



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

**Προσομοίωση εξάπλωσης πυρκαγιάς στην περιοχή Μέλαμπες Ρεθύμνου
το έτος 2022 με την χρήση του λογισμικού FlamMap**

**«Simulation of Fire Spread at Melampes region in 2022, using the FlamMap
Software»**

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΜΑΝΑΣΣΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

ΧΑΝΙΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ, 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Copying, storing, and distributing this work, in whole or in part, for commercial purposes is prohibited. Reproduction, storage, and distribution for non-profit, educational, or research purposes is allowed, provided that the source is acknowledged. Any inquiries regarding the use of this work for other purposes should be directed to the author.

The views and conclusions expressed in this document are those of the author and should not be interpreted as representing the official positions of the Technical University of Crete.

Copyright © Μανασσάκης Γεώργιος, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Σχολή Χημικών Μηχανικών και
Μηχανικών Περιβάλλοντος

**Προσομοίωση εξάπλωσης πυρκαγιάς στην περιοχή Μέλαμπες Ρεθύμνου
το έτος 2022 με την χρήση του λογισμικού FlamMap**

**«Simulation of Fire Spread at Melampes region in 2022, using the FlamMap
Software»**

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΜΑΝΑΣΣΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

A.M.: 2017050046

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Καθηγητής (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ) : Βουλγαράκης Απόστολος

Αναπληρωτής καθηγητής : Αριστείδης Κουτρούλης

ΕΔΙΠ : Γρυλλάκης Εμμανουήλ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή ασχολείται με την προσομοίωση της πυρκαγιάς που ξέσπασε στις Μέλαμπες Ρεθύμνου στις 15 Ιουλίου 2022, με χρήση του λογισμικού FlamMap. Σκοπός της εργασίας ήταν η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του λογισμικού στην πρόβλεψη της πορείας της πυρκαγιάς. Η συγκεκριμένη φωτιά κατέκαψε περίπου 20.000 στρέμματα σε ένα διάστημα 15 ημερών.

Τα βασικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση περιλάμβαναν τα καιρικά δεδομένα, τα οποία αντλήθηκαν από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό, προκειμένου να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στην προσομοίωση της πορείας της πυρκαγιάς. Επιπλέον, η μεθοδολογία της εργασίας περιλάμβανε την δημιουργία των δεδομένων εισόδου για τον μοντέλο για την περιοχή της πυρκαγιάς. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν δεδομένα για το υψόμετρο, την κλίση του εδάφους, τον προσανατολισμό, το μοντέλο καυσίμου, το οποίο περιγράφει τον τύπο και την πυκνότητα της βλάστησης, την κάλυψη του θόλου, δηλαδή το ποσοστό κάλυψης από δέντρα, το ύψος του θόλου, που αντιπροσωπεύει το μέσο ύψος των δέντρων, το ύψος βάσης του θόλου, το οποίο ορίζεται ως το ύψος από το έδαφος μέχρι την αρχή της κόμης, και την πυκνότητα του θόλου, που αναφέρεται στην πυκνότητα του φυλλώματος εντός της κόμης. Όλα τα δεδομένα δημιουργήθηκαν με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS, με το οποίο έγινε επεξεργασία των γεωγραφικών δεδομένων της περιοχής και χρησιμοποιήθηκαν για να παραχθεί το αρχείο εισόδου για το FlamMap που περιέχει τα δεδομένα τοπίου που απαιτείται.

Μετά την ολοκλήρωση της προετοιμασίας των δεδομένων, το αρχείο τοπίου, τα καιρικά δεδομένα και άλλες απαραίτητες ρυθμίσεις εισήχθησαν στο FlamMap για την εκτέλεση της προσομοίωσης. Η διάρκεια της προσομοίωσης ήταν 15 ημέρες, ώστε να καλυφθεί η συνολική διάρκεια της πυρκαγιάς.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης συγκρίθηκαν με δορυφορικές εικόνες που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Αυτή η σύγκριση έδειξε μια απόκλιση μεταξύ της πορείας της πυρκαγιάς στην προσομοίωση και της πραγματικής φωτιάς, που σε όλες τις περιπτώσεις ήταν θετική, με την προσομοιωμένη έκταση να ξεπερνάει την αντίστοιχη παρατηρημένη. Η απόκλιση αυτή μπορεί να αποδοθεί σε διάφορους παράγοντες, όπως η ακρίβεια των δεδομένων εισόδου, οι περιορισμοί του λογισμικού FlamMap που ενδέχεται να μην αποτυπώνουν πλήρως την πραγματικότητα, καθώς και οι εξωτερικές συνθήκες ή οι ανθρώπινες παρεμβάσεις που μπορεί να επηρέασαν την πραγματική πορεία της πυρκαγιάς.

Συμπερασματικά, το FlamMap αποδείχθηκε ένα αξιόπιστο εργαλείο για την προσομοίωση της πορείας μιας πυρκαγιάς και μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο μέσο για την αξιολόγηση και την πρόβλεψη της συμπεριφοράς της φωτιάς. Το λογισμικό αυτό έχει σημαντικές δυνατότητες και μπορεί να αξιοποιηθεί από τις αρμόδιες αρχές, κυρίως σε μια εποχή που οι πυρκαγιές αποτελούν μια από τις πιο σοβαρές απειλές για πολλές περιοχές του πλανήτη.

ABSTRACT

This study focuses on the simulation of the wildfire that broke out in Melampes, Rethymno, on July 15, 2022, using the FlamMap software. The aim of the study was to evaluate the effectiveness of the software in predicting the wildfire's progression. This particular fire burned approximately 20,000 hectares over a 15-day period.

The primary data used for the simulation included weather data obtained from the nearest meteorological station to ensure greater accuracy in modeling the wildfire's progression. Additionally, the methodology involved creating the input data required for the model in the wildfire area. Specifically, data were generated for elevation, slope, aspect, fuel model (which describes the type and density of vegetation), canopy cover (the percentage of the area covered by trees), canopy height (the average height of trees), canopy base height (the height from the ground to the base of the tree canopy), and canopy bulk density (the density of foliage within the canopy).

All data were created using ArcGIS software, which was used to process the geographic data of the area. These processed data were then used to produce the input file for FlamMap, containing the required landscape data.

After preparing the data, the landscape file, weather data, and other necessary settings were imported into FlamMap to execute the simulation. The simulation lasted for 15 days, corresponding to the total duration of the wildfire.

The simulation results were compared with satellite images recorded during the wildfire. This comparison revealed a deviation between the simulated fire progression and the actual fire. In all cases, the deviation was positive, with the simulated burned area exceeding the observed one. This discrepancy can be attributed to various factors, such as the accuracy of the input data, the limitations of FlamMap in fully capturing real-world conditions, and external factors or human interventions that may have influenced the actual fire progression.

In conclusion, FlamMap proved to be a reliable tool for simulating wildfire progression and can serve as a valuable resource for evaluating and predicting fire behavior. This software has significant potential and can be utilized by relevant authorities, especially at a time when wildfires are among the most severe threats to many regions worldwide.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΕΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους Δρ. Βουλγαράκη Απόστολο και Δρ. Γρυλλάκη Εμμανουήλ για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Η προθυμία τους να αφιερώσουν χρόνο για να απαντήσουν σε κάθε μου απορία, η βαθιά γνώση και η εμπειρία τους στον τομέα της μελέτης μας, καθώς και οι εύστοχες παρατηρήσεις και οι χρήσιμες συμβουλές τους, υπήρξαν καθοριστικές για την ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην οικογένεια και στους φίλους μου για την αδιάκοπη ψυχολογική τους στήριξη και τις πολύτιμες συμβουλές τους που μου προσέφεραν.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	1
1.1 Εισαγωγή στην έννοια της πυρκαγιάς και ο καθοριστικός ρόλος των δασών.....	1
1.2 Αίτια και παράγοντες που επηρεάζουν την εξάπλωση των δασικών πυρκαγιών	1
1.3 Περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών.....	2
1.4 Τύποι δασικών πυρκαγιών και τα χαρακτηριστικά τους	3
1.4.1 Πυρκαγιές επιφάνειας.....	3
1.4.2 Πυρκαγιές στέμματος (Crown Fires).....	3
1.4.3 Υπόγειες πυρκαγιές.....	3
1.4.4 Παρελκόμενες πυρκαγιές.....	3
1.4.5 Πυρκαγιές μικτών τύπων.....	3
1.5 Πυρκαγιές στην Ελλάδα: Τύποι, αιτίες και οικολογικές προκλήσεις.....	4
1.5.1 Δασικές πυρκαγιές	4
1.5.2 Αγροτικές πυρκαγιές	4
1.5.3 Αστικές και ημιαστικές πυρκαγιές	4
1.5.4 Βιομηχανικές πυρκαγιές	4
1.6 Στρατηγικές αντιμετώπισης πυρκαγιών	5
1.7 Επιστημονικά εργαλεία και τεχνολογίες για την πρόβλεψη και διαχείριση πυρκαγιών	6
1.8 Αξιολόγηση και μοντελοποίηση δασικών πυρκαγιών: Χρήση του FlamMap και άλλων εργαλείων στην πρόβλεψη και διαχείριση κινδύνου	8
1.9 Η καταστροφική πυρκαγιά στις Μέλαμπες (2022): Μοντελοποίηση και πρόβλεψη της εξάπλωσης με το FlamMap	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Μεθοδολογία	15
2.1 Εισαγωγή στο FlamMap και τις λειτουργίες του	15
2.1.1 Ύψόμετρο (Elevation)	15
2.1.2 Κλίση (Slope)	15
2.1.3 Προσανατολισμός (Aspect).....	15
2.1.4 Μοντέλα Καυσίμου Συμπεριφοράς Πυρκαγιάς (Fire Behavior Fuel Models).....	16
2.1.5 Κάλυψη Κόμης Δασών (Forest Canopy Cover).....	17
2.1.6 Ύψος Κόμης Δασών (Forest Canopy Height).....	17
2.1.7 Ύψος Βάσης Κόμης Δασών (Forest Canopy Base Height)	17
2.1.8 Πυκνότητα Μάζας Κόμης Δασών (Forest Canopy Bulk Density).....	17

