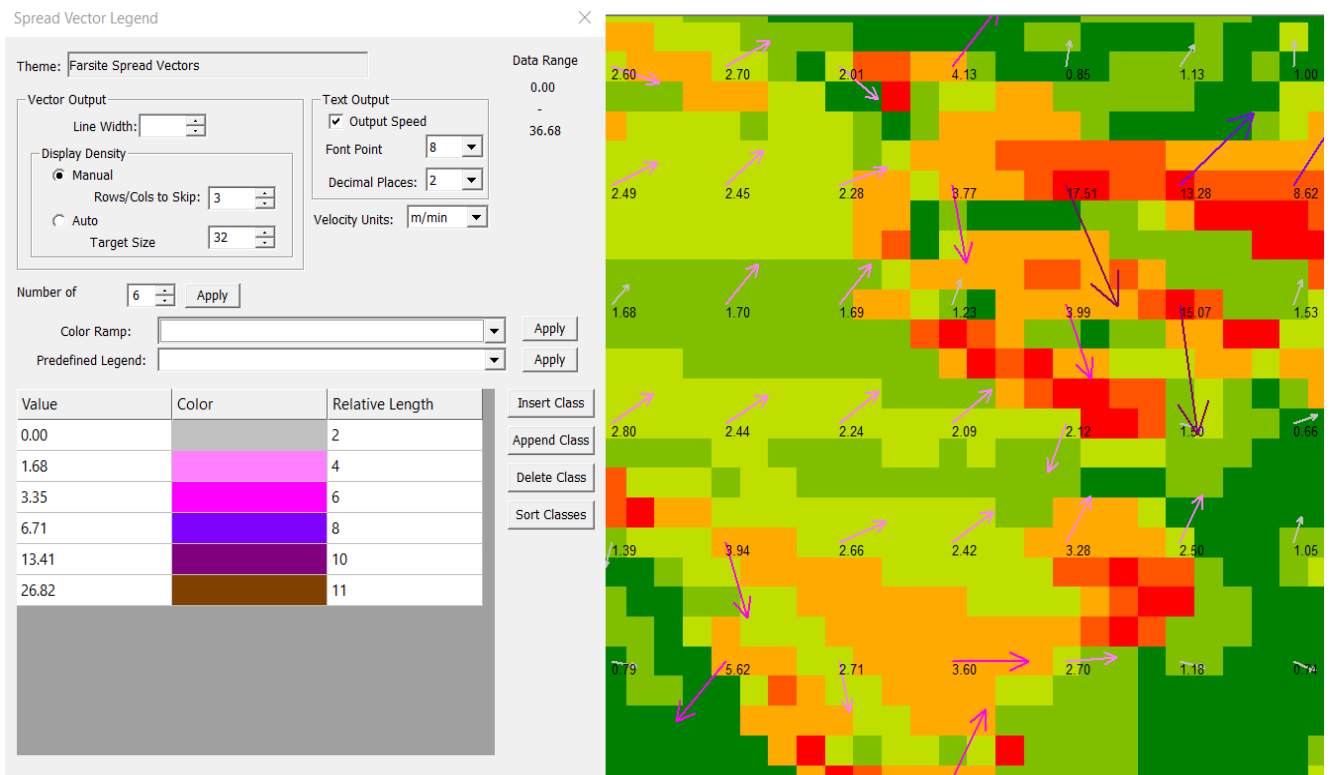
- ➔ Το διάνυσμα ανέμου (Wind Vectors) είναι ένας συνδυασμός των πλεγμάτων κατεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου και εμφανίζεται ως βέλος [75].



Εικόνα 25, Διανύσματα ανέμου (Wind Vectors)

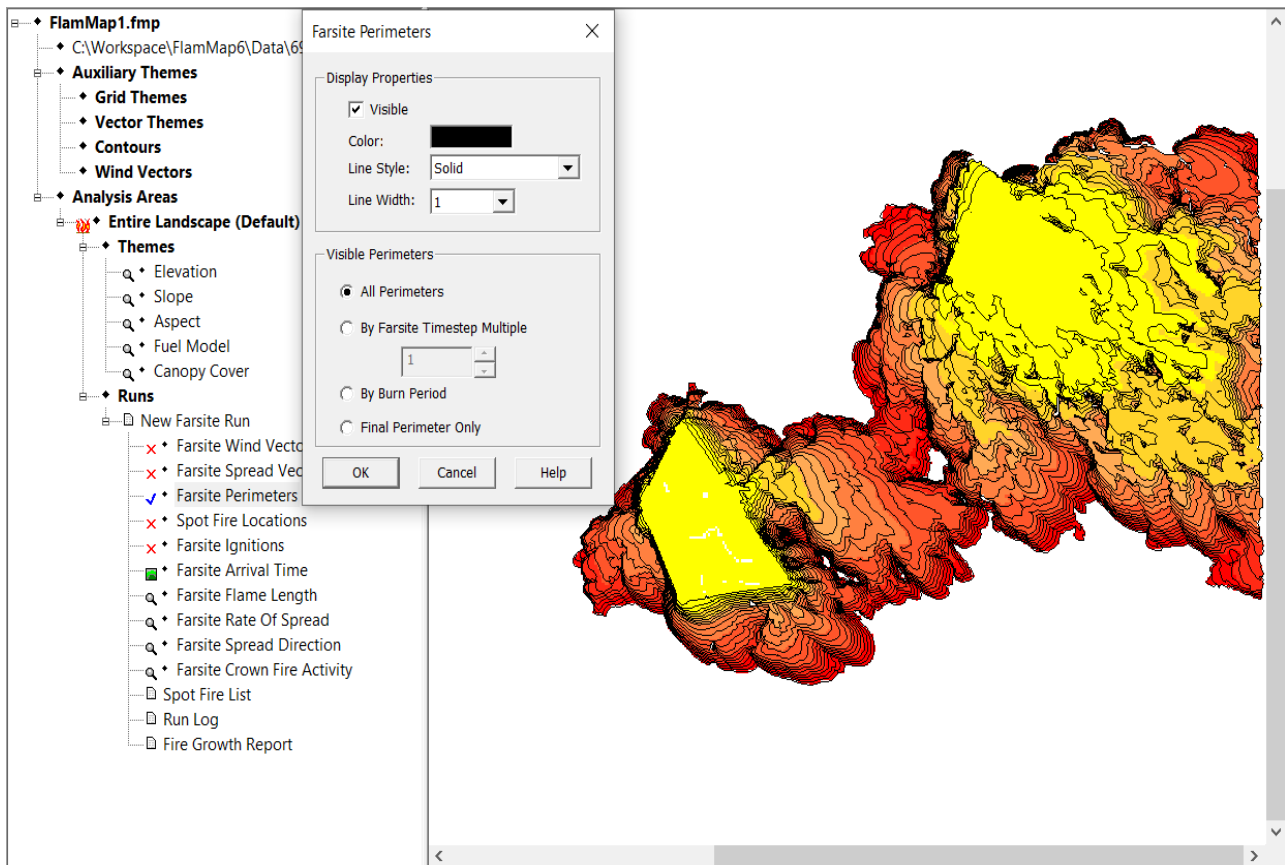
Στο πλαίσιο της προσομοίωσης, η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου έχουν σταθερές τιμές (Wind Speed = 30km/h , Wind Direction = 300degrees) σε όλη την έκταση των πυρκαγιών.

- ➔ Το διάνυσμα εξάπλωσης (Spread Vectors) είναι ένας συνδυασμός των πλεγμάτων εξόδου κατεύθυνσης εξάπλωσης (Farsite Spread Direction) και ρυθμού εξάπλωσης (Farsite Rate Of Spread) και εμφανίζονται ως βέλος. Τα διανύσματα εξάπλωσης δείχνουν τις πρόσθετες επιδράσεις της καύσιμης ύλης, των καιρικών συνθηκών και της τοπογραφίας στην εξάπλωση της επιφανειακής πυρκαγιάς [76], [77].



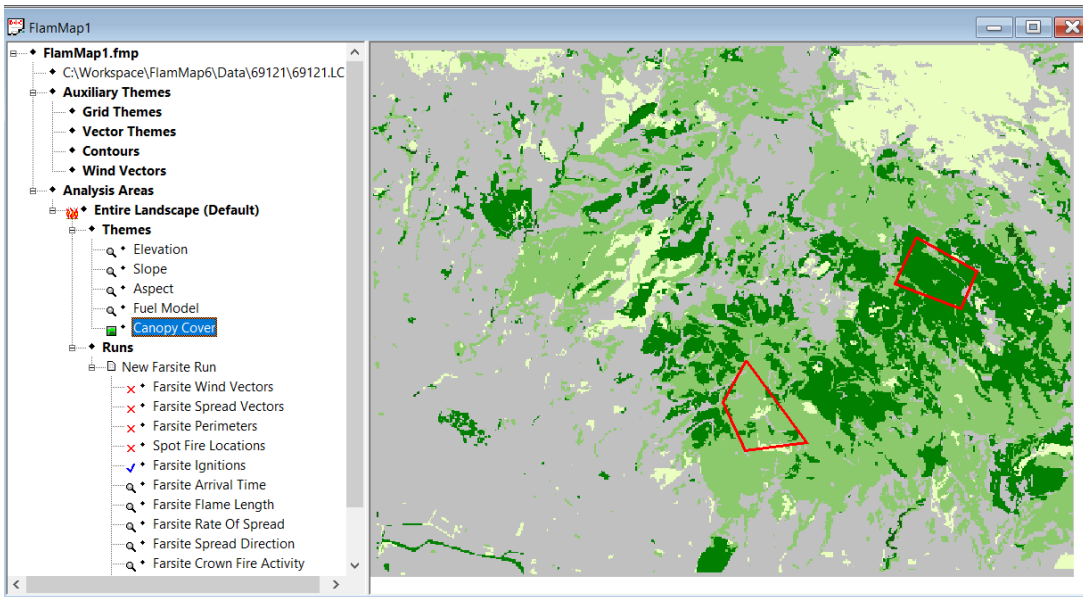
Εικόνα 26, Διανύσματα εξάπλωσης (Spread Vectors)

- ➔ Εκτός από την τελική περίμετρο, το Farsite περιλαμβάνει τις περιμέτρους (Perimeters) στο τέλος κάθε χρονικού βήματος, όπως ορίζεται στην καρτέλα ρυθμίσεων μοντέλου (Model Settings). Το χρονικό βήμα (Time Step) είναι το μέγιστο χρονικό διάστημα για το οποίο οι συνθήκες σε ένα δεδομένο σημείο θεωρούνται σταθερές, έτσι ώστε να μπορεί να προβλεφθεί η θέση του μετώπου της πυρκαγιάς.



Εικόνα 27, Περίμετροι πυρκαγιών (Perimeters) με Time Step=60min

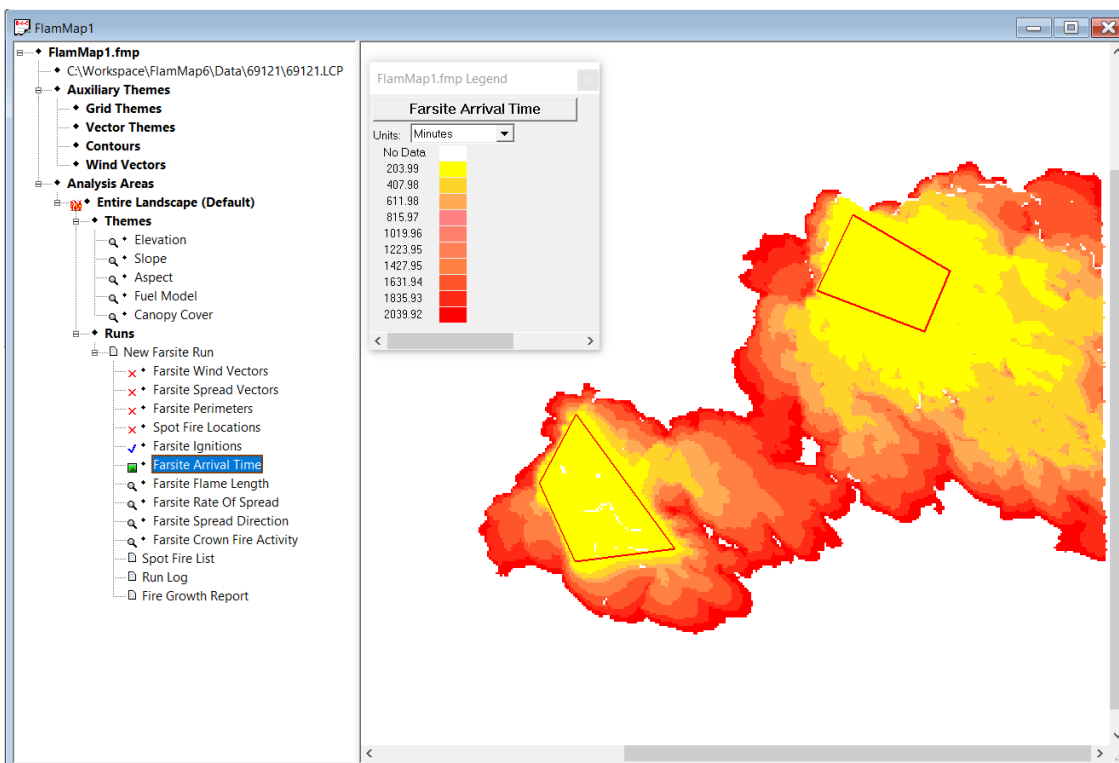
- ➔ Στο πλαίσιο της προσομοίωσης δεν υπάρχουν τοποθεσίες φωτιάς κηλίδων (Spot Fire Locations), καθώς η κηλίδωση εμφανίζεται στη μοντελοποίηση της ενεργής ή παθητικής πυρκαγιάς κόμης [78].
- ➔ Τα σημεία ανάφλεξης (Farsite Ignitions) απαιτούνται για την προσομοίωση των πυρκαγιών.



Εικόνα 28, Σημεία ανάφλεξης στην περιοχή μελέτης (Farsite Ignitions)

Στοιχεία εξόδου ψηφιδωτής μορφής:

- ➔ Arrival Time: Μια αναπαράσταση ASCII του αριθμού των λεπτών που χρειάζεται η φωτιά για να φτάσει σε μια συγκεκριμένη θέση του τοπίου από την πηγή ανάφλεξης [79]. Οι τιμές για κάθε κελί είναι λεπτά, με το μηδέν να είναι η αρχή της πρώτης περιόδου καύσης (12/7 , 14:00) και τη μεγαλύτερη τιμή να είναι περίπου το τέλος της τελευταίας περιόδου καύσης (13/7 , 23:59).



Εικόνα 29, Χρονικά διαστήματα άφιξης πυρκαγιάς (Farsite Arrival Time)

Επιλέγοντας το κουμπί «View Legend» και στη συνέχεια το «Farsite Arrival Time», φαίνεται χρωματικά η ταξινόμηση του χρόνου άφιξης (σε λεπτά) της πυρκαγιάς από τα σημεία ανάφλεξης. Επίσης, από τη στήλη «Frequency» γίνεται αντιληπτό το χρονικό διάστημα χωρίς καύση (12/7 23:00 – 13/7 10:00). Αυτό διευκολύνει τον ορισμό των δύο περιόδων καύσης [76].