2.2 Δημιουργία Landscape File στο ArcGIS	17
2.3 Πλήρης διαμόρφωση και υλοποίηση προσομοίωσης πυρκαγιάς στο FlamMap	20
2.3.1 Inputs	21
2.3.2 Fire Behavior Outputs	25
2.3.3 Minimum Travel Time	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Αποτελέσματα	33
3.1 Παρουσίαση αποτελεσμάτων προσομοίωσης πυρκαγιάς	33
3.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 1	33
3.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 2	34
3.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 3	36
3.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 4	38
3.6 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 5	40
3.7 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 6	42
3.8 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 7	44
3.9 Παράμετροι Προσομοίωσης και Μετεωρολογικές Συνθήκες για την Εξέλιξη της Πυρκαγιάς	46
3.10 Πορεία Καμένης Έκτασης κατά την Διάρκεια της Πυρκαγιάς (15 Ημέρες)	47
3.11 Συνολικός πίνακας δεδομένων πυρκαγιάς: άνεμοι και καμένη έκταση	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Συζήτηση	50
4.1 Ανάλυση της πορείας της πυρκαγιάς στο FlamMap	50
4.2 Σύγκριση Προσομοίωσης και Πραγματικής Εξέλιξης Πυρκαγιάς	52
4.2.1 Σύγκρισης Προσομοίωσης Πυρκαγιάς με δεδομένα από δορυφόρο τη 2 ^η Ημέρα	52
4.2.2 Ανάλυση σύγκρισης πυρκαγιάς: Προσομοίωση και πραγματικά γεγονότα για τη 3 ^η ημέρα	53
4.2.3 Ανάλυση σύγκρισης πυρκαγιάς: Προσομοίωση και πραγματικά γεγονότα για τη 5η ημέρα	54
4.2.4 Ανάλυση σύγκρισης πυρκαγιάς: Προσομοίωση και πραγματικά γεγονότα για τη 15 ^η ημέρα	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Συμπεράσματα	57
5.1 Εισαγωγή στην αξιολόγηση αποτελεσμάτων προσομοίωσης	57
5.1.1 Σύγκριση και υπολογισμός της απόκλισης μεταξύ προσομοίωσης και πραγματικής καμένης έκτασης για την ημερομηνία 16/7.....	57
5.1.2 Σύγκριση και υπολογισμός της απόκλισης μεταξύ προσομοίωσης και πραγματικής	

καμένης έκτασης για την ημερομηνία 17/7	57
5.1.3 Σύγκριση και υπολογισμός της απόκλισης μεταξύ προσομοίωσης και πραγματικής καμένης έκτασης για την ημερομηνία 19/7.....	58
5.1.4 Σύγκριση και υπολογισμός της απόκλισης μεταξύ προσομοίωσης και πραγματικής καμένης έκτασης για την ημερομηνία 29/7.....	59
5.1.5 Σύγκριση Πραγματικής και Προσομοιωμένης Καμένης Έκτασης για τις Ημέρες 16/7, 17/7, 19/7 και 29/7.....	59
5.2 Ανάλυση παραγόντων απόκλισης προσομοίωσης πυρκαγιάς	60
5.3 Αξιολόγηση λογισμικού FlamMap	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Βιβλιογραφία	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Παραρτήματα	68
7.1 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 8	68
7.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 9	70
7.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 10	72
7.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 11	74
7.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 12	76
7.6 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 13	78
7.7 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 14	80
7.8 Αποτελέσματα προσομοίωσης - Ημέρα 15	82

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Εικόνα από το σημείο της φωτιάς στις Μέλαμπες	11
Εικόνα 1.2 Δορυφορική εικόνα της πυρκαγιάς στις Μέλαμπες	12
Εικόνα 2.1 Επισκόπηση των βασικών τμημάτων του ArcMap	19
Εικόνα 2.2 Περιβάλλον εργασίας FlamMap	21
Εικόνα 2.3 Απεικόνιση της καρτέλας Inputs στο FlamMap	23
Εικόνα 2.4 Γραφική απεικόνιση προσανατολισμών σε μοίρες	25
Εικόνα 2.5 Απεικόνιση εμποδίων στο περιβάλλον του ArcMap	30
Εικόνα 3.1 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 1 ^η Ημέρα	33
Εικόνα 3.2 Απεικόνιση MTT ROS για την 1 ^η Ημέρα	34
Εικόνα 3.3 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 2 ^η Ημέρα	35
Εικόνα 3.4 Απεικόνιση MTT ROS για την 2 ^η Ημέρα	36
Εικόνα 3.5 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 3 ^η Ημέρα	37
Εικόνα 3.6 Απεικόνιση MTT ROS για την 3 ^η Ημέρα	38
Εικόνα 3.7 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 4 ^η Ημέρα	39
Εικόνα 3.8 Απεικόνιση MTT ROS για την 4 ^η Ημέρα	40
Εικόνα 3.9 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 5 ^η Ημέρα	41
Εικόνα 3.10 Απεικόνιση MTT ROS για την 5 ^η Ημέρα	42
Εικόνα 3.11 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 6 ^η Ημέρα	43
Εικόνα 3.12 Απεικόνιση MTT ROS για την 6 ^η Ημέρα	44
Εικόνα 3.13 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 7 ^η Ημέρα	45
Εικόνα 3.14 Απεικόνιση MTT ROS για την 7 ^η Ημέρα	46
Εικόνα 4.1 Προσομοίωση και Πραγματικότητα: Σύγκριση Εξέλιξης της Πυρκαγιάς την 2 ^η Ημέρα. Προσομοίωση (αριστερά) και δορυφορική απεικόνιση (δεξιά).....	53
Εικόνα 4.2 Προσομοίωση και Πραγματικότητα: Σύγκριση Εξέλιξης της Πυρκαγιάς την 3 ^η Ημέρα. Προσομοίωση (πράσινο περίγραμμα) και δορυφορική απεικόνιση (μπλε έκταση)	54
Εικόνα 4.3 Προσομοίωση και Πραγματικότητα: Σύγκριση Εξέλιξης της Πυρκαγιάς την 5 ^η Ημέρα. Προσομοίωση (αριστερά) και δορυφορική απεικόνιση (δεξιά)	55

Εικόνα 4.4 Προσομοίωση και Πραγματικότητα: Σύγκριση Εξέλιξης της Πυρκαγιάς την 15 ^η Ημέρα. Προσομοίωση (πράσινο περίγραμμα) και δορυφορική απεικόνιση (μπλε έκταση).....	56
Εικόνα 7.1 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 8 ^η Ημέρα	68
Εικόνα 7.2 Απεικόνιση MTT ROS για την 8 ^η Ημέρα	69
Εικόνα 7.3 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 9 ^η Ημέρα	70
Εικόνα 7.4 Απεικόνιση MTT ROS για την 9 ^η Ημέρα	71
Εικόνα 7.5 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 10 ^η Ημέρα	72
Εικόνα 7.6 Απεικόνιση MTT ROS για την 10 ^η Ημέρα	73
Εικόνα 7.7 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 11 ^η Ημέρα	74
Εικόνα 7.8 Απεικόνιση MTT ROS για την 11 ^η Ημέρα	75
Εικόνα 7.9 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 12 ^η Ημέρα	76
Εικόνα 7.10 Απεικόνιση MTT ROS για την 12 ^η Ημέρα	77
Εικόνα 7.11 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 13 ^η Ημέρα	78
Εικόνα 7.12 Απεικόνιση MTT ROS για την 13 ^η Ημέρα	79
Εικόνα 7.13 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 14 ^η Ημέρα	80
Εικόνα 7.14 Απεικόνιση MTT ROS για την 14 ^η Ημέρα	81
Εικόνα 7.15 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 15 ^η Ημέρα	82
Εικόνα 7.16 Απεικόνιση MTT ROS για την 15 ^η Ημέρα	83

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 3.1 Διάγραμμα Εξάπλωσης Καμένης Έκτασης στις 15 Ημέρες Πυρκαγιάς	48
Διάγραμμα 5.1 Σύγκριση Πραγματικής και Προσομοιωμένης Καμένης Έκτασης για τις Ημέρες 16/7, 17/7, 19/7 και 29/7.....	60

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Στατιστικά Καμένης Έκτασης ανά Κατηγορία Χρήσης Γης στην Πυρκαγιά στις Μέλαμπες	13
Πίνακας 2.1 Πίνακας Fuel Moisture File	22
Πίνακας 3.1 Παράμετροι και μετεωρολογικές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση της εξέλιξης της πυρκαγιάς κατά τις 15 ημέρες της προσομοίωσης.....	46
Πίνακας 3.2 Πίνακας Δεδομένων Πυρκαγιάς: Ταχύτητα, Κατεύθυνση Ανέμων και Καμένη Έκταση	48
Πίνακας 7.1 Πίνακας Στοιχείων για την 8 ^η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς	69
Πίνακας 7.2 Πίνακας Στοιχείων για την 9 ^η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς	71
Πίνακας 7.3 Πίνακας Στοιχείων για την 10 ^η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς	73
Πίνακας 7.4 Πίνακας Στοιχείων για την 11 ^η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς	75
Πίνακας 7.5 Πίνακας Στοιχείων για την 12 ^η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς	77
Πίνακας 7.6 Πίνακας Στοιχείων για την 13 ^η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς	79
Πίνακας 7.7 Πίνακας Στοιχείων για την 14 ^η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς	81
Πίνακας 7.8 Πίνακας Στοιχείων για την 15 ^η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς	83

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή στην Έννοια της Πυρκαγιάς και ο Καθοριστικός Ρόλος των Δασών

Στις μέρες μας, οι πυρκαγιές είναι μία από τις πιο δυσμενείς φυσικές καταστροφές, προκαλώντας σοβαρές και πολυδιάστατες επιπτώσεις τόσο στο φυσικό όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Συνεπώς, με τον όρο πυρκαγιά περιγράφεται μια ανεξέλεγκτη φωτιά που μαίνεται σε αυτά τα φυσικά εδάφη, είτε πρόκειται για δάση είτε για λιβάδια ή οποιοσδήποτε περιοχές με βλάστηση. Οι φωτιές προκαλούν εκτεταμένες ζημιές στα οικοσυστήματα, καταστρέφοντας τη βιοποικιλότητα και το φυσικό κάλλος, δηλαδή την εικόνα του τοπίου, ενώ παράλληλα απειλούν την ανθρώπινη ζωή και περιουσία (Smith & Johnson, 2019). Όπως έχει παρατηρηθεί διαχρονικά, τα δάση παίζουν καθοριστικό ρόλο, αφού φιλοξενούν πλούσια ποικιλία ειδών και εποίκων, τόσο ζωικών όσο και φυτικών, ενώ ρυθμίζουν το κλίμα της Γης (Brown et al., 2020). Αναλυτικότερα, τα δάση λειτουργούν ως αποθήκες άνθρακα, καθώς απορροφούν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) μέσω της φωτοσύνθεσης, μειώνοντας έτσι την ποσότητα του CO₂ στην ατμόσφαιρα και βοηθώντας στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής (Jones et al., 2018).

Παράλληλα, παράγουν οξυγόνο, το οποίο είναι απαραίτητο για την επιβίωση των ζωντανών οργανισμών στον πλανήτη (Lee, 2021). Επιπλέον, όσον αφορά τη ρύθμιση του υδρολογικού κύκλου, τα δέντρα παίζουν σημαντικό ρόλο, αφού μέσω της διαδικασίας της διαπνοής τα φυτά αποβάλλουν υδρατμούς στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας στη δημιουργία και τον έλεγχο των βροχοπτώσεων, καθώς και στην αύξηση της τοπικής και παγκόσμιας υγρασίας (Green & Taylor, 2020). Επίσης, τα δάση απορροφούν και διατηρούν μεγάλες ποσότητες νερού, γεγονός που επηρεάζει την ποιότητα του εδάφους, τη ροή των ποταμών και συχνά συμβάλλει στην αποτροπή πλημμυρών σε αστικές περιοχές (Williams, 2017).