**Create/Modify Legend**

Theme: Farsite Arrival Time

Units: Minutes Decimal Places: 2

Data Range: 0.00 - 2039.92

Variable Type:  Continuous Scale  Unique Values

Number of Classes: 11 Apply

Color Ramp: Apply

Predefined Legend: Apply

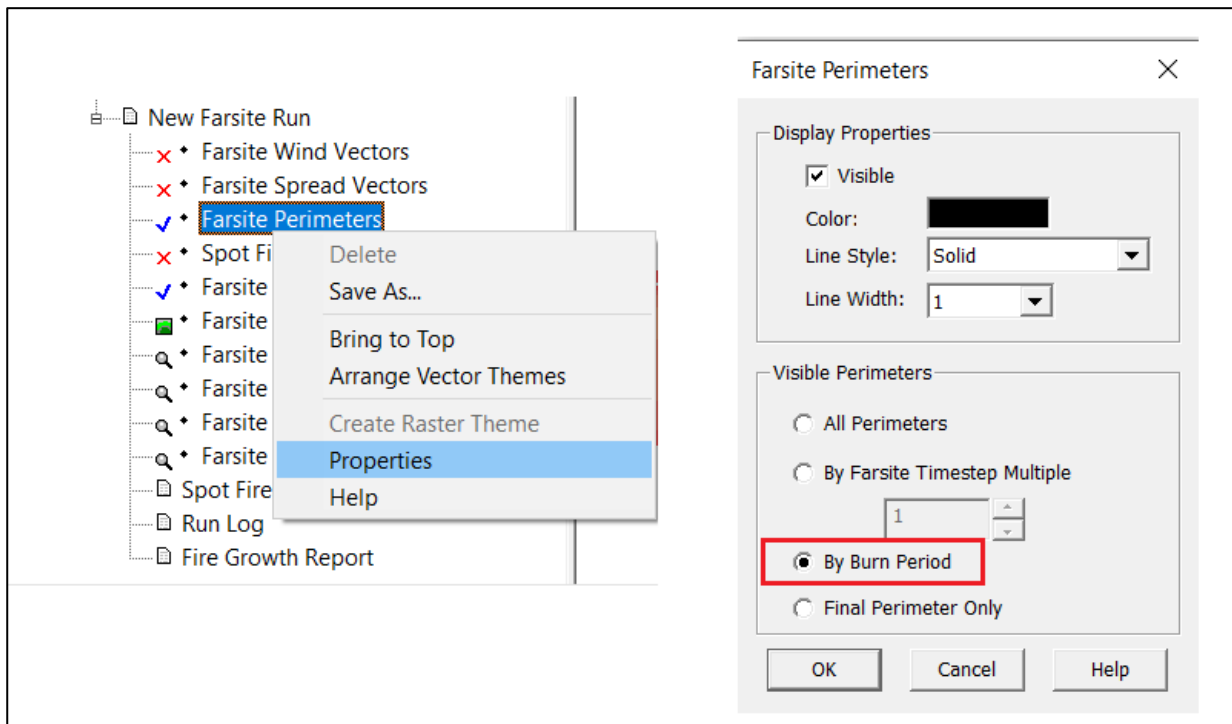
Value	Color	Frequency (Exact Match..)
No Data		178091 (178091)
203.99	Yellow	9912 (0)
407.98	Orange	6045 (0)
611.98	Light Orange	3259 (0)
815.97	Light Red	0 (0)
1019.96	Red	0 (0)
1223.95	Dark Red	0 (0)
1427.95	Dark Orange	5060 (0)
1631.94	Orange	5400 (0)
1835.93	Light Orange	3501 (0)

Buttons: Insert Class, Append Class, Delete Class, Sort Classes, Compact

Buttons: OK, Cancel, Save As..., Help

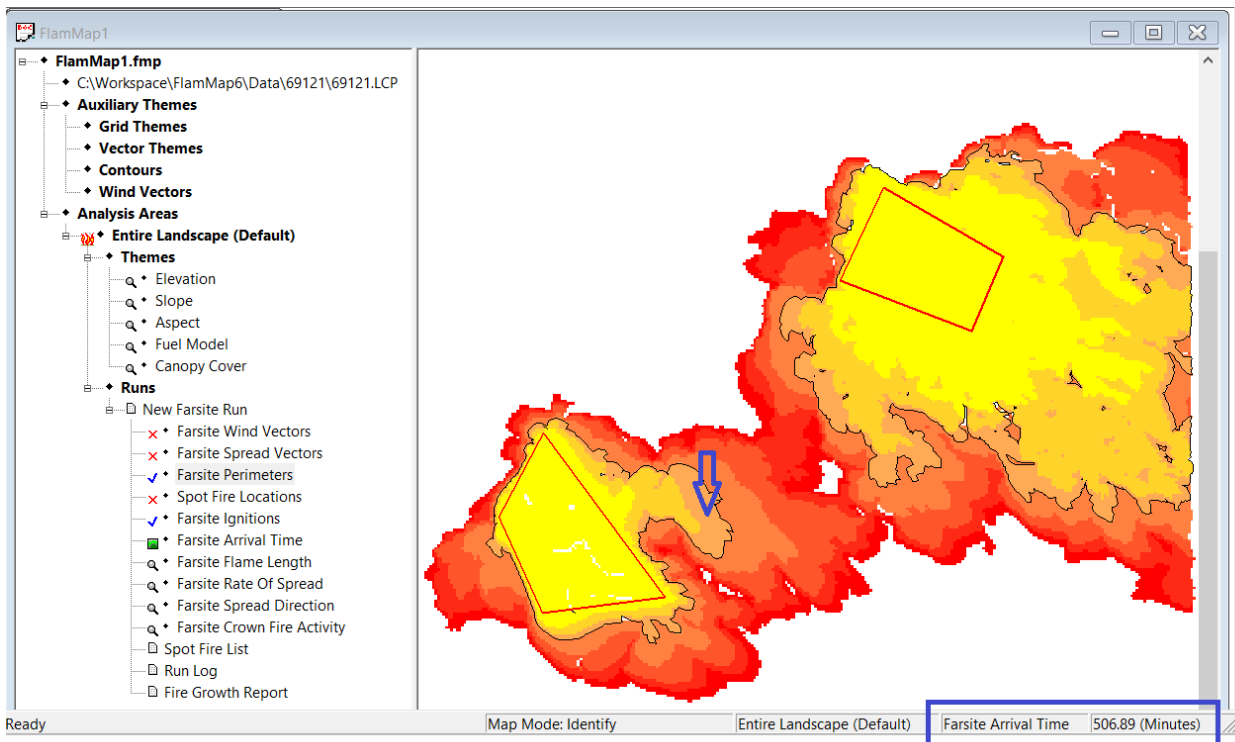
Εικόνα 30, Περίοδος μη καύσης

Ένας ακόμη τρόπος για το διαχωρισμό των περιόδων καύσης, γίνεται με τη χρήση του διανύσματος της περιμέτρου της πυρκαγιάς. Επιλέγοντας από τις ιδιότητες του διανύσματος «Farsite Perimeters», την εμφάνιση της περιμέτρου ανά περίοδο καύσης, γίνεται η αναπαράσταση της περιμέτρου της πυρκαγιάς και στα δύο σημεία ανάφλεξης για την πρώτη περίοδο καύσης (μαύρο περίγραμμα).

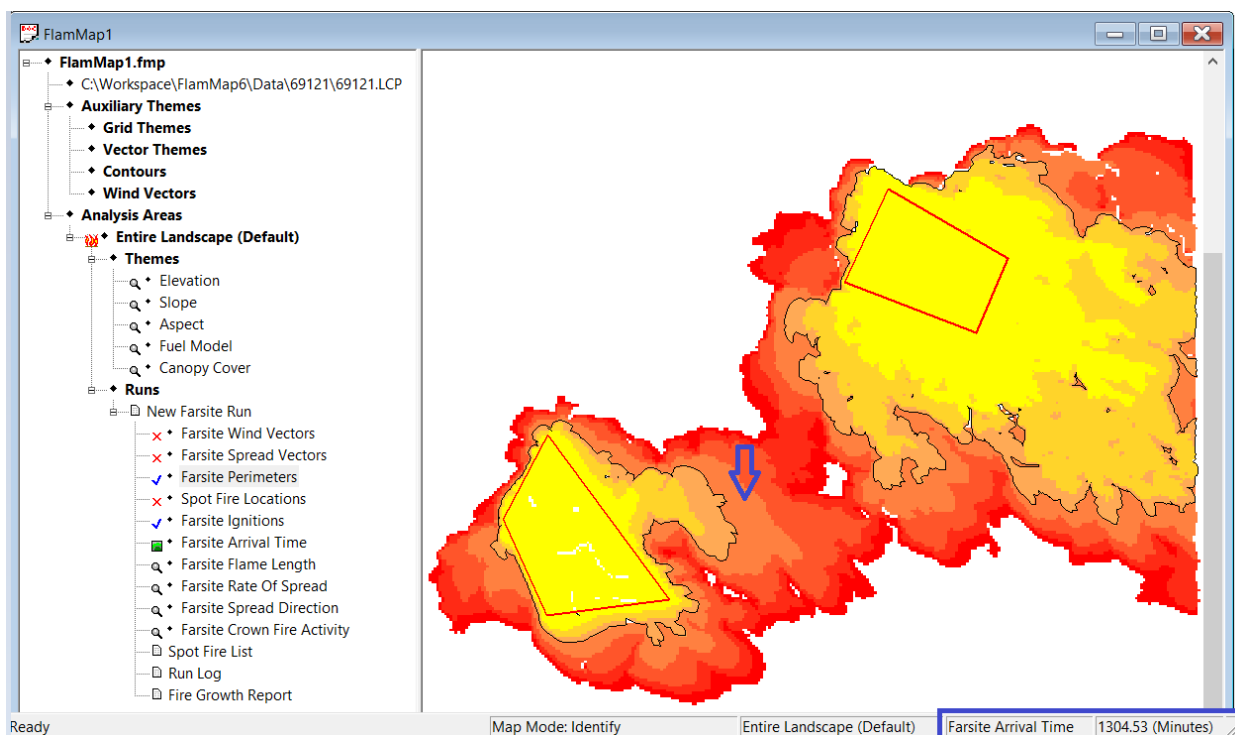


Εικόνα 31, Ιδιότητες διανύσματος "Farsite Perimeters"

Έχοντας τον κέρσορα του ποντικιού μέσα στο περίγραμμα της πρώτης καύσης, αντικατοπτρίζεται ο απαιτούμενος χρόνος άφιξης της πυρκαγιάς σε αυτό το σημείο (506,89 λεπτά). Στη συνέχεια, με τη μετακίνηση του κέρσορα ελάχιστα έξω από την περίμετρο της πρώτης καύσης, παρατηρείται μεγάλη μεταβολή του χρόνου άφιξης της πυρκαγιάς (1304,53 λεπτά). Αυτό οφείλεται στο χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της πρώτης και δεύτερης καύσης, δηλαδή της περιόδου μη καύσης.



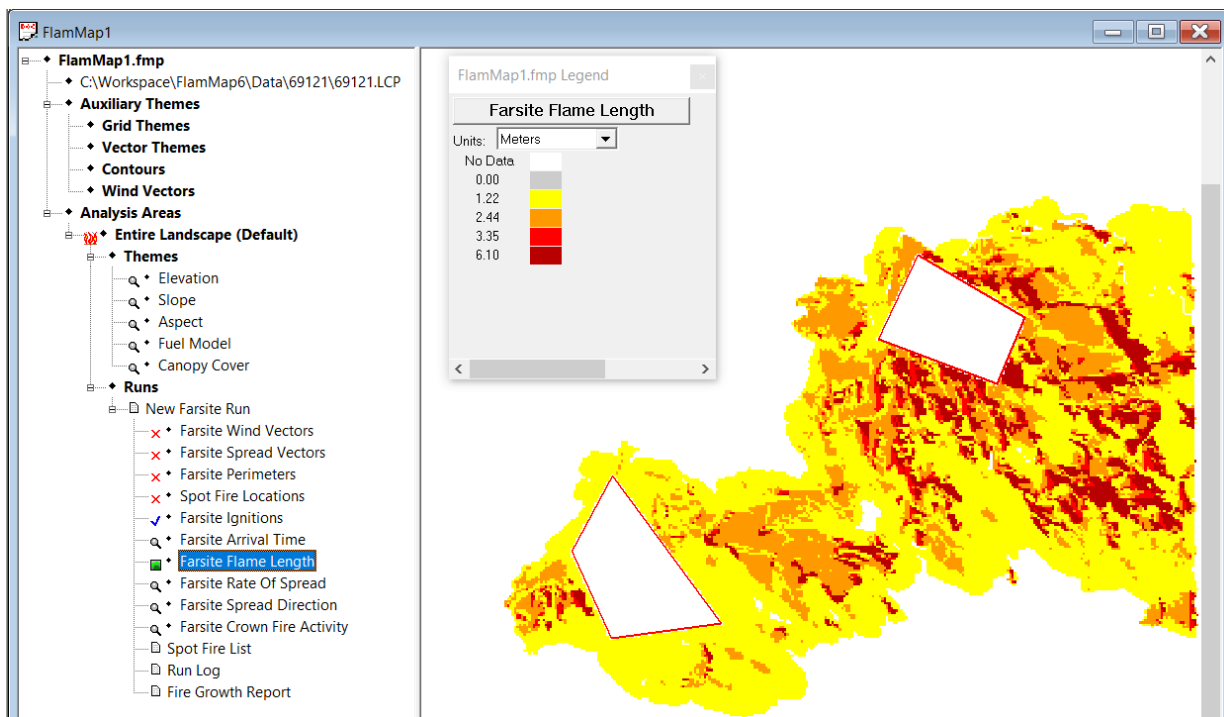
Εικόνα 32, Χρόνος άφιξης πυρκαγιάς εντός της πρώτης καύσης



Εικόνα 33, Χρόνος άφιξης πυρκαγιάς εντός της δεύτερης καύσης



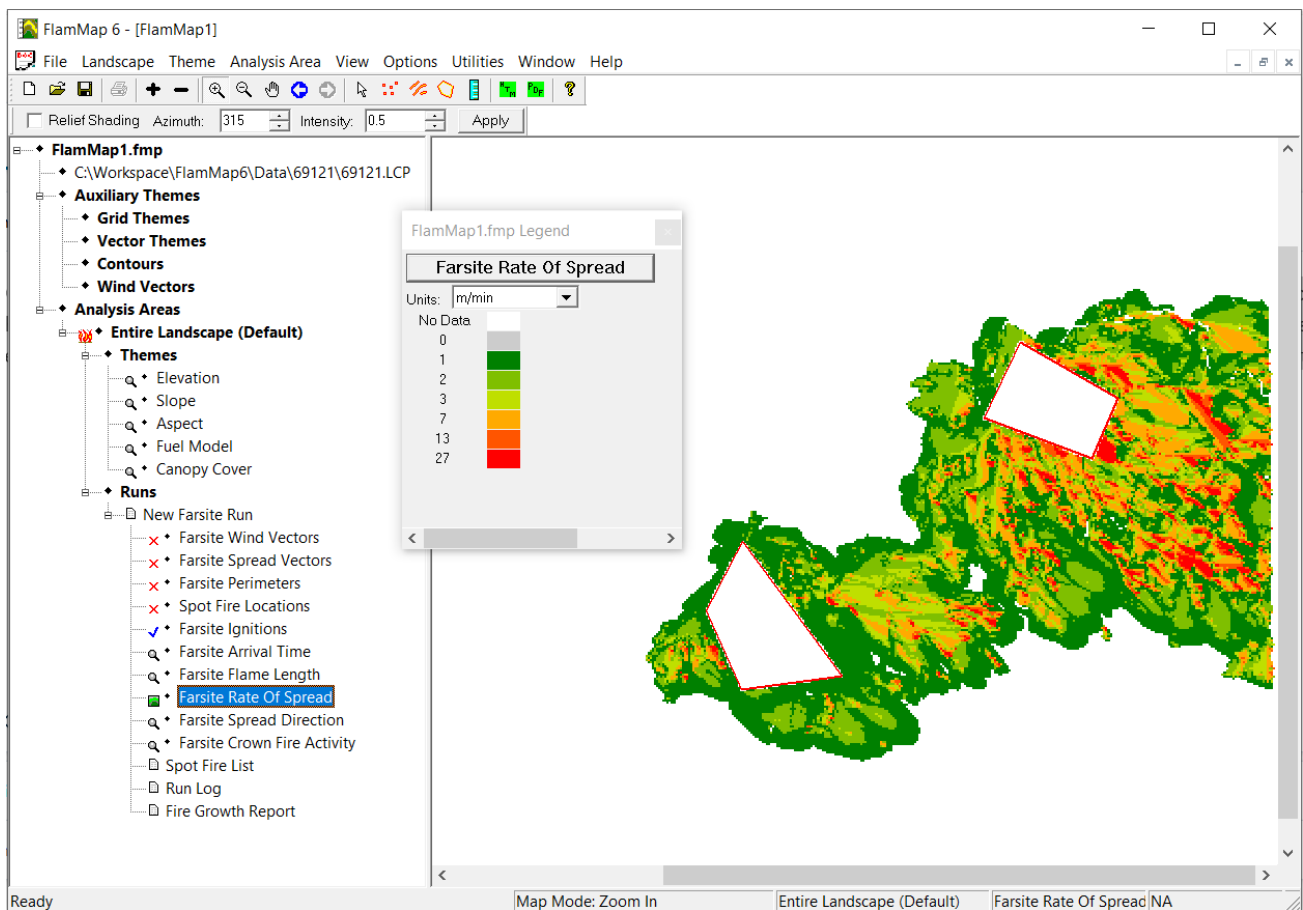
- ➔ Flame Length: Ένα ακόμη στοιχείο εξόδου της προσομοίωσης είναι το μήκος φλόγας, το οποίο οι μονάδες μέτρησής του είναι είτε σε μέτρα (meters), είτε σε πόδια (feet).