Μια άλλη σημαντική συμβολή των δασών είναι η μείωση της θερμοκρασίας μέσω της σκίασης που προσφέρουν και της διαδικασίας της εξάτμισης, δημιουργώντας έναν ψυκτικό μηχανισμό που μειώνει τη θερμότητα στις αστικές και αγροτικές περιοχές γύρω τους (Clark, 2019). Κατά συνέπεια, η προστασία των δασών είναι επιτακτική για τη διατήρηση αυτών των σημαντικών λειτουργιών, διότι οι πυρκαγιές όχι μόνο εξαφανίζουν τα δάση, αλλά επίσης διαταράσσουν τις οικολογικές ισορροπίες και επιδεινώνουν τις αλλαγές στα κλιματικά φαινόμενα.

1.2 Αίτια και Παράγοντες που Επηρεάζουν την Εξάπλωση των Δασικών Πυρκαγιών

Οι δασικές πυρκαγιές μπορούν να προκληθούν από μια ευρεία ποικιλία φυσικών και ανθρωπογενών αιτιών, κάθε μια από τις οποίες έχει τον δικό της τρόπο δράσης και τις δικές της επιπτώσεις. Οι κεραυνοί, για παράδειγμα, αποτελούν έναν από τους κυριότερους φυσικούς παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιές. Όταν ένας κεραυνός χτυπήσει μια ξηρή περιοχή, η θερμότητα και η ενέργεια που απελευθερώνονται μπορεί να οδηγήσουν σε ανάφλεξη της ξηρής βλάστησης. Ένας άλλος φυσικός παράγοντας είναι οι ηφαιστειακές εκρήξεις. Εξίσου, η λάβα και οι εκρηκτικές εκπομπές μπορούν να ανάψουν φωτιές στα γύρω δάση, δημιουργώντας επικίνδυνες συνθήκες για το περιβάλλον και τις γύρω κοινότητες. Η αυτανάφλεξη είναι επίσης μια φυσική αιτία, η οποία συμβαίνει όταν, υπό κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, συσσωρευμένα οργανικά υλικά αναφλέγονται αυθόρμητα (Smith et al., 2017).

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν και οι ανθρωπογενείς αιτίες που συμβάλλουν σημαντικά στην εκδήλωση δασικών πυρκαγιών. Η αμέλεια των ανθρώπων είναι μια από τις κύριες αιτίες, όπως όταν κάποιος ανάψει μια φωτιά και δεν την παρακολουθεί, με αποτέλεσμα η φωτιά να επεκταθεί και να προκαλέσει καταστροφές. Τα πεταμένα τσιγάρα είναι επίσης συνηθισμένη αιτία, καθώς μπορούν εύκολα να ανάψουν ξηρή βλάστηση. Επίσης, ο εμπρησμός, δηλαδή οι εσκεμμένες φωτιές που ανάβουν για κακόβουλους σκοπούς, αποτελούν μία εξίσου σοβαρή αιτία. Ακόμα, οι σπίθες από ηλεκτρικές γραμμές που έχουν υποστεί βλάβη είναι άλλη μια αιτία, ιδίως σε ξηρές περιοχές (Brown, 2016). Άλλες δραστηριότητες όπως η κοπή μετάλλων ή η χρήση βαρέων μηχανημάτων σε βιομηχανικές περιοχές μπορούν να προκαλέσουν σπίθες που να οδηγήσουν σε πυρκαγιά. Τέλος, η επέκταση των οικιστικών περιοχών σε δασικές περιοχές αυξάνει τον κίνδυνο πυρκαγιάς λόγω της αυξημένης ανθρωπίνης δραστηριότητας (Taylor et al., 2019).

Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα σύνθετο φαινόμενο που επηρεάζεται από μια πληθώρα παραγόντων, οι οποίοι αλληλεπιδρούν με πολύπλοκους τρόπους. Πρωταρχικό ρόλο παίζει ο καιρός, αφού υψηλές θερμοκρασίες, χαμηλή υγρασία και δυνατοί άνεμοι αυξάνουν δραματικά τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Οι άνεμοι όχι μόνο επιταχύνουν την εξάπλωση της φωτιάς μεταφέροντας σπίθες και καύσιμα, αλλά καθιστούν και πιο δύσκολη την κατάσβεσή της (Williams, 2020). Επιπλέον, η πυκνότητα και ο τύπος της βλάστησης είναι καθοριστικοί παράγοντες. Ξηρά φύλλα, χόρτα και κλαδιά αποτελούν εύφλεκτο υλικό που διευκολύνει την ανάφλεξη και την εξάπλωση της φωτιάς. Η μορφολογία του εδάφους επηρεάζει επίσης σημαντικά την πορεία της πυρκαγιάς, αφού οι φωτιές κινούνται γρηγορότερα σε ανηφορικές πλαγιές, καθώς η θερμή καύσιμη ύλη προθερμαίνει τη βλάστηση πάνω από αυτήν. Οι κοιλάδες, από την άλλη, μπορούν να δημιουργήσουν φαινόμενα καμινάδας, επιταχύνοντας την εξάπλωση της φωτιάς. Ακόμα, οι μακροπρόθεσμες αλλαγές στο κλίμα, όπως οι αυξημένες θερμοκρασίες και οι παρατεταμένες ξηρασίες, αυξάνουν τη συχνότητα και την ένταση των δασικών πυρκαγιών, δημιουργώντας ευνοϊκές συνθήκες για την έναρξη και την εξάπλωσή τους και καθιστώντας τη διαχείρισή τους πιο απαιτητική (Johnson et al., 2021).

1.3 Περιβαλλοντικές και Κοινωνικοοικονομικές Επιπτώσεις των Δασικών Πυρκαγιών

Οι επιπτώσεις των πυρκαγιών στο φυσικό περιβάλλον είναι εκτεταμένες και καταστροφικές. Κατά πρώτον, οι πυρκαγιές καταστρέφουν δασικές εκτάσεις, οικοσυστήματα και άγρια πανίδα, προκαλώντας σημαντική απώλεια βιοποικιλότητας και διαταραχή των οικολογικών ισορροπιών. Οι καμένες εκτάσεις χρειάζονται πολλά χρόνια για να ανακάμψουν και, σε ορισμένες περιπτώσεις, η ζημιά είναι ανεπανόρθωτη. Επίσης, η καταστροφή της βλάστησης έχει σοβαρές επιπτώσεις στο έδαφος, καθώς η απώλεια της φυτικής κάλυψης οδηγεί σε διάβρωση και μείωση της γονιμότητας του εδάφους, δυσχεραίνοντας την αναγέννηση της χλωρίδας και την ευημερία της αλληλένδετης με αυτήν πανίδας (Smith & Johnson, 2019).

Επιπλέον, οι πυρκαγιές απελευθερώνουν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, συμβάλλοντας στην κλιματική αλλαγή και στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Έτσι δημιουργείται ένας φαύλος κύκλος, καθώς η κλιματική αλλαγή μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της συχνότητας και της έντασης των πυρκαγιών. Ακόμη, η απουσία των καμένων δασών, που είναι αποθήκες άνθρακα, μειώνει την ικανότητα του πλανήτη να απορροφά το διοξείδιο του άνθρακα, κάνοντας ακόμα πιο δύσκολη την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης (Jones et al., 2018).

Οι πυρκαγιές δύναται να καταστρέψουν το ανθρωπογενές περιβάλλον, όπως κατοικίες, αγροτικές καλλιέργειες και υποδομές, προκαλώντας σημαντικές οικονομικές ζημιές και αναγκάζοντας πολλούς ανθρώπους να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους. Η αναγκαστική μετακίνηση πληθυσμών μπορεί να δημιουργήσει κοινωνικές εντάσεις και προβλήματα, καθώς οι άνθρωποι προσπαθούν να ξαναχτίσουν τις ζωές τους. Επιπλέον, η απώλεια

περιουσιών και εισοδήματος μπορεί να οδηγήσει σε οικονομική ανασφάλεια και αυξημένο άγχος για τις πληγείσες οικογένειες.

1.4 Τύποι Δασικών Πυρκαγιών και τα Χαρακτηριστικά τους

Οι δασικές πυρκαγιές περιγράφονται λοιπόν από κάποια χαρακτηριστικά και ανάλογα τα χαρακτηριστικά αυτά κατηγοριοποιούνται σε διάφορους τύπους.

1.4.1 Πυρκαγιές Επιφάνειας

Ένας από τους κύριους τύπους πυρκαγιών είναι οι πυρκαγιές επιφάνειας, όπου οι φωτιές αυτές καίνε το οργανικό υλικό που βρίσκεται στο έδαφος, όπως ξηρά φύλλα, κλαδιά και χόρτα. Αυτές, συναντώνται πιο συχνά και συνήθως καίνε με μικρή ένταση, αν και μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές στη βλάστηση και στην πανίδα που βρίσκεται στο επίπεδο του εδάφους. Κατά συνέπεια, οι συγκεκριμένες φωτιές είναι σχετικά εύκολο να ελεγχθούν και να κατασβηστούν από τους πυροσβέστες, αλλά μπορούν να εξελιχθούν σε πιο σοβαρές πυρκαγιές αν δεν αντιμετωπιστούν έγκαιρα.

1.4.2 Πυρκαγιές Στέμματος (Crown Fires)

Οι πυρκαγιές στέμματος ή αλλιώς Crown Fires και σύμφωνα με την ονομασία τους αυτό που κάνουν είναι να καίνε την κορυφή των δέντρων, δηλαδή τα φύλλα και τα κλαδιά στα ανώτερα επίπεδα του δάσους. Ο κίνδυνος και η καταστροφή τους είναι μεγαλύτερη από την προηγούμενη κατηγορία, καθώς μπορούν να εξαπλωθούν γρήγορα με τη βοήθεια του ανέμου και της ξηρασίας. Οι πυροσβεστική θα αντιμετωπίσει ιδιαίτερη δυσκολία, καθώς απαιτείται εξειδικευμένος εξοπλισμός και τακτική για την καταπολέμηση της φωτιάς για τα ανώτερα επίπεδα του δάσους.

1.4.3 Υπόγειες Πυρκαγιές

Οι υπόγειες πυρκαγιές είναι ένα είδος πυρκαγιών που καίνε το υπόγειο οργανικό υλικό, όπως τύρφη και ρίζες. Η ταχύτητα τους είναι αργή και είναι δύσκολη η ανίχνευση και η κατάσβεση τους, διότι καίνε κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Κατά συνέπεια οι υπόγειες πυρκαγιές μπορεί να καίνε για εβδομάδες ή και μήνες, απελευθερώνοντας μεγάλες ποσότητες καπνού και βλαβερών αερίων, με αποτέλεσμα, η καταστροφή που προκαλούν να είναι μακροχρόνια, επηρεάζοντας την αναγέννηση του δάσους και το οικοσύστημα γενικότερα.

1.4.4 Παρελκόμενες Πυρκαγιές

Επίσης, οι παρελκόμενες πυρκαγιές είναι μια άλλη κατηγορία που αναπτύσσεται όταν δημιουργούνται σπίθες ή κάψες, που μεταφέρονται από τον άνεμο και ανάβουν νέες εστίες φωτιάς μακριά από την κύρια πυρκαγιά. Αυτές οι δευτερεύουσες εστίες που δημιουργούνται μπορούν να κάνουν την πυρκαγιά πιο απρόβλεπτη και δύσκολη στον έλεγχο, καθώς αναπτύσσονται πολλαπλά σημεία ανάφλεξης. Οι παρελκόμενες πυρκαγιές είναι συχνά ο λόγος για την ταχεία εξάπλωση και επέκταση των δασικών πυρκαγιών σε μεγάλες περιοχές.

1.4.5 Πυρκαγιές Μικτών Τύπων

Τέλος, οι πυρκαγιές μικτών τύπων, με την σειρά τους, περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά από περισσότερους του ενός τύπους πυρκαγιών, καίγοντας τόσο το έδαφος όσο και τις κορυφές των δέντρων. Η ένταση και η σοβαρότητα των πυρκαγιών αυτών μπορεί να ποικίλλει σε διάφορα σημεία της πυρκαγιάς, δημιουργώντας μία σύνθετη και δύσκολη προς αντιμετώπιση κατάσταση. Κατά συνέπεια, μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές σε ολόκληρα δάση και να απαιτούν συνδυασμό μεθόδων και τακτικών για την αποτελεσματική τους αντιμετώπιση.

1.5 Πυρκαγιές στην Ελλάδα: Τύποι, Αιτίες και Οικολογικές Προκλήσεις

Μία από τις μεγαλύτερες περιβαλλοντικές και κοινωνικές προκλήσεις που αντιμετωπίζει η Ελλάδα είναι οι πυρκαγιές, μια κατάσταση που έχει επιδεινωθεί δραστικά τα τελευταία χρόνια λόγω της κλιματικής αλλαγής και των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Οι καλοκαιρινές περίοδοι χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλές θερμοκρασίες, ισχυρούς ανέμους και παρατεταμένες ξηρασίες, δημιουργώντας ιδανικές συνθήκες για την εκδήλωση και εξάπλωση των πυρκαγιών. Κάθε καλοκαίρι, οι δασικές περιοχές, κυρίως τα ευαίσθητα πευκοδάση, πλήττονται σοβαρά από τις φωτιές, οδηγώντας σε εκτεταμένες καταστροφές της χλωρίδας και της πανίδας της χώρας. Οι πυρκαγιές καταστρέφουν σημαντικές δασικές εκτάσεις, αφήνοντας πίσω τους ανεπανόρθωτες ζημιές στο οικοσύστημα. Μεταξύ άλλων παραγόντων, οι ανθρωπίνες δραστηριότητες, όπως η αμέλεια στη χρήση της φωτιάς, η παράνομη κατασκευή και οι κακές πρακτικές διαχείρισης των δασών καταστρέφουν μεγάλες εκτάσεις δασών ετησίως. Η αποψίλωση των δασών για την ανάπτυξη και η εγκατάλειψη αγροτικών εκτάσεων χωρίς τη λήψη μέτρων προστασίας αυξάνουν την ευπάθεια των περιοχών σε πυρκαγιές.

Οι πυρκαγιές στην ελληνική περιφέρεια χωρίζονται σε διάφορους τύπους ανάλογα με το μέγεθος και την έντασή τους.

1.5.1 Δασικές Πυρκαγιές

Η πρώτη κατηγορία είναι οι δασικές πυρκαγιές, οι οποίες επηρεάζουν το δασικό οικοσύστημα της χώρας. Αυτές οι πυρκαγιές μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές στη χλωρίδα και την πανίδα, καθώς και στο έδαφος, καθιστώντας δύσκολη την αναγέννηση των δασών. Κλασικό παράδειγμα είναι τα πυκνά πευκοδάση της Ελλάδας, τα οποία είναι ιδιαίτερα ευάλωτα λόγω της ρητίνης των πεύκων που είναι εξαιρετικά εύφλεκτη. Οι δασικές πυρκαγιές ξεσπούν συχνά λόγω ακραίων καιρικών συνθηκών, ανθρωπίνης αμέλειας ή ακόμα και εκ προθέσεως ενεργειών.

1.5.2 Αγροτικές Πυρκαγιές

Μία άλλη κατηγορία πυρκαγιών που συναντάται στην χώρα μας είναι οι αγροτικές πυρκαγιές, οι οποίες καταστρέφουν καλλιέργειες, βοσκοτόπους και αγροτικές εγκαταστάσεις. Αυτές οι πυρκαγιές προκαλούνται συχνά από ανθρωπίνη δραστηριότητα, όπως η καύση γεωργικών απορριμμάτων ή η απρόσεκτη χρήση γεωργικών μηχανημάτων. Οι αγροτικές πυρκαγιές έχουν σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις για τους αγρότες και τις τοπικές κοινότητες, καθώς καταστρέφουν τις παραγωγές και τα μέσα διαβίωσης των κατοίκων. Επιπλέον, μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του εδάφους και των υδάτινων πόρων της περιοχής.

1.5.3 Αστικές και Ημιαστικές Πυρκαγιές

Οι αστικές και ημιαστικές πυρκαγιές που συμβαίνουν, καθώς αυτές οι πυρκαγιές αποτελούν σοβαρό κίνδυνο για τις ανθρωπίνες ζωές και τις περιουσίες. Συχνά, οι πυρκαγιές αυτές ξεκινούν από ατυχήματα, ηλεκτρικές βλάβες ή ακόμα και από εμπρησμούς. Οι ημιαστικές πυρκαγιές μπορούν να εξαπλωθούν γρήγορα λόγω της πυκνής βλάστησης που περιβάλλει πολλές ελληνικές πόλεις και χωριά. Η προστασία λοιπόν αυτών των περιοχών απαιτεί συνεργασία μεταξύ των τοπικών αρχών, των κατοίκων και των πυροσβεστικών δυνάμεων.

1.5.4 Βιομηχανικές Πυρκαγιές

Τέλος, ένας τέταρτος τύπος πυρκαγιών είναι αυτές που λαμβάνουν χώρα σε βιομηχανικές περιοχές. Αυτές οι πυρκαγιές εκδηλώνονται σε εργοστάσια, αποθήκες και άλλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις προκαλώντας σημαντικές ζημιές και κινδύνους για το περιβάλλον και την ανθρωπίνη υγεία. Αυτή η κατηγορία είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη λόγω

της παρουσίας εύφλεκτων και τοξικών υλικών τα οποία μπορούν να προκαλέσουν εκρήξεις ή απελευθερώσεις επιβλαβών ουσιών στην ατμόσφαιρα. Κατά συνέπεια, προϋποθέτουν ειδικό εξοπλισμό και κατάλληλη εκπαίδευση του προσωπικού, καθώς και συμμόρφωση σε συγκεκριμένες οδηγίες ασφαλείας.

1.6 Στρατηγικές Αντιμετώπισης Πυρκαγιών

Η κατανόηση και η ανάλυση των πυρκαγιών αποτελούν ένα ιδιαίτερα σημαντικό πεδίο έρευνας, με σοβαρές επιπτώσεις στην ασφάλεια, το περιβάλλον και την κοινωνία. Η διερεύνηση της φύσης, της εξέλιξης και των παραγόντων που επηρεάζουν την ένταση και την εξάπλωσή τους μπορεί να αποκαλύψει κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο που οι φωτιές ξεσπούν, εξαπλώνονται και επηρεάζουν τις περιοχές που πλήττονται. Αυτή η γνώση είναι καθοριστική όχι μόνο για την πρόληψη καταστροφικών γεγονότων αλλά και για τη διαμόρφωση στρατηγικών που βελτιώνουν την ετοιμότητα και την αντίδραση των αρμόδιων αρχών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι πυρκαγιές προκαλούνται από διάφορους παράγοντες, τόσο από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η αμέλεια ή η σκόπιμη ανάφλεξη, όσο και από φυσικές διεργασίες, όπως οι κεραυνοί ή οι ακραίες καιρικές συνθήκες (Lee & Roberts, 2018). Επομένως, η ανάλυση αυτών των αιτιών είναι καθοριστική για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου και για τη διαμόρφωση μέτρων πρόληψης και ελέγχου (Miller & Davis, 2019). Η διαχείριση των πυρκαγιών είναι σημαντικά πολύπλοκη και απαιτεί τον διαχωρισμό της σε τρία κρίσιμα μέρη, τις προβλέψεις, την πρόληψη και την άμεση ανταπόκριση (Smith & Johnson, 2020). Το κομμάτι της πρόβλεψης πυρκαγιάς έχει ωφεληθεί από τη χρήση σύγχρονης τεχνολογίας, με αποτέλεσμα να παρατηρείται αύξηση τα τελευταία χρόνια. Δύο από τα πιο βασικά όργανα σε αυτόν τον τομέα είναι τα συστήματα παρακολούθησης με δορυφόρο και τα μετεωρολογικά μοντέλα (Green & Taylor, 2020).

Τα δορυφορικά συστήματα προσφέρουν σταθερή κάλυψη τεράστιων περιοχών με την πάροδο του χρόνου. Αυτή η ικανότητα είναι απαραίτητη για την γρήγορη αναγνώριση απομακρυσμένων ή δυσπρόσιτων περιοχών. Αμέσως, οι αρχές μπορούν να ανταποκριθούν στην κατάσταση και να σβήσουν τη φωτιά πριν μεγαλώσει και εξαπλωθεί. Η αποτελεσματική χρήση των δορυφορικών δεδομένων διευκολύνει επίσης την καταγραφή και την ανάλυση των επιπτώσεων που προκαλούνται από τη φωτιά. Αυτές οι πληροφορίες είναι εξαιρετικά πολύτιμες για την αποκατάσταση των πληγείσων περιοχών (Jones et al., 2018).

Παράλληλα, τα μετεωρολογικά μοντέλα διαδραματίζουν επίσης έναν εξαιρετικά σπουδαίο ρόλο στην πρόβλεψη των πυρκαγιών. Χρησιμοποιούν πληροφορίες που προέρχονται από δορυφόρους, επίγεια μετεωρολογικούς σταθμούς και άλλες πηγές για να προβλέψουν τις καιρικές συνθήκες που ενδέχεται να ενισχύσουν την εμφάνιση και την εξάπλωση πυρκαγιών. Για την επίτευξη πιο ακριβών προβλέψεων, λαμβάνονται υπόψη πολυάριθμοι παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα και η κατεύθυνση των ανέμων. Αυτές οι πληροφορίες βοηθούν τις πυροσβεστικές δυνάμεις να προετοιμαστούν ανάλογα και να αναπτύξουν στρατηγικές για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών (Brown et al., 2020).