Εικόνα 34, Μήκη φλόγας (Farsite Flame Length)

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, υπάρχει μεγαλύτερο μήκος φλόγας στα σημεία του τοπίου με μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης κόμης των δέντρων (βλ. Εικόνες 12-13).

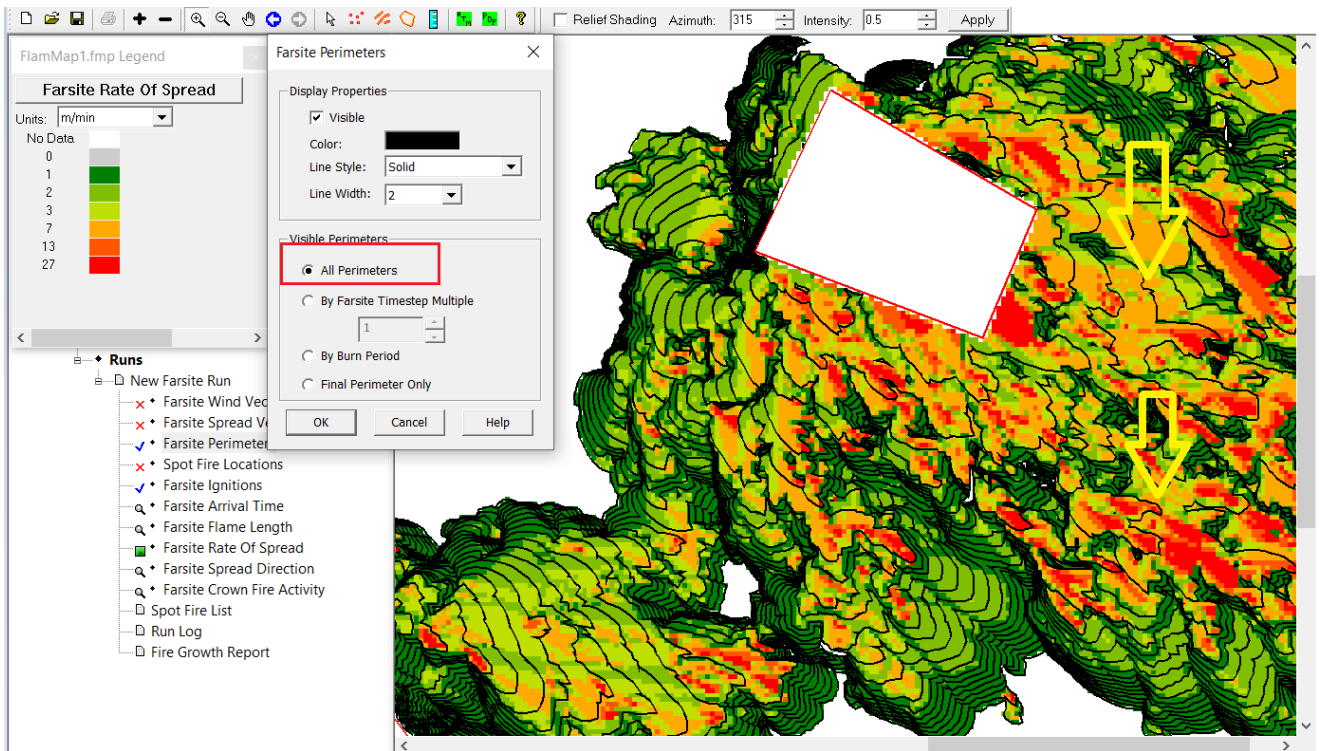
- ➔ Rate Of Spread: Σύμφωνα με τον Rothermel [42], ο ρυθμός διάδοσης της πυρκαγιάς (ROS), ορίζεται ως η οριζόντια απόσταση που καλύπτει η πυρκαγιά ανά μονάδα χρόνου. Οι μονάδες μέτρησης μπορούν να είναι αλυσίδες/ώρα (Chains/hr), πόδια/λεπτά (ft/min) ή μέτρα/λεπτά (m/min) [80].



Εικόνα 35, Ρυθμός διάδοσης πυρκαγιάς (Farsite Rate Of Spread)

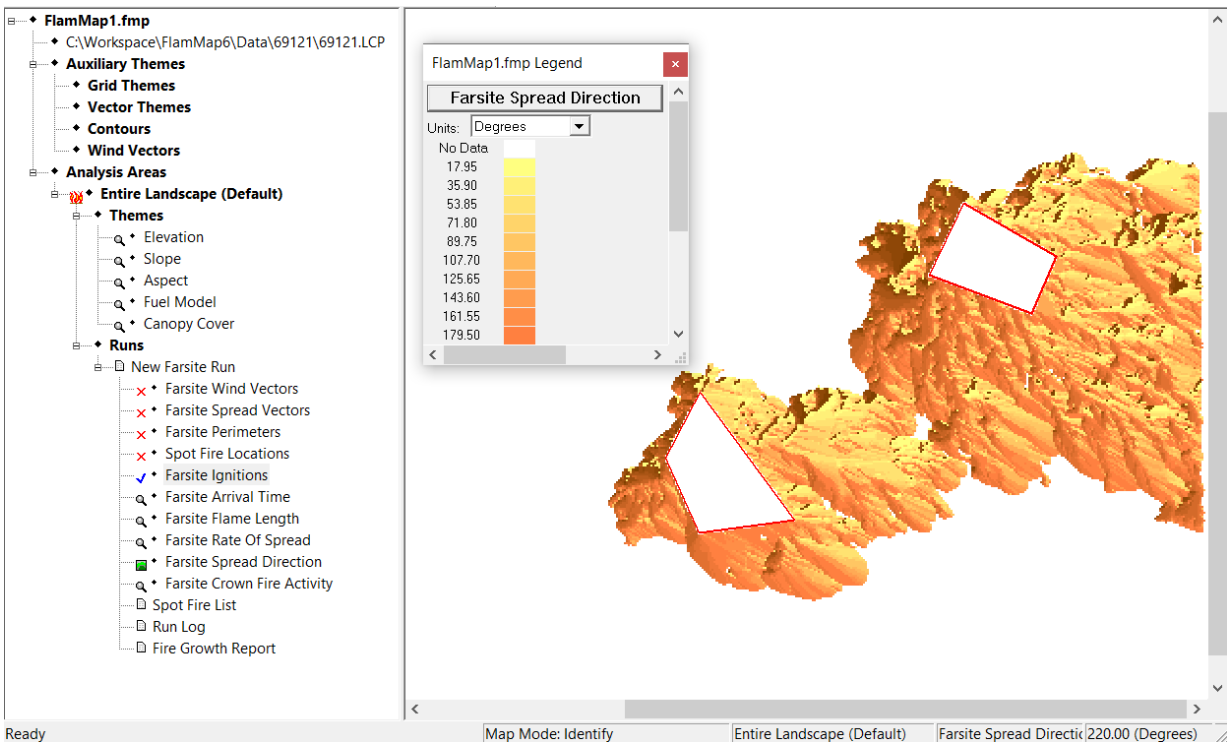
Παρόμοια με το θέμα του πλέγματος εξόδου «Flame Length», παρατηρείται ισχυρότερη εξάπλωση της φωτιάς στα σημεία του τοπίου με μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης κόμης.

Επίσης, ο ρυθμός διάδοσης συναρτῆσει ενός καθορισμένου χρονικού διαστήματος (Time Step=60min), μετρά την απόσταση που καλύπτει η πυρκαγιά από οποιοδήποτε συγκεκριμένο σημείο της περιμέτρου της πυρκαγιάς, σε κάθετη κατεύθυνση προς την περίμετρο [41]. Αυτό σημαίνει, ότι στα σημεία του τοπίου με μεγαλύτερο ρυθμό εξάπλωσης, η περίμετρος είναι ευρύτερη (Εικόνα 32) [76].



Εικόνα 36, Ευρύτερη περίμετρος στα σημεία με μεγαλύτερο ρυθμό εξάπλωσης πυρκαγιάς

➔ **Farsite Spread Direction:** Το θέμα πλέγματος εξόδου «Κατεύθυνση Διάδοσης» αναφέρεται στην κατεύθυνση της προσομοιωμένης πυρκαγιάς στο συγκεκριμένο σημείο του τοπίου [81].



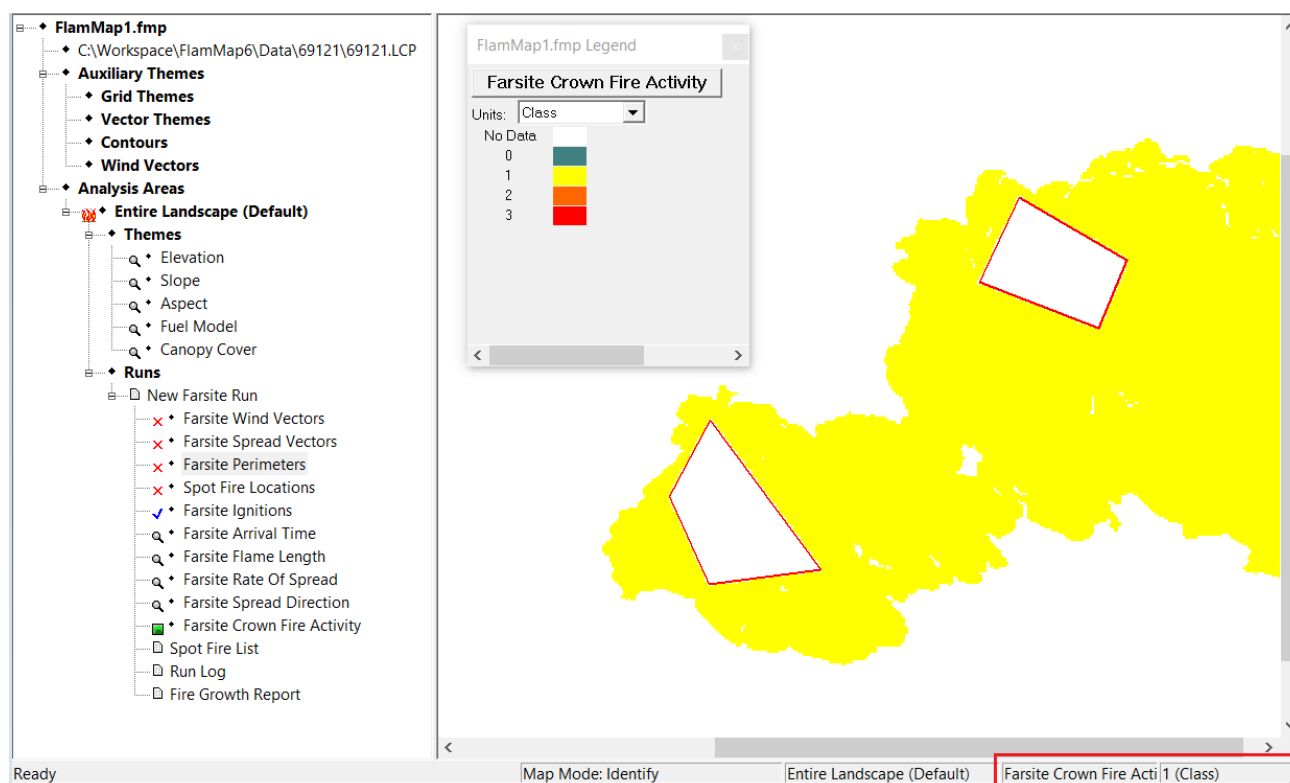
Εικόνα 37, Κατεύθυνση διάδοσης πυρκαγιάς (Farsite Spread Direction)

➔ Farsite Crown Fire Activity: Το θέμα του πλέγματος εξόδου δραστηριότητας πυρκαγιάς κόμης έχει ταξινομημένα τα κελιά σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

Ταξινόμηση κόμης	Τιμή Κελιού	Χαρακτηριστικό	Χρώμα
Καμία πυρκαγιά	0		Πράσινο
Επιφανειακή πυρκαγιά	1		Κίτρινο
Παθητική πυρκαγιά κόμης (πυρπόληση)	2		Πορτοκαλί
Ένεργη πυρκαγιά κόμης	3		Κόκκινο

Πίνακας 4, Κατηγορίες πυρκαγιών [82]

Στην περιοχή μελέτης, έχει επιλεγθεί εξ' ολοκλήρου η ανάλυση επιφανειακής πυρκαγιάς (κίτρινο χρώμα). Αυτό σημαίνει, ότι δεν υπάρχει δραστηριότητα πυρκαγιάς κόμης, καθώς στο αρχείο .LCP δεν υπάρχουν τα προαιρετικά θέματα δεδομένων του ύψους βάσης (SH), του ύψους βάσης κόμης (CBH) και της πυκνότητας όγκου κόμης (CBD).