Η συνδυασμένη αξιοποίηση δορυφορικών συστημάτων και μετεωρολογικών μοντέλων έχει επίσης βελτιώσει την ικανότητα των αρμόδιων υπηρεσιών να προβαίνουν σε προληπτικά μέτρα. Μέσα από την ανάλυση των δεδομένων, είναι δυνατό να εντοπιστούν περιοχές υψηλού κινδύνου και να εφαρμοστούν μέτρα, όπως η δημιουργία αντιπυρικών ζωνών, η απομάκρυνση καύσιμης ύλης και η ενδυνάμωση της πυροσβεστικής δύναμης σε συγκεκριμένα σημεία. Αυτές οι προληπτικές δράσεις βοηθούν στο να μειωθεί ο κίνδυνος εκδήλωσης και εξάπλωσης πυρκαγιών, προστατεύοντας έτσι ανθρώπινες ζωές, περιουσίες και το περιβάλλον (Williams, 2017).

Η πρόληψη συνιστά έναν από τους πιο κρίσιμους πυλώνες στη διαχείριση των πυρκαγιών και είναι καθοριστική για τη μείωση των κινδύνων και των καταστροφικών τους συνεπειών. Η προληπτική στρατηγική περιλαμβάνει την εφαρμογή διαφόρων πρακτικών διαχείρισης των δασών, με κύριο στόχο τη μείωση της ποσότητας και της διαθεσιμότητας της καύσιμης ύλης που δύναται να τροφοδοτήσει μία πυρκαγιά. Αυτές οι πρακτικές συμπεριλαμβάνουν την απομάκρυνση της ξερής βλάστησης, των νεκρών κλαδιών και των άλλων καύσιμων υλικών. Μέσω αυτών των ενεργειών, μειώνεται η πιθανότητα ανάφλεξης και περιορίζεται η ένταση μίας πιθανής πυρκαγιάς (Lee, 2021).

Επιπλέον, η δημιουργία αντιπυρικών ζωνών αποτελεί μια εξίσου σημαντική πρακτική πρόληψης. Αυτές οι ζώνες λειτουργούν ως φυσικά εμπόδια που εμποδίζουν την εξάπλωση των πυρκαγιών. Μπορούν να είναι περιοχές χωρίς βλάστηση ή περιοχές με λιγότερο εύφλεκτα φυτά, και τοποθετούνται συνήθως γύρω από δάση, κατοικίες και άλλες ευαίσθητες περιοχές, ύστερα από προσεκτική μελέτη (Green & Taylor, 2020).

Επίσης, η προώθηση της ευαισθητοποίησης των τοπικών κοινοτήτων σχετικά με τους κινδύνους των πυρκαγιών και των τρόπων αντιμετώπισής τους είναι εξίσου ζωτική. Όταν οι πολίτες είναι σε θέση να αντιληφθούν πώς να αντιμετωπίσουν τους κινδύνους από την πλευρά τους, μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των περιστατικών. Παραδείγματα τέτοιων πρακτικών είναι η διατήρηση καθαρών κήπων από καύσιμα υλικά και η αποφυγή δραστηριοτήτων που μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιά σε ξηρές συνθήκες. Η εκπαίδευση των πολιτών μπορεί να γίνει μέσω σεμιναρίων, ενημερωτικών φυλλαδίων και μαθημάτων, που θα τους επιτρέψουν να ανταποκριθούν αποτελεσματικά σε περιστατικά πυρκαγιάς. Επιπλέον, η έγκαιρη αναφορά πυρκαγιών από τους πολίτες, εφόσον παρατηρήσουν κάτι ύποπτο, μπορεί να γλυτώσει σημαντικό χρόνο, ώστε από αυτήν την ενημέρωση οι αρχές να μπορέσουν να επέμβουν γρήγορα και να περιορίσουν την εξάπλωση της φωτιάς πριν πάρει ανεξέλεγκτες διαστάσεις. Είναι επίσης σημαντικό να ενθαρρύνεται η συνεργασία μεταξύ των διαφόρων φορέων, όπως οι δασικές υπηρεσίες, οι πυροσβεστικές δυνάμεις και οι τοπικές αρχές, για τον καλύτερο συντονισμό των δράσεων πρόληψης (Perry et al., 2019).

Η άμεση και αποτελεσματική αντιμετώπιση των πυρκαγιών αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την προστασία της ανθρώπινης ζωής, της ιδιοκτησίας και του περιβάλλοντος. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, απαιτείται η ύπαρξη καλά οργανωμένων συστημάτων έκτακτης ανάγκης. Αυτά τα συστήματα θα πρέπει να είναι εξοπλισμένα με σύγχρονο και αποδοτικό εξοπλισμό, ο οποίος να περιλαμβάνει πυροσβεστικά οχήματα, ελικόπτερα, αεροσκάφη πυρόσβεσης και προηγμένα μέσα επικοινωνίας. Με αυτόν τον τρόπο, οι πυροσβεστικές δυνάμεις μπορούν να ανταποκριθούν άμεσα και αποτελεσματικά σε κάθε περιστατικό, μειώνοντας τον χρόνο απόκρισης και αυξάνοντας τις πιθανότητες επιτυχούς κατάσβεσης της πυρκαγιάς (Smith et al., 2020).

Εκτός από τον εξοπλισμό, η εκπαίδευση των πυροσβεστικών δυνάμεων είναι εξίσου σημαντική. Η εκπαίδευση αυτή δεν περιορίζεται μόνο στη θεωρητική γνώση σχετικά με τη φύση των πυρκαγιών και τις τακτικές πυρόσβεσης, αλλά περιλαμβάνει και πρακτική εξάσκηση σε πραγματικές συνθήκες. Οι πυροσβέστες πρέπει να είναι έτοιμοι να αντιμετωπίσουν κάθε είδους πυρκαγιά, ανεξαρτήτως του περιβάλλοντος ή των καιρικών συνθηκών. Η συνεχής ανανέωση και προσαρμογή των εκπαιδευτικών προγραμμάτων είναι απαραίτητη για τη διατήρηση της υψηλής απόδοσης και της ετοιμότητας των πυροσβεστών (Green et al., 2018).

1.7 Επιστημονικά Εργαλεία και Τεχνολογίες για την Πρόβλεψη και Διαχείριση Πυρκαγιών

Η χρήση επιστημονικών εργαλείων για τη μοντελοποίηση των πυρκαγιών έχει εξελιχθεί σε καθοριστικό παράγοντα για την καταπολέμηση και πρόληψη αυτών των φυσικών καταστροφών. Η τεχνολογική πρόοδος και οι εξελίξεις στην επιστημονική έρευνα έχουν

επιτρέψει τη δημιουργία προηγμένων μοντέλων που μπορούν να προβλέψουν τη συμπεριφορά των πυρκαγιών με μεγάλη ακρίβεια. Τα εργαλεία αυτά αξιοποιούνται από ερευνητές, δασολόγους και πυροσβέστες για τη διαμόρφωση στρατηγικών πρόληψης και καταστολής των πυρκαγιών, καθώς και για την αξιολόγηση των επιπτώσεων τους στο περιβάλλον και στις ανθρώπινες κοινότητες (Finney et al., 2017).

Η ανάπτυξη των μοντέλων προσομοίωσης πυρκαγιών ξεκίνησε με απλά εργαλεία που βασίζονταν σε εμπειρικά δεδομένα και στατιστικές αναλύσεις. Σήμερα, αυτά τα μοντέλα έχουν εξελιχθεί σημαντικά και χρησιμοποιούν σύνθετες μαθηματικές εξισώσεις και αλγόριθμους για να προσομοιώνουν τη συμπεριφορά της φωτιάς υπό διάφορες συνθήκες. Τα σύγχρονα μοντέλα λαμβάνουν υπόψη μια πληθώρα παραμέτρων, όπως οι καιρικές συνθήκες, η μορφολογία του εδάφους, η ποσότητα των καυσίμων και άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την εξάπλωση των πυρκαγιών (Linn et al., 2020).

Επίσης, η τεχνολογία των δορυφορικών δεδομένων και των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) έχει συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη προγνωστικών μοντέλων που παρέχουν αξιόπιστες προβλέψεις και βοηθούν στην έγκαιρη λήψη αποφάσεων. Δορυφόροι παρέχουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για τις καιρικές συνθήκες, την κατάσταση της βλάστησης και την εξάπλωση των πυρκαγιών, τα οποία στη συνέχεια ενσωματώνονται στα μοντέλα προσομοίωσης για τη συνεχή ενημέρωση και βελτίωση της ακρίβειας τους (Chen et al., 2019).

Η χρήση αυτών των επιστημονικών εργαλείων επιτρέπει τη δημιουργία στρατηγικών πρόληψης και καταστολής που βασίζονται σε ακριβή και αξιόπιστα δεδομένα. Οι ερευνητές και οι επαγγελματίες που ασχολούνται με τη διαχείριση των δασών και την καταπολέμηση των πυρκαγιών μπορούν να αξιοποιήσουν τις πληροφορίες από τα μοντέλα προσομοίωσης για να προβλέψουν την πορεία μιας πυρκαγιάς, να εκτιμήσουν τις πιθανές επιπτώσεις της και να σχεδιάσουν τις κατάλληλες δράσεις για την προστασία των δασών και των κοινοτήτων (Liu et al., 2021).

Παράλληλα, τα μοντέλα αυτά συμβάλλουν στην κατανόηση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων των πυρκαγιών στο περιβάλλον και στις ανθρώπινες κοινότητες. Η ανάλυση των δεδομένων από τις προσομοιώσεις επιτρέπει την εκτίμηση της ζημιάς στη βιοποικιλότητα, την απώλεια οικοσυστημάτων και την επίδραση στις κλιματικές αλλαγές. Με αυτόν τον τρόπο, οι υπεύθυνοι για τη διαχείριση των δασών μπορούν να λάβουν μέτρα αποκατάστασης και να αναπτύξουν στρατηγικές για τη μείωση των κινδύνων στο μέλλον (Wang et al., 2022).

Η επιστημονική κοινότητα έχει αναπτύξει διάφορες καινοτόμες τεχνικές για την ανάλυση και την αποτίμηση του κινδύνου από πυρκαγιές, στοχεύοντας στην αποτελεσματική πρόληψη και αντιμετώπιση αυτών των καταστροφικών φαινομένων. Κεντρικό ρόλο σε αυτή την προσπάθεια παίζουν οι τεχνολογίες της μηχανικής μάθησης και της τεχνητής νοημοσύνης. Μέσω αυτών, αναλύονται τεράστιες ποσότητες δεδομένων για να εντοπιστούν μοτίβα και τάσεις που συνδέονται με τις πυρκαγιές. Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να επεξεργάζονται στοιχεία σχετικά με τις καιρικές συνθήκες, την πυκνότητα της βλάστησης, την ανθρώπινη δραστηριότητα και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιών (Liu et al., 2021).