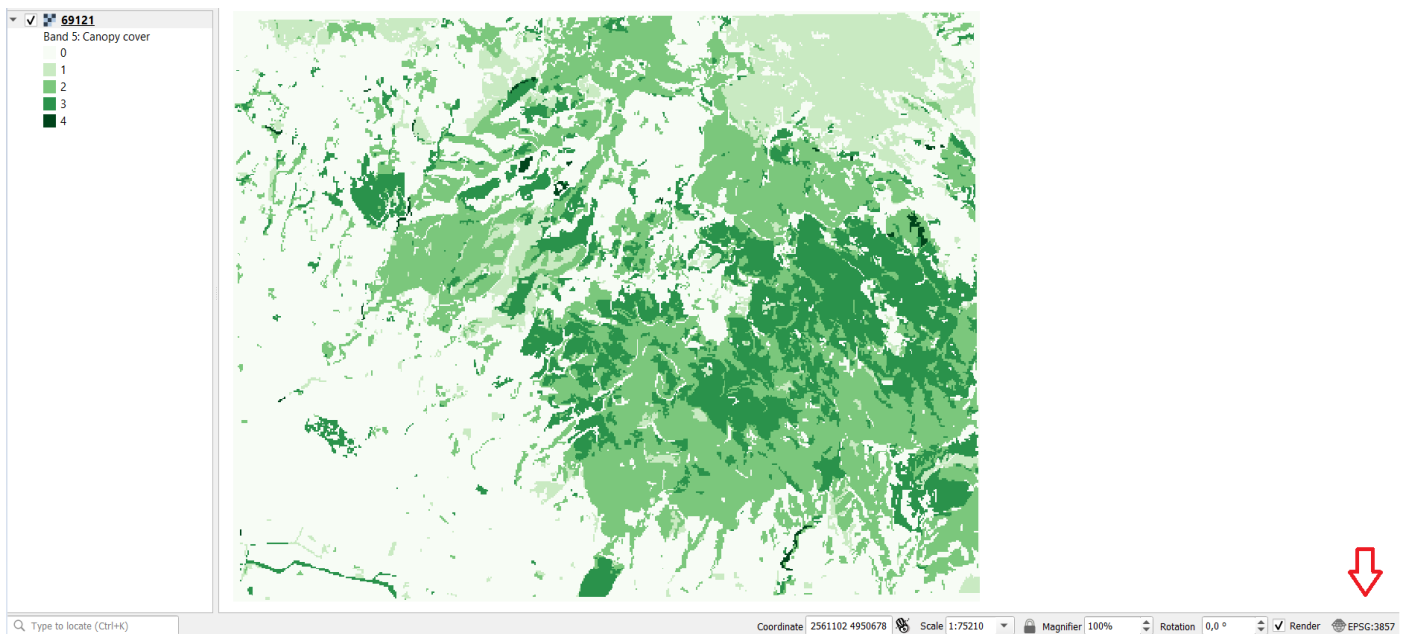
Εικόνα 38, Δραστηριότητα επιφανειακής πυρκαγιάς

# Κεφάλαιο 6: QGIS

## 6.1 Εισαγωγή δεδομένων στο QGIS

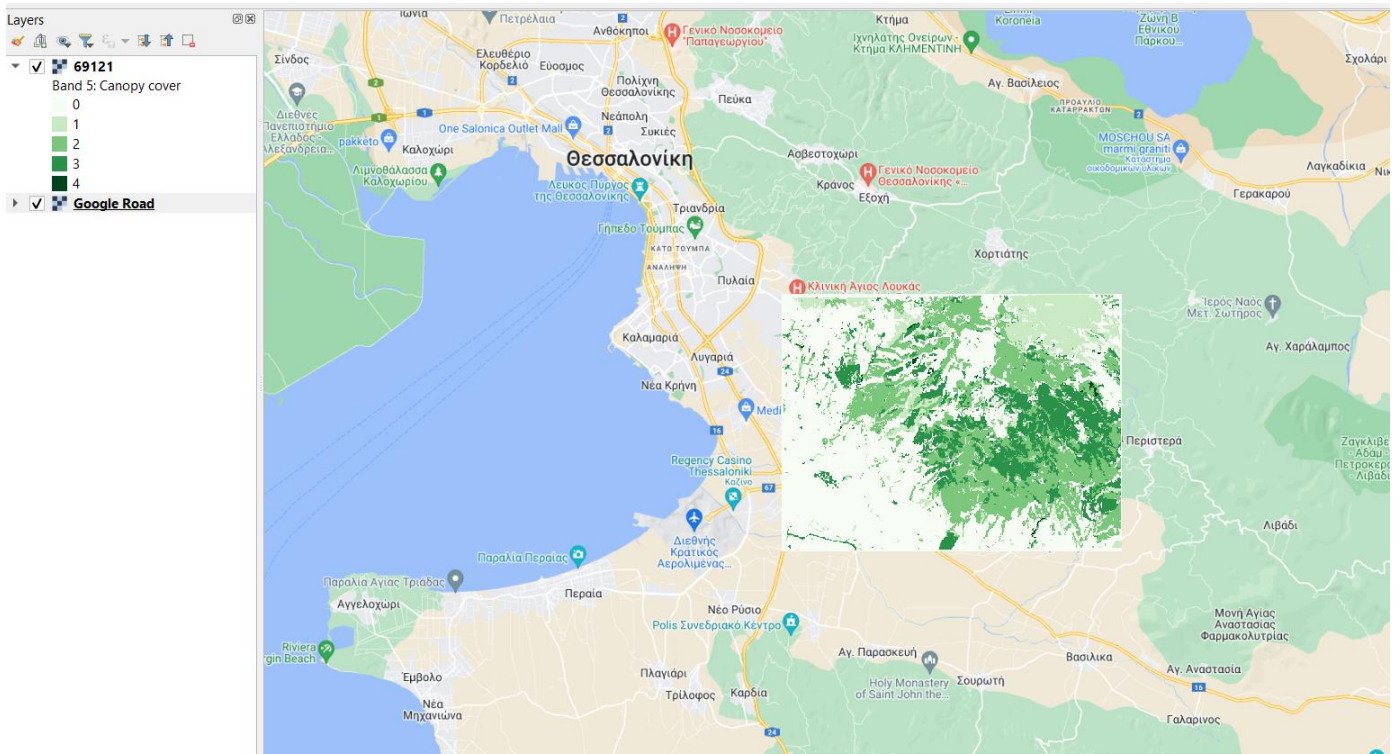
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα εξής:

- η περιοχή μελέτης (αρχείο .LCP). Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι το ESPG:3857 -WGS 84 / Pseudo-Mercator, το οποίο χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση των χαρτών της Google (Google Maps), του οδικού δικτύου (Open Street Map) κ.α [83].



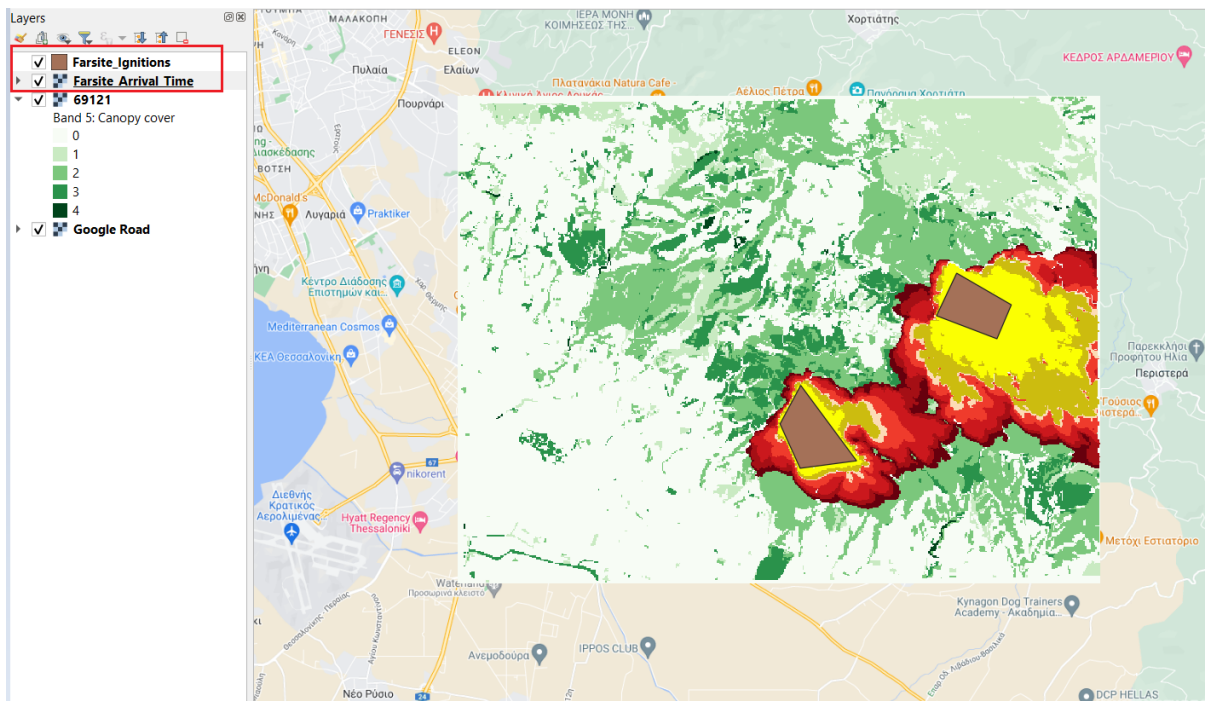
Εικόνα 39, Οπτική αναπαράστη θεματικού χάρτη κάλυψης κόμης στο QGIS

- το χαρτογραφικό υπόβαθρο της Google



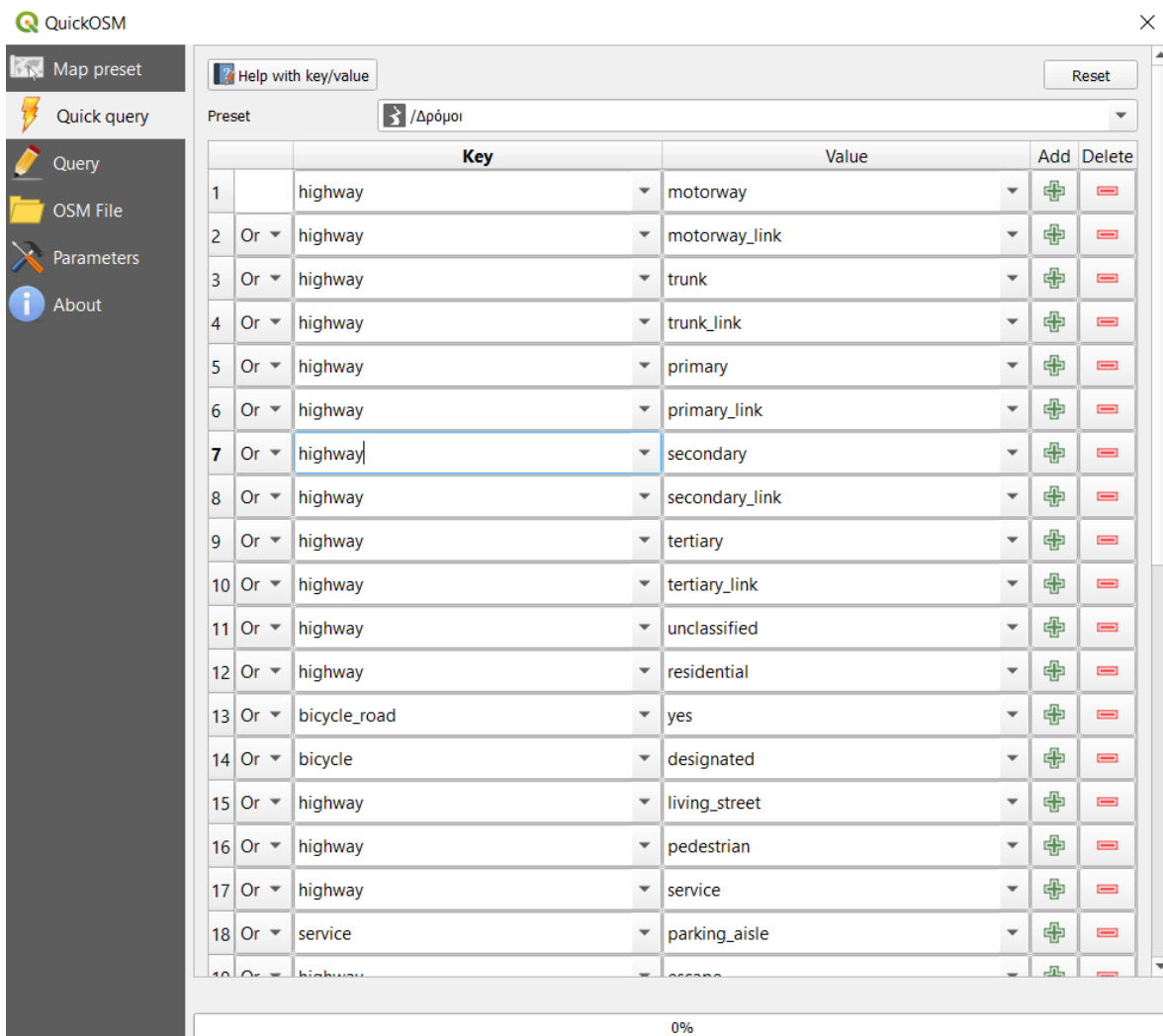
Εικόνα 40, Οδικός χάρτης της Google

➔ Στοιχεία εξόδου του προσομοιωτή FlamMap

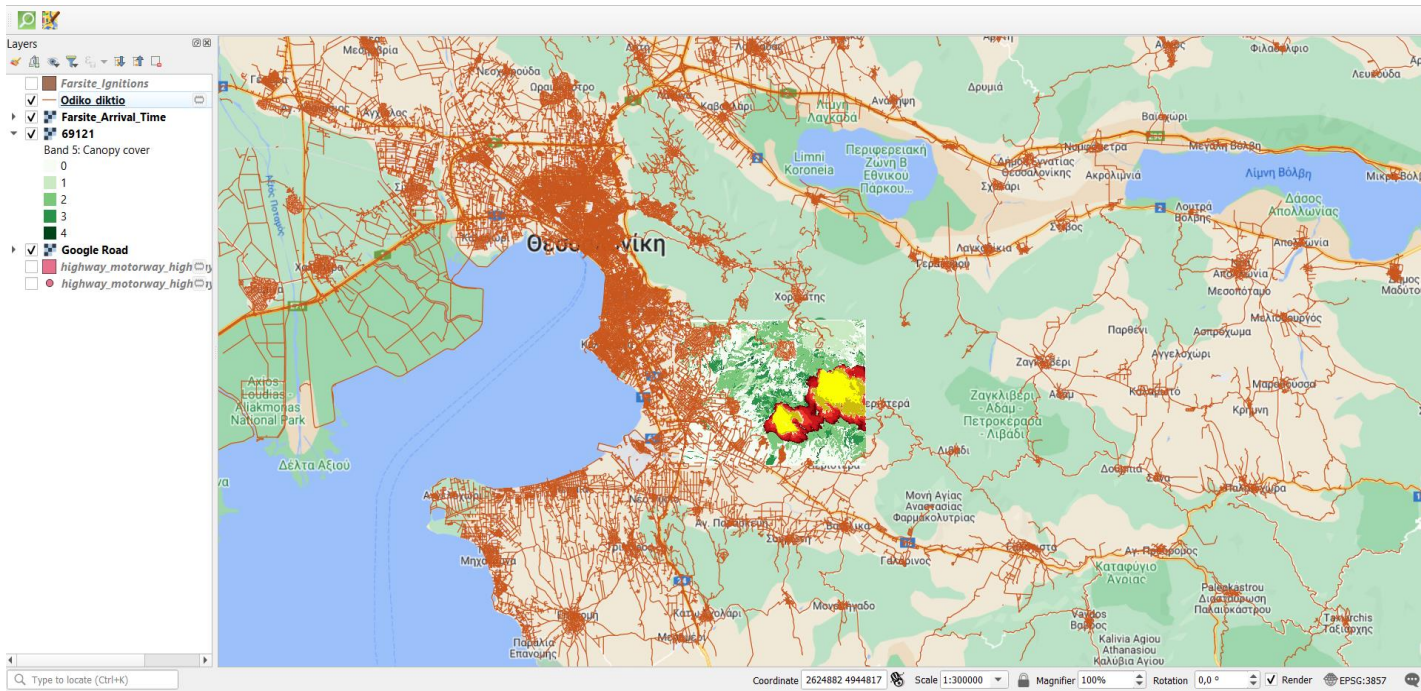


Εικόνα 41, Οπτικοποίηση σημείων αναφλέξης φωτιάς και χρόνου άφιξης της πυρκαγιάς

- ➔ Το οδικό δίκτυο της περιοχής από το plugin QuickOSM. Το οδικό δίκτυο (OpenStreetMap - OSM) προσφέρει «ανοιχτά» δεδομένα χάρτη σε χιλιάδες ιστοτόπους, εφαρμογές κινητού και συσκευές υλισμικού. Αναπτύσσεται από μια κοινότητα χαρτογράφων, οι οποίοι συνεισφέρουν και διατηρούν δεδομένα σχετικά με μονοπάτια, δρόμους, σιδηροδρομικούς σταθμούς, καφετέριες και πολλά ακόμη, σε όλον τον κόσμο. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούν συσκευές GPS, αεροφωτογραφίες και τοπικούς χάρτες χαμηλής τεχνολογίας για να σιγουρευτούν πως το OSM είναι ενημερωμένο και ακριβές [84]. Το οδικό δίκτυο μιας χώρας αποτελεί το σημαντικότερο επίπεδο πληροφοριών για ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών, ιδιαίτερα για εφαρμογές ΓΣΠ, πλοήγησης, βελτιστοποίηση δρομολόγησης οχημάτων, παρακολούθησης στόλου οχημάτων κ.α. Οι εφαρμογές αυτές απαιτούν την ύπαρξη δομημένης πληροφορίας, η οποία πρέπει να περιλαμβάνει αξιόπιστες περιγραφικές πληροφορίες (attributes) και σωστά γεωμετρικά στοιχεία για την κατάσταση του οδικού δικτύου [85].