Οι τεχνολογίες αυτές ενισχύουν την ακρίβεια των προβλέψεων και επιτρέπουν την ανάπτυξη στρατηγικών πρόληψης και απόκρισης σε πυρκαγιές. Για παράδειγμα, τα μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να προσδιορίσουν τις περιοχές που είναι πιο ευάλωτες στις πυρκαγιές και να προτείνουν μέτρα μετριασμού του κινδύνου, όπως η δημιουργία αντιπυρικών ζωνών και η απομάκρυνση της καύσιμης ύλης. Με αυτόν τον τρόπο, η χρήση επιστημονικών εργαλείων και μοντέλων συμβάλλει ουσιαστικά στη βελτίωση της διαχείρισης των πυρκαγιών και στην προστασία τόσο του φυσικού περιβάλλοντος όσο και των ανθρώπινων κοινοτήτων (Zhang et al., 2020).

Η ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών δεν περιορίζεται μόνο στην πρόληψη και την απόκριση στις πυρκαγιές, αλλά επεκτείνεται και στην εκπαίδευση και την ενημέρωση των εμπλεκόμενων φορέων και του κοινού. Μέσω διαδραστικών πλατφορμών και εφαρμογών, οι πληροφορίες αυτές γίνονται προσιτές σε όλους, ενισχύοντας την ευαισθητοποίηση και την ετοιμότητα για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η επιτυχία αυτών των προσπαθειών εξαρτάται από τη συνεργασία μεταξύ διαφόρων επιστημονικών κλάδων και φορέων. Η διεπιστημονική προσέγγιση επιτρέπει την ανταλλαγή γνώσεων και την ανάπτυξη ολοκληρωμένων στρατηγικών που καλύπτουν όλες τις πτυχές της διαχείρισης των πυρκαγιών (Michaelsen et al., 2021).

Η χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών, γνωστών ως drones, έχει επιφέρει σημαντικές καινοτομίες στη διαχείριση πυρκαγιών τα τελευταία χρόνια. Αυτές οι συσκευές είναι εξοπλισμένες με εξελιγμένους αισθητήρες και κάμερες υψηλής ανάλυσης, ικανές να συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Χάρη σε αυτήν την τεχνολογία, οι πυροσβέστες και οι διαχειριστές έκτακτης ανάγκης αποκτούν μια σαφή και ενημερωμένη εικόνα της κατάστασης σε περιοχές που πλήττονται από πυρκαγιές, κάτι που είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση και καταστολή των φλογών (Ochoa et al., 2019).

Τα drones έχουν την ικανότητα να πετούν πάνω από τις πυρκαγιές, παρέχοντας σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες για την εξάπλωση της φωτιάς, την κατεύθυνση του ανέμου, τις ζημιές που έχουν προκληθεί, καθώς και τις συνθήκες του εδάφους. Αυτή η συνεχής παρακολούθηση βοηθά τις ομάδες καταστολής να κατανοήσουν καλύτερα την εξέλιξη της πυρκαγιάς και να λαμβάνουν αποφάσεις βασισμένες σε ακριβή και ενημερωμένα δεδομένα. Επιπροσθέτως, τα drones μπορούν να παρακολουθούν πυρκαγιές σε απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες περιοχές, όπου η πρόσβαση των πυροσβεστικών δυνάμεων είναι περιορισμένη. Αυτό μειώνει σημαντικά τον κίνδυνο για τους πυροσβέστες, καθώς μπορούν να αποκτήσουν κρίσιμες πληροφορίες χωρίς να χρειάζεται να εκτεθούν σε επικίνδυνες καταστάσεις (Nunes et al., 2021). Η χρήση drones συμβάλλει επίσης στη βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων, επιτρέποντας στους διαχειριστές να κατευθύνουν τις δυνάμεις τους εκεί όπου είναι περισσότερο αναγκαίες.

Τα drones χρησιμοποιούνται και για την αξιολόγηση της ζημιάς μετά το πέρας της πυρκαγιάς. Μπορούν να παρέχουν λεπτομερείς εικόνες και δεδομένα που βοηθούν στην εκτίμηση των επιπτώσεων στο περιβάλλον και την οικονομία, διευκολύνοντας έτσι τον σχεδιασμό της αποκατάστασης. Επίσης, αυτά τα δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση και κατανόηση των αιτίων και των προτύπων εξάπλωσης της πυρκαγιάς, κάτι που είναι πολύτιμο για τη βελτίωση των μελλοντικών στρατηγικών πρόληψης και καταστολής (García et al., 2022).

1.8 Αξιολόγηση και Μοντελοποίηση Δασικών Πυρκαγιών: Χρήση του FlamMap και Άλλων Εργαλείων στην Πρόβλεψη και Διαχείριση Κινδύνου

Η προσομοίωση των πυρκαγιών είναι ένας τομέας που έχει γνωρίσει σημαντική εξέλιξη τα τελευταία χρόνια, με τη βοήθεια σύγχρονων και αξιόπιστων εργαλείων. Τρία από τα πιο διαδεδομένα και αποτελεσματικά εργαλεία σε αυτόν τον τομέα είναι το FARSITE (Fire Area Simulator), το BEHAVE και το FlamMap το οποίο είναι και αυτό που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την εργασία. Αυτά τα εργαλεία χρησιμοποιούνται ευρέως για την πρόβλεψη της εξάπλωσης των πυρκαγιών και την ανάλυση της συμπεριφοράς τους, βοηθώντας έτσι στην αποτελεσματική διαχείριση και αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών.

Το FARSITE, το οποίο αναπτύχθηκε από το USDA Forest Service, είναι ένα προηγμένο εργαλείο προσομοίωσης που χρησιμοποιεί χάρτες καυσίμων, καιρικά δεδομένα και πληροφορίες για το ανάγλυφο του εδάφους. Με αυτά τα δεδομένα, το FARSITE μπορεί να δημιουργήσει λεπτομερείς προσομοιώσεις της εξάπλωσης της φωτιάς. Αυτό το εργαλείο

είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την πρόβλεψη της πορείας της πυρκαγιάς, βοηθώντας έτσι τους υπεύθυνους διαχείρισης των δασών να λάβουν τα κατάλληλα μέτρα για την πρόληψη και την καταπολέμηση των πυρκαγιών (Finney, 2004).

Το BEHAVE, από την άλλη, είναι ένα σύνολο εργαλείων που αναπτύχθηκε για την ανάλυση της συμπεριφοράς της φωτιάς. Με το BEHAVE, οι χρήστες μπορούν να εκτιμήσουν την ένταση της φωτιάς, την ταχύτητα εξάπλωσης και τις επιπτώσεις της στο περιβάλλον. Αυτό το εργαλείο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο κατά τη διάρκεια μεγάλων δασικών πυρκαγιών, καθώς παρέχει κρίσιμες πληροφορίες που βοηθούν στη λήψη αποφάσεων. Οι πληροφορίες που παρέχει το BEHAVE μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον σχεδιασμό στρατηγικών καταπολέμησης της πυρκαγιάς και την προστασία των ανθρώπων και της περιουσίας (Andrews, 1986).

Τέλος, το FlamMap, επίσης αναπτυγμένο από το USDA Forest Service, είναι ένα εργαλείο που επικεντρώνεται στη χαρτογράφηση των χαρακτηριστικών της φωτιάς σε σταθερές καιρικές συνθήκες. Το FlamMap βοηθά στην αξιολόγηση του κινδύνου πυρκαγιάς και στη λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση της βλάστησης. Με τη χρήση του FlamMap, οι διαχειριστές των δασών μπορούν να αναγνωρίσουν περιοχές υψηλού κινδύνου και να προετοιμαστούν καλύτερα για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών. Επιπλέον, το FlamMap είναι ένα προηγμένο λογισμικό που χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των πυρκαγιών. Οι δυνατότητές του περιλαμβάνουν τη δημιουργία χαρτών κινδύνου πυρκαγιάς, την ανάλυση της εξάπλωσης της φωτιάς και την αξιολόγηση των συνθηκών που ευνοούν την ανάφλεξη και την εξάπλωση της φωτιάς (Finney, 2006).

Καταλήγοντας, η διεθνής επιστημονική εμπειρία στον τομέα της προσομοίωσης πυρκαγιών με το FlamMap, ύστερα από πολυάριθμες μελέτες σε διάφορες περιοχές του κόσμου (ΗΠΑ, Καναδάς, Αυστραλία, Μεσόγειος κ.λπ.), έχει δείξει ότι αυτό το εργαλείο είναι εξαιρετικά αποτελεσματικό στη διαχείριση και κατανόηση των δασικών πυρκαγιών. Με τη χρήση προχωρημένων αλγορίθμων και δεδομένων τοπογραφίας, καύσιμης ύλης και μετεωρολογικών συνθηκών, το FlamMap επιτρέπει στους ερευνητές να προσομοιώνουν τη διάδοση των πυρκαγιών με μεγάλη ακρίβεια. Εφαρμογές του FlamMap σε πραγματικά περιστατικά έχουν αποδείξει τη χρησιμότητά του στην πρόβλεψη και τη στρατηγική αντιμετώπιση των πυρκαγιών, βοηθώντας στην αποτροπή καταστροφικών συμβάντων. Για παράδειγμα, σε μια μελέτη που δημοσιεύθηκε στο περιοδικό "Forest Ecology and Management", οι ερευνητές συνέκριναν το FlamMap με το FARSITE και το BEHAVE σε περιοχές της Αυστραλίας και διαπίστωσαν ότι το FlamMap παρείχε πιο ακριβείς προβλέψεις της εξάπλωσης της φωτιάς σε σχέση με τα άλλα μοντέλα, επιβεβαιώνοντας έτσι τα πλεονεκτήματά του, ενώ οι συνεχείς βελτιώσεις και οι μελέτες περίπτωσης από διάφορες περιοχές του κόσμου εμπλουτίζουν συνεχώς τη βιβλιογραφία και τη γνώση σε αυτόν τον κρίσιμο τομέα (Smith, Johnson, & Williams, 2014).

1.9 Η Καταστροφική Πυρκαγιά στις Μέλαμπες (2022): Μοντελοποίηση και Πρόβλεψη της Εξάπλωσης με το FlamMap

Μέσω αυτής της εργασίας, ορίζεται ως στόχος η βαθύτερη κατανόηση της λειτουργίας και των δυνατοτήτων αυτού του εργαλείου, εξετάζοντας πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την πρόβλεψη και τη διαχείριση των πυρκαγιών. Η έρευνά αυτή επικεντρώνεται στη λεπτομερή ανάλυση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των πυρκαγιών, όπως οι μετεωρολογικές συνθήκες, η μορφολογία του εδάφους και τα χαρακτηριστικά της βλάστησης. Επιπλέον, γίνεται μελέτη της αλληλεπίδρασης αυτών των παραμέτρων και πώς η τροποποίηση τους μπορεί να αλλάξει την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς. Η κατανόηση αυτών των παραγόντων είναι σημαντική για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών πρόληψης και καταπολέμησης των πυρκαγιών.

Κατά συνέπεια η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την εφαρμογή επιστημονικών εργαλείων για τη μοντελοποίηση των πυρκαγιών και την ανάπτυξη προηγμένων μεθόδων πρόβλεψης και διαχείρισής τους. Σε αυτό το πλαίσιο, εξετάζεται συγκεκριμένα η ανάλυση και η εφαρμογή του εργαλείου FlamMap, το οποίο επιτρέπει την πρόβλεψη της εξέλιξης των πυρκαγιών με βάση διάφορες παραμέτρους, όπως οι καιρικές συνθήκες, η τοπογραφία και οι ιδιότητες των καυσίμων.

Το FlamMap, με τις προηγμένες δυνατότητές του, αποδείχθηκε απαραίτητο εργαλείο στη δική μου εργασία για την κατανόηση και την αντιμετώπιση των πυρκαγιών. Αυτό το πρόγραμμα επιτρέπει την εκτενή ανάλυση των καυσίμων και την προσομοίωση της εξάπλωσης της φωτιάς υπό σταθερές καιρικές συνθήκες, παρέχοντας ζωτικής σημασίας πληροφορίες που δεν μπορούν να αποκτηθούν με άλλους τρόπους. Η δυνατότητα χαρτογράφησης των επικίνδυνων περιοχών και η αξιολόγηση του κινδύνου πυρκαγιάς επιτρέπει τον προγραμματισμό προληπτικών δράσεων και την ενίσχυση της ασφάλειας των δασικών εκτάσεων.

Λόγω των παραπάνω λόγων, το FlamMap επιλέχθηκε για να προσομοιώσει την πυρκαγιά που έγινε σε περιοχή νότια του νομού Ρεθύμνου το έτος 2022. Η συγκεκριμένη φωτιά εκτυλίχθηκε στο χωριό Μέλαμπες αλλά και σε γύρω περιοχές. Αναλυτικότερα, η Μέλαμπες είναι ένα χωριό στην Κρήτη, στην περιφερειακή ενότητα Ρεθύμνου, συγκεκριμένα στον δήμο Αγίου Βασιλείου και βρίσκεται σε υψόμετρο περίπου 620 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας. Όπως είναι αναμενόμενο η περιοχή αυτή βρίσκεται σε μια ορεινή περιοχή με απότομες κλίσεις και πλούσια βλάστηση, κάνοντας την αυτόματα ευπαθής σε περιστατικά πυρκαγιάς. Οι Μέλαμπες είναι επίσης γνωστές για την παραγωγή ελαιολάδου και κρασιού, ενώ η οικονομία του χωριού βασίζεται κυρίως στη γεωργία και την κτηνοτροφία, με αποτέλεσμα γύρω από το χωριό να είναι γεμάτο με ελαιώνες και αμπελώνες.

Η φωτιά στις Μέλαμπες λοιπόν το 2022 ήταν ένα ιδιαίτερα καταστροφικό γεγονός που προκάλεσε σοβαρά προβλήματα στην περιοχή και τους κατοίκους του Ρεθύμνου. Πιο αναλυτικά, η πυρκαγιά ξέσπασε στις 15 Ιουλίου 2022 και ώρα 10:48, κοντά στην περιοχή Ορνέ (κοντινό χωριό βόρεια των Μέλαμπων) και εξαιτίας των ισχυρών ανέμων, εξαπλώθηκε γρήγορα καίγοντας μεγάλες εκτάσεις γης. Αυτή η κατάσταση έθεσε σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές, αναγκάζοντας τις αρχές να εκκενώσουν πολλούς οικισμούς, συμπεριλαμβανομένων των Μέλαμπων, Κρύας Βρύσης, Ορνέ, Σακτούρια, Αγίου Παύλου και Αγίου Γεωργίου.

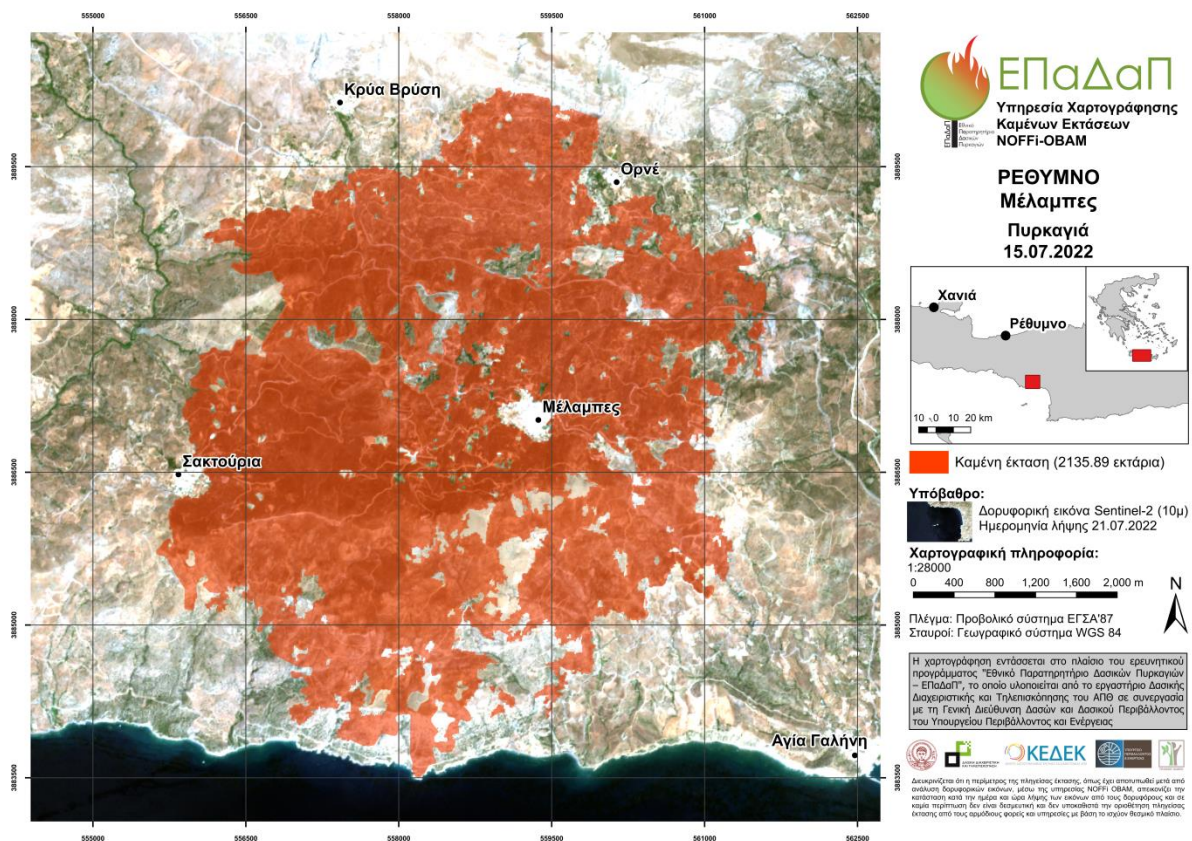


Εικόνα 1.1 Εικόνα από το σημείο της φωτιάς στις Μέλαμπες

Η πορεία που είχε η πυρκαγιά ήταν η ακόλουθη :

- Αρχικά, η ανάπτυξη της έγινε στο χωριό Ορνέ και εξαιτίας των δυνατών ανέμων που επικρατούσαν στην περιοχή κατευθύνθηκε κυρίως δυτικά, βόρεια αλλά και νότια του χωριού.
- Κατά συνέπεια τα επόμενα χωριά που βρισκόντουσαν στην κατεύθυνση αυτή και κλίθηκαν να αντιμετωπίσουν τις φλόγες ήταν τα χωριά της Κρύας Βρύσης και της Νέας Κρύας Βρύσης.
- Μετά οι άνεμοι που είχα νοτιοανατολική κατεύθυνση, είχε ως αποτέλεσμα, το πύρινο μέτωπο να πλήξει τις Μέλαμπες αλλά και να συνεχίσει νοτιότερα, με κατεύθυνση προς την περιοχή Άγιος Γεώργιος.
- Στην συνέχεια, η πυρκαγιά χάραξε μια νοτιοδυτική πορεία, πλησιάζοντας το χωριό Σακτούρια και οδηγούμενη προς τις παραθαλάσσιες περιοχές του Αγίου Γεωργίου και Αγίου Παύλου, με φόβο να εξαπλωθεί και στην τουριστική περιοχή της Αγίας Γαλήνης.

Παρά τις εκκενώσεις, πολλοί κάτοικοι αρνήθηκαν να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους, προσπαθώντας να προστατέψουν τις περιουσίες τους. Η πυροσβεστική υπηρεσία και οι κάτοικοι αντιμετώπισαν μεγάλες δυσκολίες λόγω των ισχυρών ανέμων, των δύσκολων καιρικών συνθηκών και των δυσπρόσιτων περιοχών αλλά η φωτιά τελικά τέθηκε υπό έλεγχο στις 29 Ιουλίου και ώρα 08:54, μετά από αρκετές ημέρες έντονης μάχης με τις φλόγες. Πιο συγκεκριμένα, στο σημείο έσπευσαν 186 άτομα του πυροσβεστικού σώματος, 44 άτομα του πεζοπόρου τμήματος, 10 άτομα του στρατού και μερικοί κάτοικοι των χωριών. Επίσης, στο πύρινο μέτωπο είχαν καταφτάσει 93 πυροσβεστικά οχήματα, 5 βυτιοφόρα και 6 ελικόπτερα για ρίψεις δια του αέρος. Η φωτιά κατέστρεψε μεγάλη έκταση βλάστησης, καλλιέργειες, και υποδομές στην περιοχή. Για την ακρίβεια, κάηκαν 3334 στρέμματα δασικής έκτασης, 5317 στρέμματα χορτολιβαδικής έκτασης και 11183 στρέμματα γεωργικών εκτάσεων. Οι κάτοικοι αντιμετώπισαν σοβαρές απώλειες στις περιουσίες και τις γεωργικές τους δραστηριότητες, κάτι που προκάλεσε ανησυχία για το μέλλον τους.