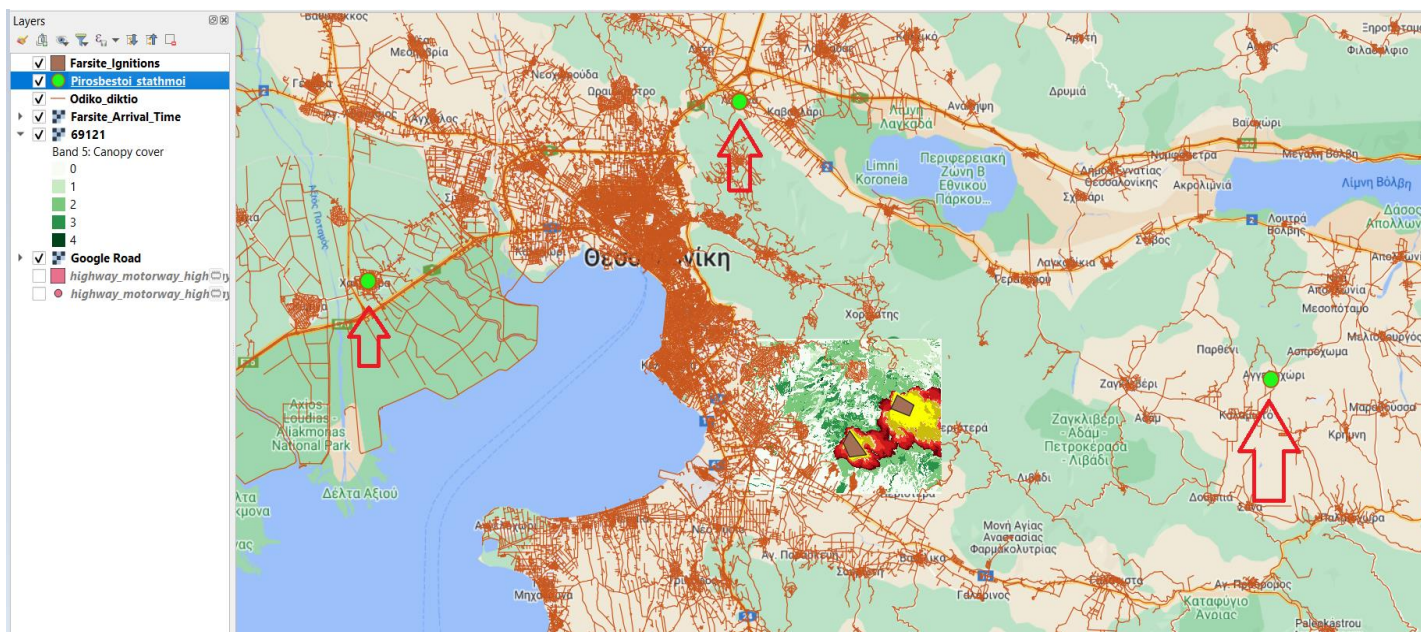


Εικόνα 42, QuickOSM plugin



Εικόνα 43, Οδικό δίκτυο με έκταση τον καμβά της εικόνας

➔ Θεωρητικοί πυροσβεστικοί σταθμοί για την άμεση δράση κατάσβεσης της πυρκαγιάς



Εικόνα 44, Τρεις θεωρητικοί πυροσβεστικοί σταθμοί βόρεια, ανατολικά και δυτικά από την περιοχή μελέτης προσομοίωσης πυρκαγιών



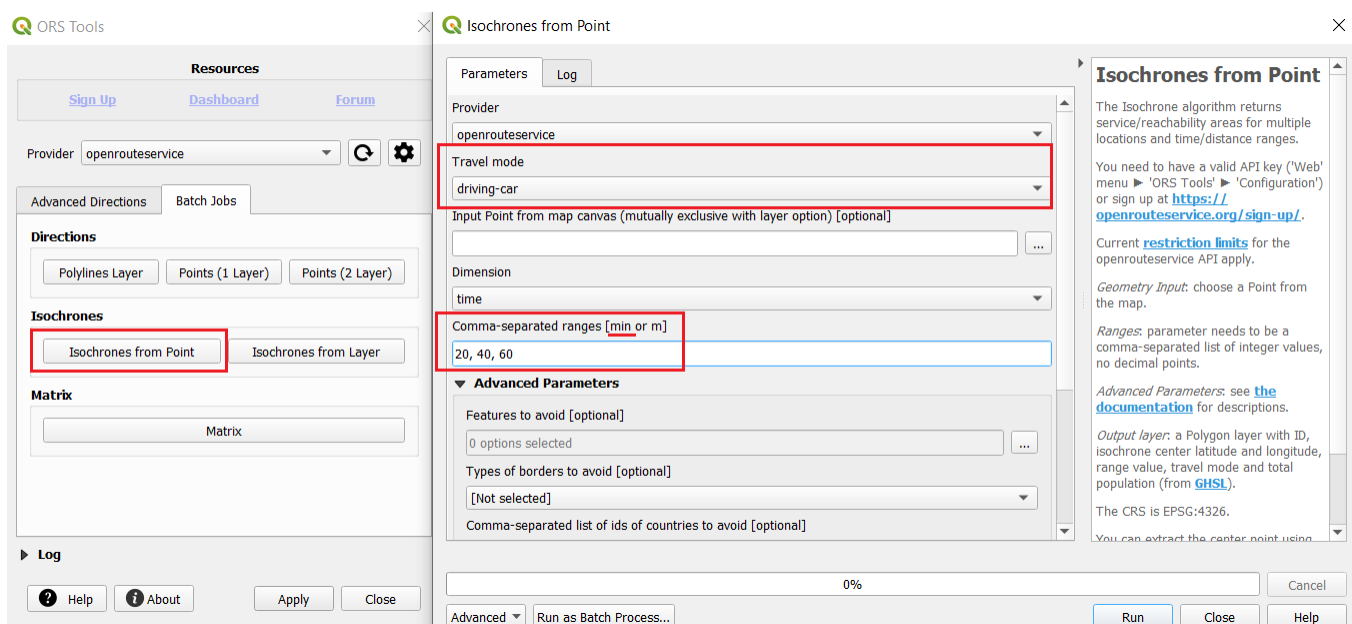
## 6.2. Κριτήρια λήψης αποφάσεων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο «ORS Tools<sup>6</sup>», το οποίο βασίζεται στο οδικό δίκτυο (OpenStreetMap), παρέχοντας πρόσβαση στις περισσότερες από τις λειτουργίες του [openrouteservice.org](https://openrouteservice.org)<sup>7</sup>. Το εργαλείο ORS περιλαμβάνει αλγόριθμους υπολογισμών ισοχρονικών (isochrones), δρομολόγησης (routing) και υπολογισμών πινάκων (Matrix). Για την εξαγωγή κριτηρίων λήψης αποφάσεων χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά ο αλγόριθμος των ισοχρονικών [86].

### Αλγόριθμος Isochrones from Point:

Οι ισοχρονικές καμπύλες οπτικοποιούν πάνω στο χάρτη περιοχές (πολύγωνα), οι οποίες είναι προσβάσιμες από ένα συγκεκριμένο σημείο του οδικού δικτύου συναρτήσει του χρόνου ή της απόστασης [87].

Η ανάλυση των ισοχρονικών πραγματοποιήθηκε με κριτήριο το χρόνο απόστασης των πυροσβεστικών οχημάτων (driving-car) μεμονωμένα (Isochrones from Point) προς τα σημεία ανάφλεξης. Συγκεκριμένα, το διάστημα των ισοχρονικών που δημιουργήθηκαν ορίστηκε με ακριβείς τιμές των 20, 40 και 60 λεπτών.

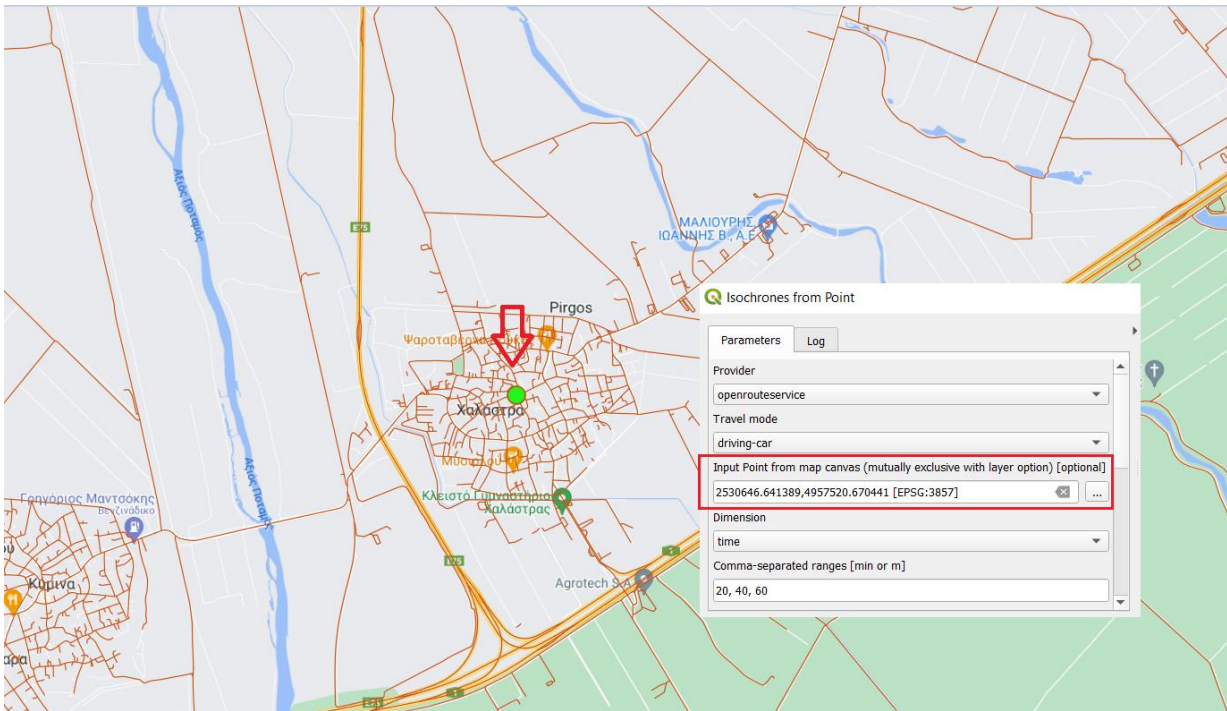


Εικόνα 45, Εισαγωγή παραμέτρων για την εφαρμογή ισοχρονικών

Για την ολοκλήρωση της παραμετροποίησης του αλγορίθμου για τον πρώτο από τους τρεις θεωρητικούς πυροσβεστικούς σταθμούς, επιλέχθηκε από τον καμβά ο δυτικότερος, ο οποίος βρίσκεται στη Χαλάστρα Θεσσαλονίκης.

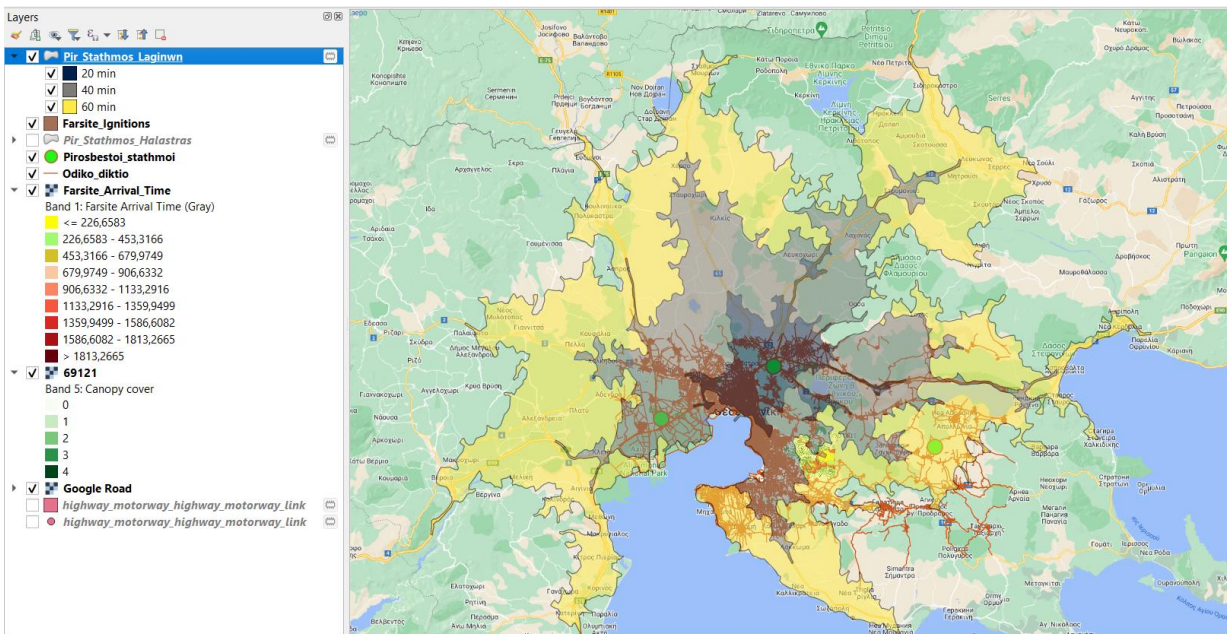
<sup>6</sup> <https://github.com/GIScience/orstools-qgis-plugin>

<sup>7</sup> Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στην υπηρεσία [openroute](https://openrouteservice.org) για τις ισοχρονικές θα πρέπει να είναι κατά πλειοψηφία ένας απλός Dijkstra, με κάποια έξυπνη προεπεξεργασία για τις γρήγορες ισοχρονικές [88].



Εικόνα 46, Πρώτος πυροσβεστικός σταθμός

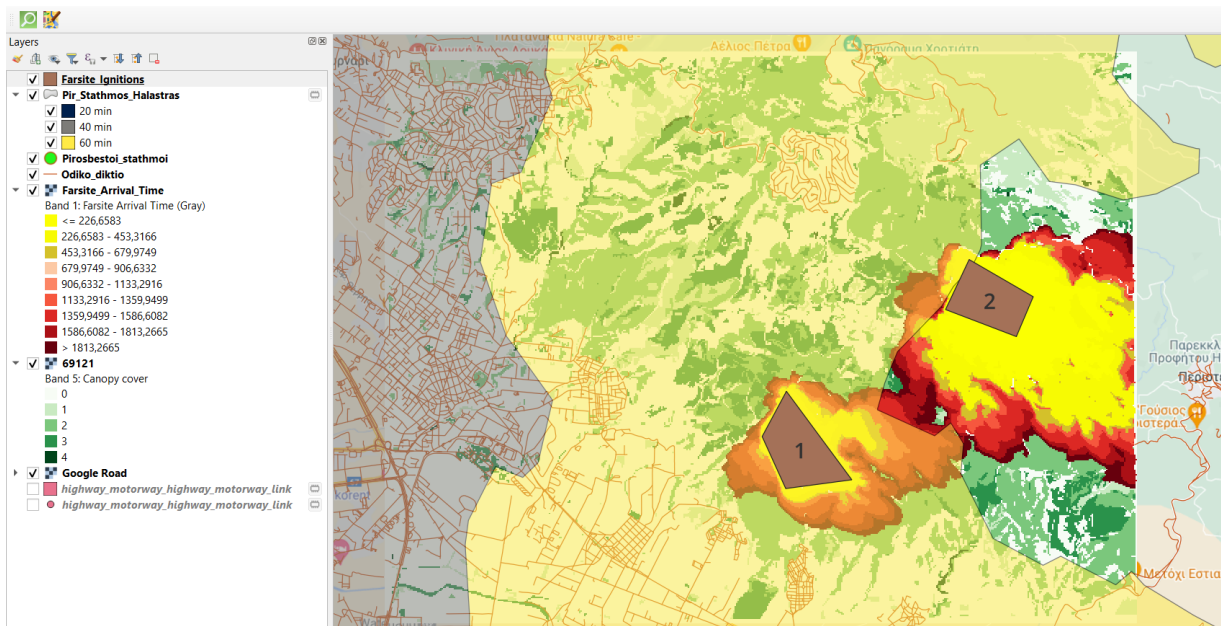
Εκτελώντας τον αλγόριθμο των ισοχρονικών και κάνοντας Zoom Out στο χάρτη παρατηρούνται οι περιοχές προσπελασιμότητας του πυροσβεστικού οχήματος για κάθε χρονική τιμή ξεχωριστά.



Εικόνα 47, Περιοχές προσπελασιμότητας του πρώτου πυροσβεστικού σταθμού

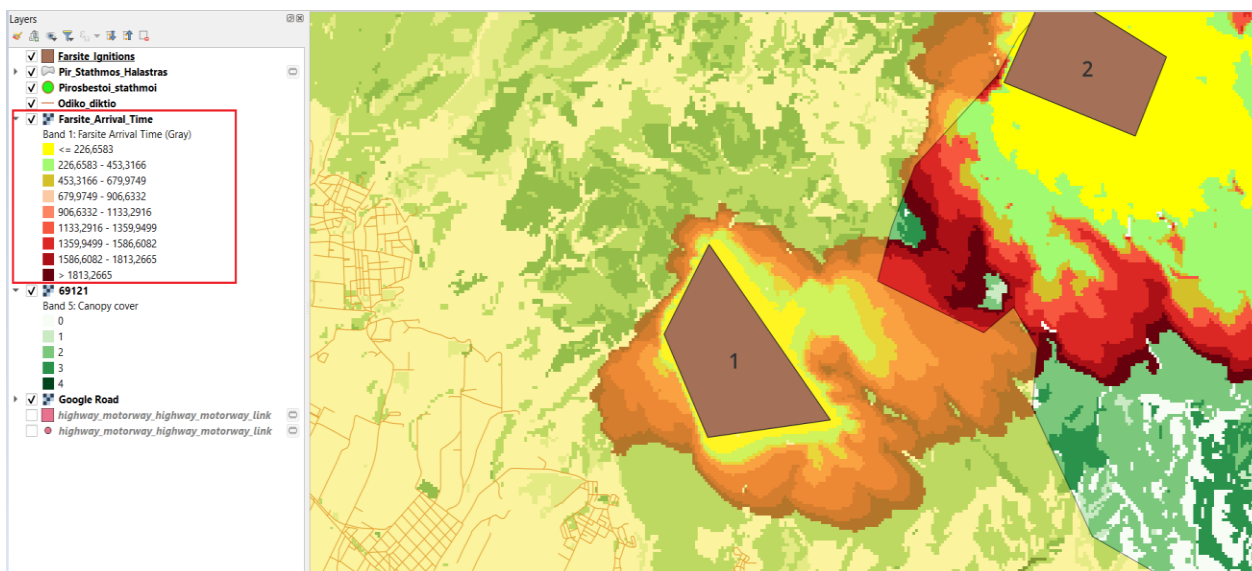
Έπειτα, κάνοντας Zoom In στην περιοχή μελέτης, θα γίνει η ανάλυση των αποτελεσμάτων των ισοχρονικών για κάθε πυροσβεστικό σταθμό και στη συνέχεια θα εξαχθούν συμπεράσματα ως κριτήρια λήψης αποφάσεων από τους διαχειριστές αντιμετώπισης πυρκαγιών.

Αρχικά παρατηρείται, το πυροσβεστικό όχημα της Χαλάστρας να καλύπτει μέσα σε 60 λεπτά (κίτρινο χρώμα) ολόκληρη την περίμετρο της πρώτης σημειακής ανάφλεξης και ένα μικρό τμήμα βόρειο-δυτικά της δεύτερης σημειακής ανάφλεξης.



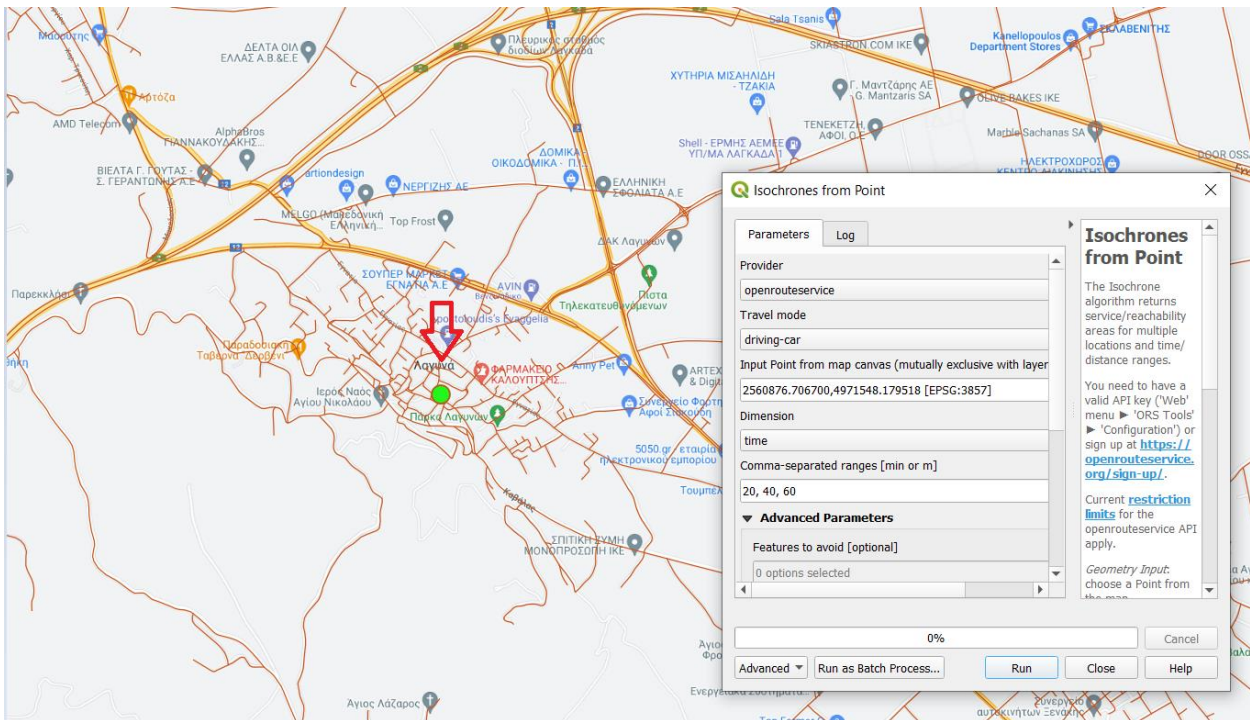
Εικόνα 48, Κριτήριο λήψης αποφάσεων 1

Επιπλέον, ένα σημαντικό κριτήριο απόφασης από τους διαχειριστές για την αντιμετώπιση πυρκαγιών, διαπιστώνεται από την ισοχρονική των 60 λεπτών σε συνδυασμό με τους χρόνους άφιξης της πυρκαγιάς στο τοπίο. Από την παρακάτω εικόνα φαίνεται ότι στην πρώτη σημειακή ανάφλεξη, το πυροσβεστικό όχημα φτάνει έγκαιρα, συγκρίνοντας το χρόνο προσπελασιμότητας/διαθεσιμότητας του οχήματος (60 λεπτά) με το ελάχιστο χρονικό διάστημα άφιξης της πυρκαγιάς στο τοπίο (226,6583 λεπτών – κίτρινο χρώμα).

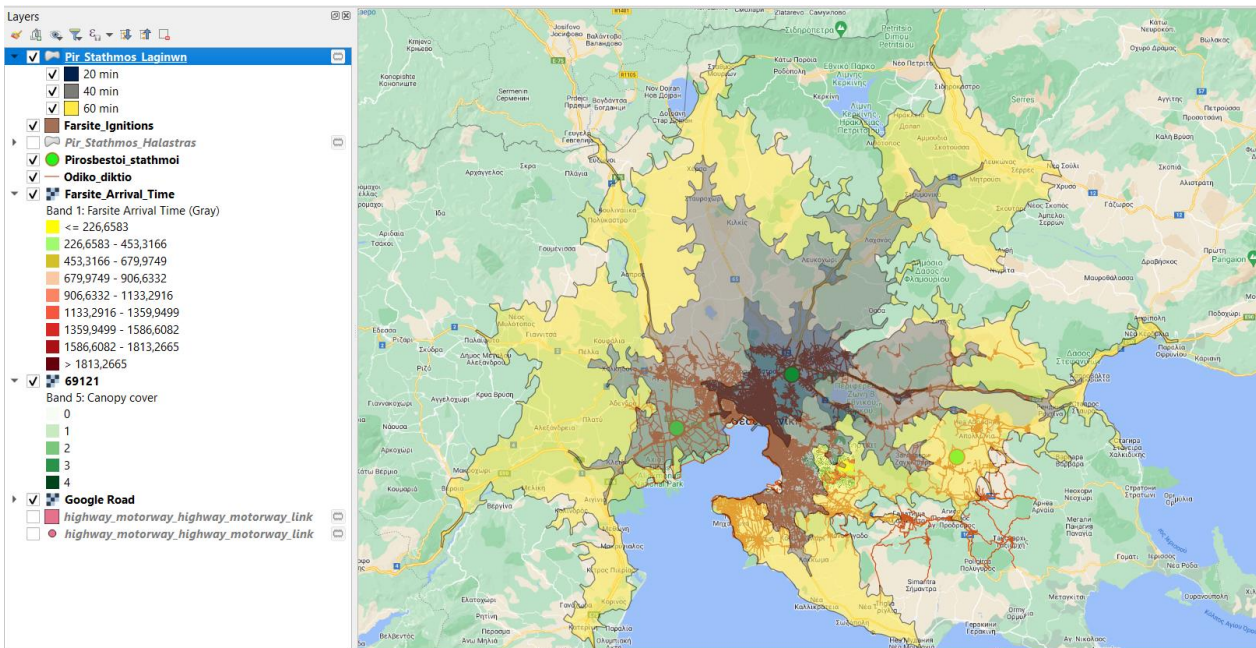


Εικόνα 49, Κριτήριο λήψης αποφάσεων 2

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για τους υπόλοιπους θεωρητικούς πυροσβεστικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα:



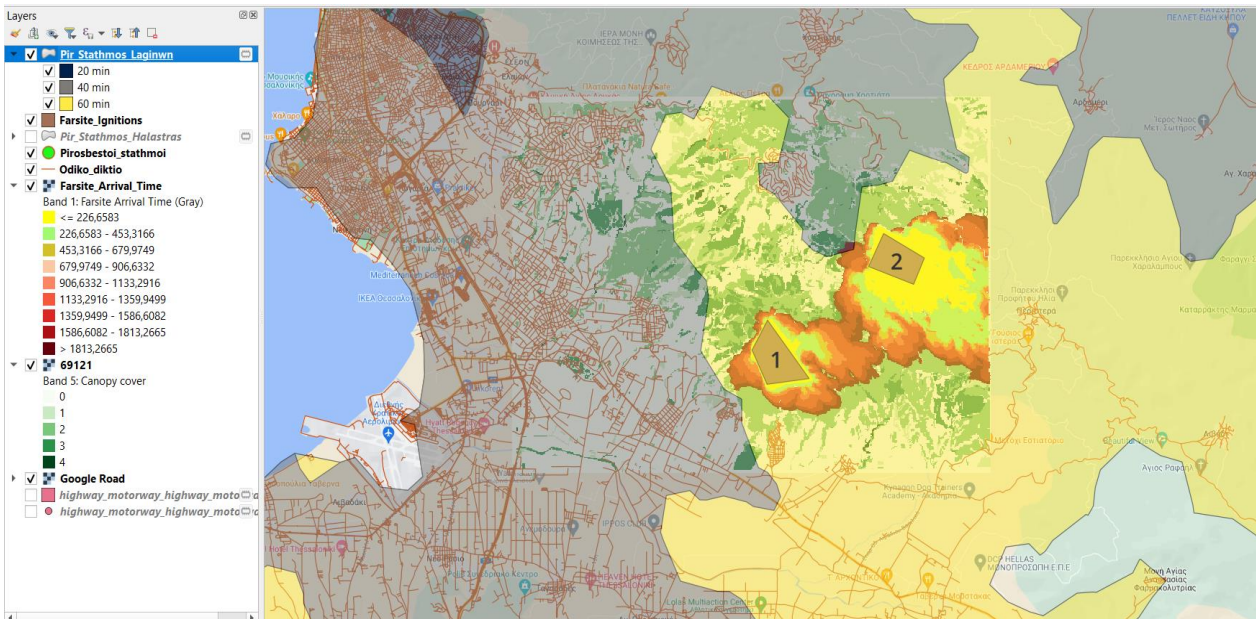
Εικόνα 50, Δεύτερος πυροσβεστικός σταθμός στα Λαγυνά Θεσσαλονίκης



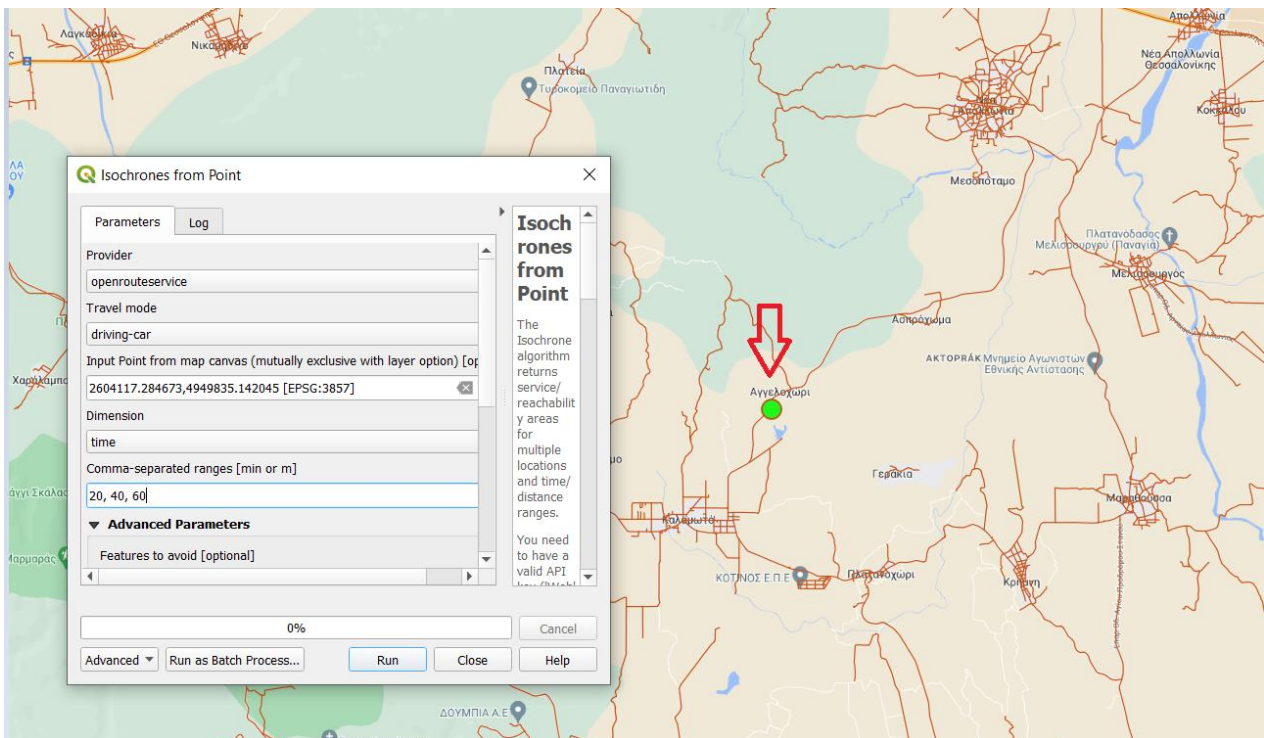
Εικόνα 51, Περιοχές προσπελασιμότητας του δεύτερου πυροσβεστικού σταθμού

Η ισοχρονική του δεύτερου θεωρητικού σταθμού πυρόσβεσης εμφανίζει ευρύτερη περιοχή προσπελασιμότητας του πυροσβεστικού οχήματος στην περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, σε χρονική

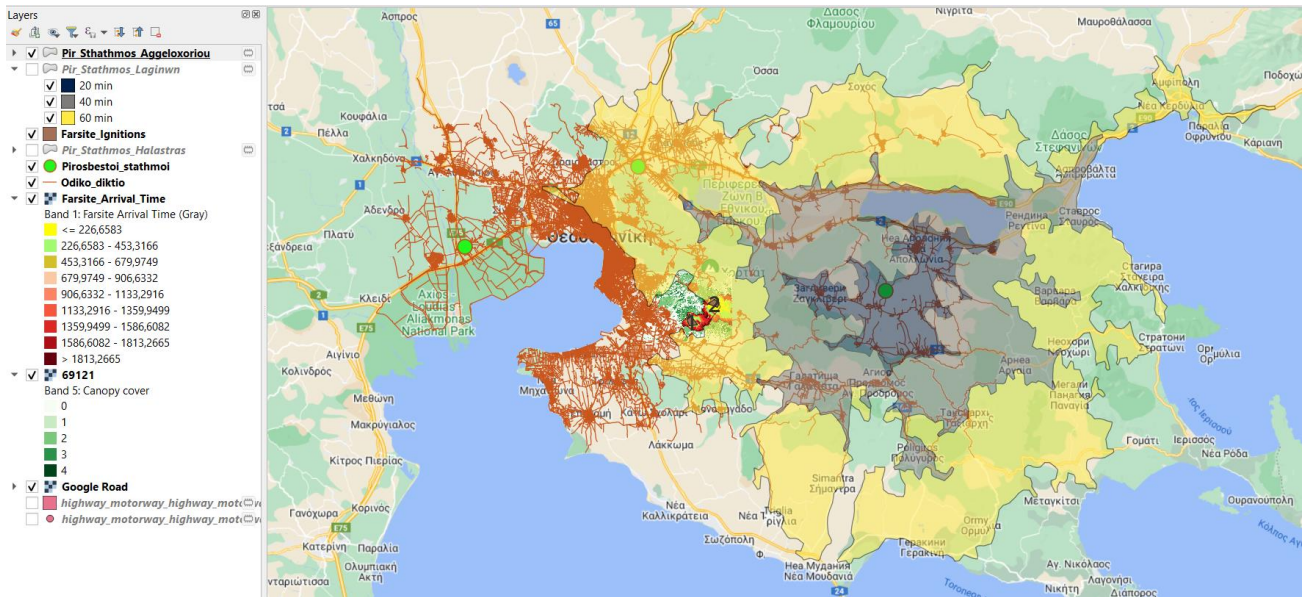
τιμή των 40 λεπτών η περιοχή κάλυψης του πυροσβεστικού οχήματος φτάνει σχεδόν στις σημειακές αναφλέξεις. Επομένως, στο χρονικό διάστημα 40-60 λεπτών ο πυροσβεστικός σταθμός Λαγυνών καλύπτει πλήρως και τις δύο σημειακές αναφλέξεις.



Εικόνα 52, Κριτήριο λήψης αποφάσεων 3

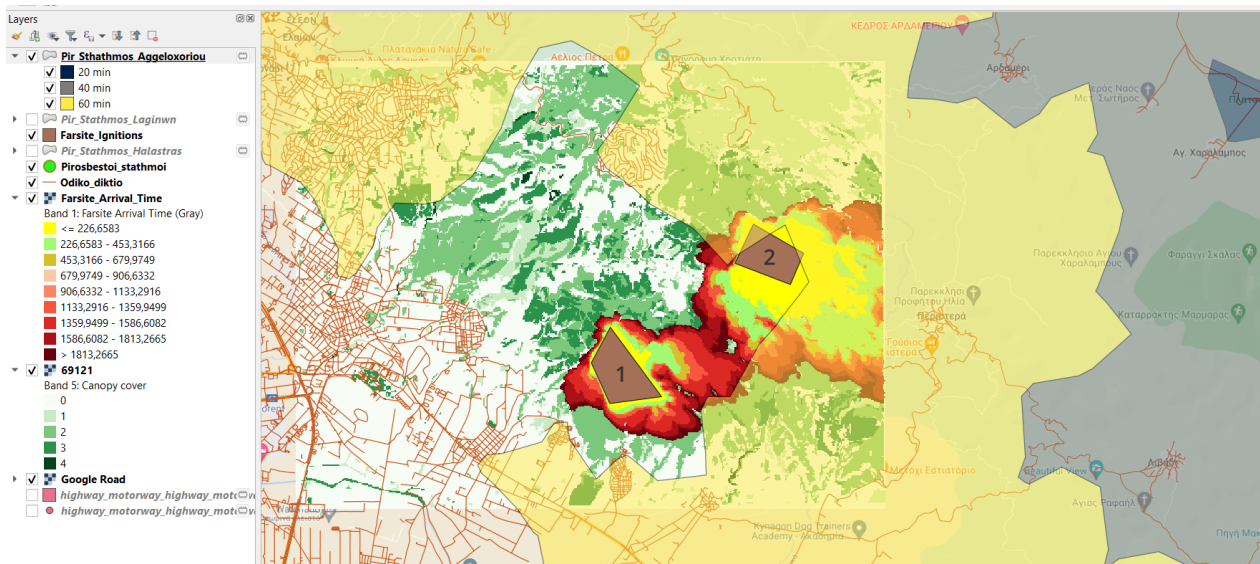


Εικόνα 53, Τρίτος πυροσβεστικός σταθμός στο Αγγελοχώρι Θεσσαλονίκης



Εικόνα 54, Περιοχές προσπελασιμότητας του τρίτου πυροσβεστικού σταθμού

Η ισοχρονική του τρίτου θεωρητικού σταθμού πυρόσβεσης έχει τη δυνατότητα προσπελασιμότητας στην περιοχή μελέτης μόνο στη χρονική τιμή των 60 λεπτών από το σημείο έναρξης. Συγκεκριμένα, το πυροσβεστικό όχημα του Αγγελοχωρίου μπορεί να καταφθάσει έγκαιρα στην εξάπλωση της πυρκαγιάς της δεύτερης σημειακής ανάφλεξης, με εξαίρεση ενός τμήματος της νότιο-ανατολικής πλευράς της. Όσον αφορά την εξάπλωση της πρώτης σημειακής ανάφλεξης δεν έχει τη δυνατότητα προσπελασιμότητας σε 60 λεπτά.



Εικόνα 55, Κριτήριο λήψης αποφάσεων 4

## 6.3. Συμπεράσματα

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια λήψης αποφάσεων συνάγονται τα παρακάτω συμπεράσματα:

- 1) Οι ισοχρονικές για τις τιμές των 20 και 40 λεπτών προσπελασιμότητας των πυροσβεστικών οχημάτων από κάθε πυροσβεστικό σταθμό, δεν αποτελούν σενάρια άμεσης δράσης για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών, καθώς τα πυροσβεστικά οχήματα δεν καταφθάνουν στα σημεία ανάφλεξης.
- 2) Οι ισοχρονικές των 60 λεπτών από κάθε πυροσβεστικό σταθμό καλύπτουν εν μέρει ή εξ' ολοκλήρου τα σημεία ανάφλεξης. Επομένως, μπορούν να ληφθούν από τους διαχειριστές αντιμετώπισης πυρκαγιών, σχέδια άμεσης δράσης.
- 3) Παραδείγματα σχεδίων άμεσης δράσης είναι ο συνδυασμός αποστολής πυροσβεστικών οχημάτων από το σταθμό των Λαγυνών και του Αγγελοχωρίου. Το πυροσβεστικό όχημα των Λαγυνών θα κατευθυνθεί στην πρώτη σημειακή ανάφλεξη, ενώ αυτό του Αγγελοχωρίου στην δεύτερη. Το δεύτερο σενάριο άμεσης δράσης είναι η αποστολή πυροσβεστικών οχημάτων από τη Χαλάστρα και τα Λαγυνά. Το πυροσβεστικό όχημα της Χαλάστρας θα κατευθυνθεί στο πρώτο σημείο ανάφλεξης ενώ αυτό των Λαγυνών στο δεύτερο. Το τρίτο σενάριο είναι η αποστολή πυροσβεστικών οχημάτων από το Αγγελοχώρι και τη Χαλάστρα. Το πυροσβεστικό όχημα του Αγγελοχωρίου θα κατευθυνθεί στο δεύτερο σημείο ανάφλεξης, ενώ αυτό της Χαλάστρας στο πρώτο.
- 4) Ο θεματικός χάρτης χρόνου άφιξης της φωτιάς στο τοπίο (Farsite Arrival Time) από την πηγή ανάφλεξης, υποστηρίζει τον διαχειριστή αντιμετώπισης πυρκαγιών στη δημιουργία σχεδίων άμεσης δράσης, με βάση τις παραμέτρους που υπάρχουν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Οι παράμετροι αυτοί ίσως αφορούν την κυκλοφοριακή συμφόρηση που υπάρχει στο οδικό δίκτυο, τον αριθμό των διαθέσιμων οχημάτων, των σημείων ανεφοδιασμού νερού για τα πυροσβεστικά οχήματα κ.α.

## Κεφάλαιο 7: Μελλοντικές επεκτάσεις

Βάσει των ευρημάτων, προτείνονται οι εξής μελλοντικές επεκτάσεις στο πλαίσιο ενός ευρύτερου συστήματος λήψης απόφασης:

- Σχεδιασμός Εκκένωσης Έκτακτης Ανάγκης: Η χρήση ισοχρονικών καμπυλών μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό περιοχών που μπορούν να προσεγγιστούν από πυροσβεστικά οχήματα εντός συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου, διευκολύνοντας τον καθορισμό εφικτών διαδρομών εκκένωσης και ασφαλών ζωνών.
- Κατανομή Πόρων: Η κατανόηση της εμβέλειας των πυροσβεστικών οχημάτων εντός συγκεκριμένων χρονικών περιόδων μπορεί να βοηθήσει στην βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων σε πιθανές ζώνες πυρκαγιάς.
- Προγνωστική Ανάλυση: Η συνδυαστική χρήση των αποτελεσμάτων του FlamMap με τις ισοχρονικές μπορεί να προβλέψει ποιες περιοχές είναι πιο ευάλωτες σε περίπτωση πυρκαγιάς, βάσει του χρόνου που θα χρειαζόταν για τα πυροσβεστικά οχήματα να τις φτάσουν.

- Δημόσια Ενημέρωση: Η προβολή των ισοχρονικών σε δημόσιους χάρτες μπορεί να ενημερώσει τους κατοίκους σχετικά με τους αναμενόμενους χρόνους αντίδρασης στην περιοχή τους, αυξάνοντας την κοινοτική επίγνωση και προετοιμασία.
- Εκπαιδευτικές Ασκήσεις: Η χρήση ισοχρονικών για τη δημιουργία πραγματικών σεναρίων για εκπαιδευτικές ασκήσεις μπορεί να βοηθήσει τις πυροσβεστικές ομάδες να κατανοήσουν καλύτερα τις προκλήσεις που ενδέχεται να αντιμετωπίσουν σε διάφορα εδάφη και συνθήκες.
- Βελτίωση της Υποδομής: Η ανάλυση περιοχών με μεγαλύτερους χρόνους αντίδρασης μπορεί να υποδείξει την ανάγκη για περισσότερους πυροσβεστικούς σταθμούς, βελτιωμένα δίκτυα οδών ή άλλες αναβαθμίσεις της υποδομής.
- Αξιολόγηση Ασφαλιστικού και Κινδύνου: Οι ασφαλιστικές εταιρείες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα για την αξιολόγηση του κινδύνου πυρκαγιάς μιας συγκεκριμένης περιοχής βάσει του χρόνου αντίδρασης των πυροσβεστικών οχημάτων. Αυτό θα μπορούσε να επηρεάσει τις ασφαλιστικές ασφαλίσεις και τις αξίες των ακινήτων.
- Σχεδιασμός Πυροφυλάκων: Τα αποτελέσματα του συστήματος λήψης απόφασης μπορούν να βοηθήσουν στον καθορισμό των στρατηγικών τοποθεσιών για πυροφυλάκες, αναλύοντας πόσο γρήγορα μπορεί να εξαπλωθεί μια πυρκαγιά και πόσο γρήγορα μπορούν να αντιδράσουν τα πυροσβεστικά οχήματα.
- Ανάλυση Μετά το Περιστατικό: Μετά από ένα περιστατικό πυρκαγιάς, η σύγκριση των δεδομένων πρόβλεψης με τους πραγματικούς χρόνους αντίδρασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της αντίδρασης και τον εντοπισμό των περιοχών για βελτίωση.
- Διαχείριση Γης και Αστικός Σχεδιασμός: Οι σχεδιαστές πόλεων και οι διαχειριστές γης μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα του συστήματος για την ενημέρωση των αποφάσεων, εξασφαλίζοντας ότι οι περιοχές υψηλού κινδύνου δεν είναι πυκνοκατοικημένες ή διαθέτουν κατάλληλα προστατευτικά μέτρα.

## Βιβλιογραφία

- [1] M. Bonazountas, D. Kallidromitou, P. Kassomenos, and N. Passas, “A decision support system for managing forest fire casualties,” *J Environ Manage*, vol. 84, no. 4, pp. 412–418, Sep. 2007, doi: 10.1016/j.jenvman.2006.06.016.
- [2] “Published ECHO Daily Flash of 30 August 2023.” Accessed: Oct. 11, 2023. [Online]. Available: <https://erccportal.jrc.ec.europa.eu/ECHO-Products/Echo-Flash#/daily-flash-archive/4875>
- [3] P. Noble and T. B. Paveglio, “Exploring adoption of the wildland fire decision support system: End user perspectives,” *J For*, vol. 118, no. 2, pp. 154–171, Mar. 2020, doi: 10.1093/jofore/fvz070.
- [4] D. J. Power, “Decision Support Systems: Concepts and Resources for Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers Managers,” 2002. [Online]. Available: <https://scholarworks.uni.edu/facbook/67>



- [5] “FlamMap.” Accessed: Sep. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.firelab.org/project/flammap>
- [6] M. Lourenço, L. B. Oliveira, J. P. Oliveira, A. Mora, H. Oliveira, and R. Santos, “An integrated decision support system for improving wildfire suppression management,” *ISPRS Int J Geoinf*, vol. 10, no. 8, Aug. 2021, doi: 10.3390/ijgi10080497.
- [7] Jacek. Błażewicz, *Handbook on parallel and distributed processing\_1*. Springer, 2000.
- [8] S. Lee, “BUSINESS INTELLIGENCE AND ANALYTICS RAMESH SHARDA DURSUN DELEN EFRAIM TURBAN TENTH EDITION.”
- [9] F. Vásquez, A. Cravero, M. Castro, and P. Acevedo, “Decision support system development of wildland fire: A systematic mapping,” *Forests*, vol. 12, no. 7. MDPI, Jul. 01, 2021. doi: 10.3390/f12070943.
- [10] A. Asemi, A. Safari, and A. Asemi Zavareh, “The Role of Management Information System (MIS) and Decision Support System (DSS) for Manager’s Decision Making Process,” *International Journal of Business and Management*, vol. 6, no. 7, Jun. 2011, doi: 10.5539/ijbm.v6n7p164.
- [11] M. S. Hasan, Z. Ebrahim, W. H. Wan Mahmood, and M. N. Ab Rahman, “Decision support system classification and its application in manufacturing sector: A review,” *J Teknol*, vol. 79, no. 1, pp. 153–163, Jan. 2017, doi: 10.11113/jt.v79.7689.
- [12] G. I. Doukidis, “Decision Support System Concepts in Expert Systems: An Empirical Study,” 1988. Accessed: Sep. 26, 2022. [Online]. Available: <https://www.techtarget.com/searchdatamanagement/definition/OLAP>
- [13] Tatenda Matora, “HCS410 DECISION SUPPORT SYSTEMS CHAPTER 1: OVERVIEW OF DECISION SUPPORT SYSTEMS DEFINITIONS OF DECISION SUPPORT SYSTEM.”
- [14] M. Abdullah, M. Alqulaity, and W. Bajaber, “Web-Based Analysis for Decision Support Systems Wireless Multimedia Sensor Networks View project A novel adaptive e-learning model matching educator-student learning styles based on machine learning View project Web-Based Analysis for Decision Support Systems,” *J Fundam Appl Sci*, vol. 10, no. 4S, pp. 285–291, 2018, doi: 10.4314/jfas.v10i4s.92.
- [15] “Communications-Driven DSS.” Accessed: Oct. 02, 2022. [Online]. Available: <https://dssresources.com/>
- [16] Dan Power, “What is an Interorganizational DSS?” Accessed: Aug. 09, 2023. [Online]. Available: <https://dssresources.com/faq/index.php?action=artikel&id=198>
- [17] “Springer Handbook of Automation.”
- [18] R. Dastres and M. Soori, “Advances in Web-Based Decision Support Systems Article in,” 2021. [Online]. Available: [www.ceserp.com/cp-jour](http://www.ceserp.com/cp-jour)
- [19] D.J. Power, “DSS Components.” Accessed: Aug. 21, 2023. [Online]. Available: <http://dssresources.com/subscriber/password/dssbookslides/ch6ans/sld003.htm>
- [20] V. Sugumaran and R. Sugumaran, “Web-based Spatial Decision Support Systems (WebSDSS): Evolution, Architecture, Examples and Challenges,” *Communications of the Association for Information Systems*, vol. 19, 2007, doi: 10.17705/1cais.01940.
- [21] Sugumaran, Ramanathan, Degroote, and John, “Spatial Decision Support Systems Principles and Practices.”
- [22] Jacek. Błażewicz, *Handbook on parallel and distributed processing\_2*. Springer, 2000.
- [23] J. Malczewski, “Unit 127 - Spatial Decision Support Systems,” 1997.
- [24] Yee Leung, “Intelligent Spatial Decision Support Systems.” Accessed: Sep. 01, 2023. [Online]. Available: [https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=U63tCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=spatial+decision+support+systems+definition&ots=d0OEHJupp&sig=2r4iZC3gMdmOZrM2sO-vdSm8584&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=U63tCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=spatial+decision+support+systems+definition&ots=d0OEHJupp&sig=2r4iZC3gMdmOZrM2sO-vdSm8584&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

- [25] O. F. El-Gayar, “The use of information technology in aquaculture management,” *Aquaculture Economics and Management*, vol. 1, no. 1–2, pp. 109–128, Mar. 1997, doi: 10.1080/13657309709380207.
- [26] Διονύσιος Καλύβας, Καλύβας Διονύσιος, and Παπαευσταθίου Νικόλαος, “Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.),” pp. 26–31, 1995.
- [27] Δ. Εργασία, “ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ.”
- [28] R. A. Pick, “A Review On Evaluation And Benefits Of Decision Support Systems,” 2013. [Online]. Available: <http://www.cluteinstitute.com/>
- [29] “Introductory readings in Geographic Information Systems.”
- [30] Ε. Καθηγήτρια and Κ. Αικατερίνη, “ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ‘ΧΩΡΙΚΗ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΧΩΡΙΚΗΣ ΣΚΕΨΗΣ ΣΕ ΜΑΘΗΤΕΣ ΔΕΥΤΕΡΟΒΑΘΜΙΑΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ’ Γερμανοπούλου Αναστασία.”
- [31] W. F. Wieczorek and A. M. Delmerico, “Geographic information systems,” in *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, Sep. 2009, pp. 167–186. doi: 10.1002/wics.21.
- [32] “What is GIS?” Accessed: Aug. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>
- [33] G. Singh Editors, “Geotechnologies and the Environment Geospatial Technologies in Land Resources Mapping, Monitoring and Management.” [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/8088>
- [34] M. F. Goodchild, “Reimagining the history of GIS,” *Ann GIS*, vol. 24, no. 1, pp. 1–8, Jan. 2018, doi: 10.1080/19475683.2018.1424737.
- [35] N. Waters, “GIS: History,” in *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*, John Wiley & Sons, Ltd, 2017, pp. 1–12. doi: 10.1002/9781118786352.wbieg0841.
- [36] “History of GIS.” Accessed: Aug. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/history-of-gis>
- [37] “ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ ΤΜΗΜΑ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ (MBA) Διπλωματική Εργασία: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ.”
- [38] T. R. Smith, S. Menon, J. L. Star, and J. E. Estes, “Requirements and principles for the implementation and construction of large-scale geographic information systems,” *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 13–31, Jan. 1987, doi: 10.1080/02693798708927790.
- [39] ΔΕΛΛΗΓΙΑΝΙΔΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ, “ΧΩΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ,” ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2021.
- [40] “Wildland Fire Behavior.” Accessed: Sep. 11, 2023. [Online]. Available: <https://www.nps.gov/articles/wildland-fire-behavior.htm>
- [41] M. Salis, “Fire Behaviour Simulation in Mediterranean Maquis using FARSITE (Fire Area Simulator) Proterina-Due View project Forest management promotion for climate change mitigation through the design of a local market of climatic credits-LIFE CLIMARK View project,” 2008, doi: 10.13140/RG.2.2.17826.68800.
- [42] B. Bishrant Adhikari GIS and S. Shahnawaz Kathmandu, “WebGIS based Wildfire Simulation,” 2017.
- [43] D. Viegas and Γ. Ευτυχίδη, “ΟΙ ΕΚΡΗΞΕΙΣ ΣΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ”.
- [44] “What is? TOPOGRAPHY.” [Online]. Available: [www.nwfirescience.org](http://www.nwfirescience.org)

- [45] “WILDFIRES ON SLOPES.” Accessed: Sep. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.portugalwildfires.com/wildfires-on-slopes/>
- [46] Π. Μεταπτυχιακών Σπουδών Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος and Κ. και Κρίσεων, “Σημειώσεις του μαθήματος ‘Δασικές πυρκαγιές και Σχέδια Δράσης.’” [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/328857596>
- [47] “Atmospheric Stability.” Accessed: Sep. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.nwcfg.gov/publications/pms425-1/atmospheric-stability>
- [48] “What are? TYPES OF FIRE.” [Online]. Available: [www.nwfirescience.org](http://www.nwfirescience.org)
- [49] Π. Διερεύνηση, Γ. Χαρακτηριστικών, Δ. Πυρκαγιών, Σ. Διάταξη, and Μ. Κλίμακας, “ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΛΕΙΒΑΔΙΩΤΗΣ.”
- [50] D. R. Weise, J. Cobian-Iñiguez, and M. Princevac, “Surface to Crown Transition,” in *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires*, Springer International Publishing, 2018, pp. 1–5. doi: 10.1007/978-3-319-51727-8\_24-1.
- [51] “Forest Fire or Wildfire.” Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.toppr.com/ask/content/concept/man-made-disaster-fire-accident-206070/>
- [52] “Crown Fire (technical documentation).” Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: [https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#LegacyFARSITE/Tech\\_Crown\\_Fire.htm](https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#LegacyFARSITE/Tech_Crown_Fire.htm)
- [53] S. Sakellariou, S. Tampekis, F. Samara, A. Sfougaris, and O. Christopoulou, “Review of state-of-the-art decision support systems (DSSs) for prevention and suppression of forest fires,” *Journal of Forestry Research*, vol. 28, no. 6. Northeast Forestry University, pp. 1107–1117, Nov. 01, 2017. doi: 10.1007/s11676-017-0452-1.
- [54] J.-L. Wybo, “FMIS: A Decision Support System for Forest Fire Prevention and Fighting,” 1998.
- [55] M. A. Finney, M. Alexander, P. Andrews, J. Beck, B. Keane, and J. Scott, “FARSITE: Fire Area Simulator-Model Development and Evaluation,” 1998. [Online]. Available: <http://www.farsite.org>
- [56] A. E. Akay, M. G. Wing, F. Sivrikaya, and D. Sakar, “A GIS-based decision support system for determining the shortest and safest route to forest fires: A case study in Mediterranean Region of Turkey,” *Environ Monit Assess*, vol. 184, no. 3, pp. 1391–1407, 2012, doi: 10.1007/s10661-011-2049-z.
- [57] P. L. Andrews, “J2.1 BehavePlus FIRE MODELING SYSTEM: PAST, PRESENT, AND FUTURE,” 2007.
- [58] “intro\_flammap3\_(desktop)”.
- [59] U. Forest Service - Rocky Mountain Research Station, “Fuels Management-How to Measure Success: Conference Proceedings.”
- [60] “Wildland Fire Decision Support System.” Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available: [https://wfdss.usgs.gov/wfdss/WFDSS\\_Home.shtml](https://wfdss.usgs.gov/wfdss/WFDSS_Home.shtml)
- [61] “BehavePlus.” Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.firelab.org/project/behaveplus>
- [62] P. L. Andrews, “Current status and future needs of the BehavePlus Fire Modeling System,” *Int J Wildland Fire*, vol. 23, no. 1, pp. 21–33, 2014, doi: 10.1071/WF12167.
- [63] P. L. Andrews, “Do you BEHAVE? - Application of the BehavePlus fire modeling system,” 2010.
- [64] M. A. Finney and P. L. Andrews, “FARSITE-A PROGRAM FOR FIRE GROWTH SIMULATION,” 1999. [Online]. Available: <http://fire.org>
- [65] “Landscapes.” Accessed: Sep. 26, 2023. [Online]. Available: [https://owfflammaphelp62.firenet.gov/FileTypes/PU\\_Landscape\\_File.htm#Landscape\\_File\\_LCP\\_Format](https://owfflammaphelp62.firenet.gov/FileTypes/PU_Landscape_File.htm#Landscape_File_LCP_Format)
- [66] J. H. Scott and R. E. Burgan, “Help with using the 2005 set of standard fire behavior fuel models.”

- [67] “Northern Forest Fire Laboratory (NFFL) Fuel Model.” Accessed: Sep. 28, 2023. [Online]. Available: [https://www.fs.usda.gov/detailfull/r5/landmanagement/gis/?cid=fsbdev3\\_048068&width=full](https://www.fs.usda.gov/detailfull/r5/landmanagement/gis/?cid=fsbdev3_048068&width=full)
- [68] “Canopy Fuel Characteristics.” Accessed: Sep. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.nwcg.gov/publications/pms437/fuels/canopy-fuel-characteristics>
- [69] “Canopy Cover Theme.” Accessed: Sep. 28, 2023. [Online]. Available: [https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#FileTypes/PU\\_Grid\\_Files.htm#Grid\\_Theme\\_Commands](https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#FileTypes/PU_Grid_Files.htm#Grid_Theme_Commands)
- [70] L. Korhonen, K. T. Korhonen, M. Rautiainen, and P. Stenberg, “Estimation of forest canopy cover: A comparison of field measurement techniques,” *Silva Fennica*, vol. 40, no. 4, pp. 577–588, 2006, doi: 10.14214/sf.315.
- [71] “Initial Fuel Moistures File (.FMS).” Accessed: Oct. 01, 2023. [Online]. Available: [https://owfflammaphelp62.firenet.gov/FileTypes/PU\\_Initial\\_Fuel\\_Moistures.htm](https://owfflammaphelp62.firenet.gov/FileTypes/PU_Initial_Fuel_Moistures.htm)
- [72] “Dead Fuel Moisture.” Accessed: Oct. 02, 2023. [Online]. Available: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/dyk/deadfuelemoisture>
- [73] “Dead Fuel Moisture (technical documentation).” Accessed: Oct. 01, 2023. [Online]. Available: [https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Tech\\_Topics/Tech\\_Dead\\_Fuel\\_Moisture.htm](https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Tech_Topics/Tech_Dead_Fuel_Moisture.htm)
- [74] “Glossary of Terms.” Accessed: Oct. 03, 2023. [Online]. Available: <https://wfdss.usgs.gov/wfdss/542.htm>
- [75] “Wind Vectors.” Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: [https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#FileTypes/Wind\\_Vectors.htm](https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#FileTypes/Wind_Vectors.htm)
- [76] “Evaluating FARSITE Outputs.” Accessed: Oct. 09, 2023. [Online]. Available: [https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#Tutorial/TU\\_Input\\_FARSITE.htm](https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#Tutorial/TU_Input_FARSITE.htm)
- [77] “Spread Vectors.” Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: [https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#FileTypes/Spread\\_Vectors.htm](https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#FileTypes/Spread_Vectors.htm)
- [78] tsopperman, “Modeling Spot Fires—U.S. Modeling System Comparisons for Practitioners\* (October 2010),” 2010.
- [79] “Arrival Time.” Accessed: Oct. 09, 2023. [Online]. Available: [https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#Tutorial/TU\\_Input\\_FARSITE.htm](https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#Tutorial/TU_Input_FARSITE.htm)
- [80] “Rate Of Spread.” Accessed: Oct. 09, 2023. [Online]. Available: [https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#FARSITE/FARSITE\\_Outputs\\_Tab.htm](https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#FARSITE/FARSITE_Outputs_Tab.htm)
- [81] “Spread Direction.” Accessed: Oct. 09, 2023. [Online]. Available: [https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#FileTypes/PU\\_OUT\\_Max\\_Spread\\_Dir.htm](https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#FileTypes/PU_OUT_Max_Spread_Dir.htm)
- [82] “Crown Fire Activity.” Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://owfflammaphelp62.firenet.gov/Flammap2.htm#Runs/Runs.htm#NewFarsiteRun>
- [83] “EPSG:3857.” Accessed: Oct. 17, 2023. [Online]. Available: <https://epsg.io/3857>
- [84] “OpenStreetMap.” Accessed: Oct. 12, 2023. [Online]. Available: <https://www.openstreetmap.org/about>
- [85] “Οδικό Δίκτυο Ελλάδας.” Accessed: Oct. 12, 2023. [Online]. Available: [http://www.geomatics.gr/el/%CE%B3%CE%B5%CF%89%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%BA%CE%AC\\_%CE%B4%CE%B5%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B1/%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%8C\\_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF\\_%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1%CF%82](http://www.geomatics.gr/el/%CE%B3%CE%B5%CF%89%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%B9%CE%BA%CE%AC_%CE%B4%CE%B5%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CE%B1/%CE%BF%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF_%CE%B5%CE%BB%CE%BB%CE%AC%CE%B4%CE%B1%CF%82)
- [86] “Openrouteservice.” Accessed: Oct. 17, 2023. [Online]. Available: <https://openrouteservice.org/dev/#/api-docs/v2/isochrones/%7Bprofile%7D/post>

- [87] Ν. Γρίβας, “ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ.”
- [88] “Routing algorithm of open route service.” Accessed: Oct. 17, 2023. [Online]. Available: <https://ask.openrouteservice.org/t/routing-algorithm-of-open-route-service/2249>