Εικόνα 1.2 Δορυφορική εικόνα της πυρκαγιάς στις Μέλαμπες

Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζεται εκτενώς η καμένη γη στις Μέλαμπες, κατηγοριοποιημένη σύμφωνα με το είδος της έκτασης. Αναλυτικότερα, ο κάθε κωδικός αντιπροσωπεύει μια συγκεκριμένη κατηγορία ή τύπο χρήσης γης. Εδώ είναι οι κατηγορίες που αναφέρονται στον πίνακα μαζί με τους αντίστοιχους κωδικούς και τις σημασίες τους:

1. **Τεχνητές επιφάνειες (CLC2018, Κωδικός: 1)**
Αυτός ο κωδικός αναφέρεται σε περιοχές που έχουν τροποποιηθεί από τον άνθρωπο, όπως πόλεις, βιομηχανικές ζώνες, δρόμοι κ.λπ.
2. **Γεωργικές περιοχές (CLC2018, Κωδικός: 2)**
Περιλαμβάνει καλλιεργήσιμες εκτάσεις, αγροτικές περιοχές, καλλιέργειες και καλλιεργούμενους χώρους.
3. **Δάσος πλατύφυλλων (CLC2018, Κωδικός: 311)**
Αναφέρεται σε περιοχές που καλύπτονται από δάση με κυρίαρχο είδος φυτών τα πλατύφυλλα, όπως τα δέντρα των μεσογειακών δασών.
4. **Δάσος κωνοφόρων (CLC2018, Κωδικός: 312)**
Καθορίζει τις περιοχές που καλύπτονται από δάση με κυρίαρχο είδος φυτών τα κωνοφόρα δέντρα (π.χ., πεύκα, έλατα).
5. **Μικτό δάσος (CLC2018, Κωδικός: 313)**
Περιλαμβάνει δάση που συνδυάζουν πλατύφυλλα και κωνοφόρα δέντρα.
6. **Φυσικοί βοσκότοποι (CLC2018, Κωδικός: 321)**
Αναφέρεται σε ανοιχτές περιοχές με φυσική βλάστηση που χρησιμοποιούνται κυρίως για βοσκή ζώων.
7. **Θάμνοι και χερσότοποι (CLC2018, Κωδικός: 322)**
Περιλαμβάνει περιοχές καλυμμένες κυρίως με θάμνους ή άλλες χαμηλής ανάπτυξης φυτά.
8. **Σκληροφυλλική βλάστηση (CLC2018, Κωδικός: 323)**
Περιλαμβάνει περιοχές με σκληρόφυλλους θάμνους και φυτά, όπως στην περιοχή της Μεσογείου.
9. **Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις (CLC2018, Κωδικός: 324)**
Αφορά περιοχές που αποτελούν μετάβαση μεταξύ δασών και θαμνώδεις περιοχές.
10. **Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση (CLC2018, Κωδικός: 33)**
Αφορά περιοχές με περιορισμένη βλάστηση, όπως πεδία ή περιοχές με ασπαλάθια και ξηρά φυτά.
11. **Υγρότοποι (CLC2018, Κωδικός: 4)**
Αναφέρεται σε περιοχές με υδάτινο στοιχείο, όπως βάλτοι, λίμνες, ποτάμια και άλλα υδροβιότοποι.
12. **Υδάτινες επιφάνειες (CLC2018, Κωδικός: 5)**
Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει τα υδάτινα σώματα, όπως θάλασσες, λίμνες, ποτάμια, κ.λπ.

Πίνακας 1.1 Στατιστικά Καμένης Έκτασης ανά Κατηγορία Χρήσης Γης στην Πυρκαγιά στις Μέλαμπες. Οι κατηγορίες χρήσης γης και οι αντίστοιχοι κωδικοί που αναφέρονται στον πίνακα βασίζονται στο σύστημα Corine Land Cover 2018 (CLC2018), το οποίο παρέχει ταξινόμηση για τις επιφάνειες γης στην Ευρώπη (European Environment Agency, 2018)

Χαρακτηριστικό

Καμένη Έκταση

Ποσοστό (%)

	(στρέμματα)	
Συνολική καμένη έκταση	21.342,9	100.0%
Τεχνητές επιφάνειες (CLC2018, Κωδικός: 1)	86,3	0.4%
Γεωργικές περιοχές (CLC2018, Κωδικός: 2)	12.150,0	56.9%
Δάσος πλατύφυλλων (CLC2018, Κωδικός: 311)	0,0	0%
Δάσος κωνοφόρων (CLC2018, Κωδικός: 312)	0,0	0%
Μικτό δάσος (CLC2018, Κωδικός: 313)	0,0	0%
Φυσικοί βοσκότοποι (CLC2018, Κωδικός: 321)	5.411,0	25.4%
Θάμνοι και χερσότοποι (CLC2018, Κωδικός: 322)	0,0	0%
Σκληροφυλλική βλάστηση (CLC2018, Κωδικός: 323)	3.374,3	15.8%
Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις (CLC2018, Κωδικός: 324)	0,0	0%
Ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση (CLC2018, Κωδικός: 33)	321,2	1.5%
Υγρότοποι (CLC2018, Κωδικός: 4)	0,0	0%
Υδάτινες επιφάνειες (CLC2018, Κωδικός: 5)	0,0	0%

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Εισαγωγή στο FlamMap και τις Λειτουργίες του

Σε αυτήν λοιπόν την εργασία το βασικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε, με σκοπό την προσομοίωση των πυρκαγιών, είναι το FlamMap όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή. Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιείται ευρέως για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των πυρκαγιών και την αξιολόγηση του κινδύνου πυρκαγιών σε διάφορα τοπία. Ένα από τα κυριότερα χαρακτηριστικά του είναι ότι χρησιμοποιεί δεδομένα τοπογραφίας, βλάστησης και μετεωρολογικών συνθηκών για να προβλέψει πώς θα εξαπλωθεί μια φωτιά και πώς θα συμπεριφερθεί με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια στο συμβάν που προσομοιώνει. Αρχικά, το FlamMap είναι μια εφαρμογή που εκτελείται μονό σε περιβάλλον λειτουργικού συστήματος Windows 64-bit και περιλαμβάνει τις εξής επιλογές:

- FARSITE (Finney 1998, 2004) και FlamMap BASIC (Finney 2006)
- Minimum Travel Time (MTT, Finney 2002, 2006)
- Treatment Optimization Model (Finney 2001, 2006, 2007)
- Conditional Burn Probability (Finney 2005, 2006).

Επίσης, ενσωματώνει τα εξής μοντέλα συμπεριφοράς πυρκαγιάς:

- Το μοντέλο εξάπλωσης επιφανειακής φωτιάς του Rothermel (1972)
- Το μοντέλο έναρξης φωτιάς στην κόμη των δέντρων του Van Wagner (1977)
- Το μοντέλο εξάπλωσης φωτιάς στην κόμη των δέντρων του Rothermel (1991)
- Το μοντέλο δημιουργίας σποραδικών φωτιών του Albini (1979)
- Τη μέθοδο υπολογισμού φωτιάς στην κόμη των δέντρων του Finney (1998) ή του Scott και Reinhardt (2001)
- Το μοντέλο υγρασίας νεκρών καυσίμων του Nelson (2000), που επιτρέπει την προσαρμογή των νεκρών καυσίμων σε κάθε κελί με βάση την κλίση, τη σκίαση, το υψόμετρο, την έκθεση και τον καιρό.

Για την λειτουργία και την δημιουργία ενός αρχείου (.LCP), η εφαρμογή απαιτεί οκτώ τύπους γεωχωρικών δεδομένων. Τα τρία πρώτα από τα οχτώ τοπογραφικά δεδομένα που χρειάζονται είναι το υψόμετρο, η κλίση και ο προσανατολισμός.

2.1.1 Υψόμετρο (Elevation)

Το υψόμετρο (Elevation) είναι το ύψος του εδάφους μιας περιοχής πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Είναι σημαντική η γνώση του συγκεκριμένου δεδομένου αφού επηρεάζει τη θερμοκρασία, την υγρασία και την πυκνότητα της ατμόσφαιρας, που με τη σειρά τους επηρεάζουν τη συμπεριφορά της φωτιάς. Ακόμη, από το υψόμετρο επηρεάζεται η ταχύτητα και η κατεύθυνση της εξάπλωσης της φωτιάς.

2.1.2 Κλίση (Slope)

Η κλίση (Slope), αναφέρεται στην γωνία της επιφάνειας του εδάφους. Μία απότομη κλίση μπορεί να οδηγήσει στην ταχύτερη μεταφορά μιας πυρκαγιάς λόγω της αυξημένης μεταφοράς θερμότητας προς τα πάνω, ενώ μία ήπια κλίση μπορεί να την επιβραδύνει.

2.1.3 Προσανατολισμός (Aspect)

Ο προσανατολισμός (Aspect) έχει να κάνει με την διεύθυνση προς την οποία κοιτάζει η πλαγιά ενός λόφου ή βουνού. Αυτό χρήζει μεγάλης σημασίας διότι επηρεάζει την έκθεση

στην ηλιακή ακτινοβολία και, κατά συνέπεια, την θερμοκρασία και την υγρασία της επιφάνειας του εδάφους. Για παράδειγμα, πλαγιές που κοιτάζουν νότια στις βόρειο ημισφαίριο είναι πιο θερμές και ξηρές, γεγονός που τις καθιστά πιο επιρρεπείς σε πυρκαγιές σε σύγκριση με πλαγιές που κοιτάζουν βόρεια.

2.1.4 Μοντέλα Καυσίμου Συμπεριφοράς Πυρκαγιάς (Fire Behavior Fuel Models)

Ένα άλλο δεδομένο που απαιτεί το FlamMap είναι τα μοντέλα καυσίμου συμπεριφοράς πυρκαγιάς (Fire Behavior Fuel Models), όπου περιγράφουν τους τύπους καυσίμων (π.χ., χορτολιβαδική βλάστηση, θάμνοι, δάση) και τις ιδιότητές τους, όπως η υγρασία, η πυκνότητα και η ανάφλεξη. Αυτά τα δεδομένα είναι επιτακτικά για την εκτίμηση της πιθανότητας εξάπλωσης της φωτιάς, της έντασης της πυρκαγιάς και της συμπεριφοράς της φωτιάς σε διαφορετικές συνθήκες.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα μοντέλα καυσίμου για την περιοχή της Ευρώπης, που χρησιμοποιήθηκαν:

- G1 - Χόρτο (Κοντό, Ξηρό): Αυτό το μοντέλο καυσίμου μπορεί να βρεθεί σε διάφορα μέρη της Ευρώπης, ιδιαίτερα σε περιοχές με μεσογειακό κλίμα.
- G2 - Χόρτο (Μείγμα Δέντρων και Χόρτων): Ζώνες μετάβασης μεταξύ λιβαδιών και δασών όπου τα χόρτα αναμειγνύονται με αραιά δέντρα ή θάμνους μπορεί να υπάρχουν στην Ευρώπη, ιδιαίτερα σε περιοχές με ποικιλόμορφα τοπία.
- S1 - Θάμνος: Αυτό το μοντέλο καυσίμου είναι λιγότερο κοινό στην Ευρώπη σε σύγκριση με περιοχές με ξηρά και ημίξηρα κλίματα, αλλά παρόμοιες θαμνώδεις εκτάσεις μπορούν να βρεθούν στη Νότια Ευρώπη, όπως μέρη της Ισπανίας, της Ιταλίας και της Ελλάδας.
- S2 - Θάμνος (Παραθαλάσσιος, Μικτός και Δρυς): Παραθαλάσσιοι τόποι με θάμνους και μικτά θαμνώδη περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων περιοχών με δρυς, μπορούν να βρεθούν σε διάφορες παραθαλάσσιες περιοχές της Ευρώπης.
- T1 - Δάσος (Ελαφρύ): Δασικές περιοχές με μέτρια πυκνότητα δέντρων και σχετικά ελαφριά επιφανειακά καύσιμα μπορούν να βρεθούν σε διάφορες δασικές περιοχές της Ευρώπης.
- T2 - Δάσος (Μέτριο): Παρόμοιο με το T1 αλλά με υψηλότερη πυκνότητα δέντρων και βαρύτερα επιφανειακά καύσιμα, αυτό το μοντέλο μπορεί επίσης να βρεθεί στα ευρωπαϊκά δάση.
- M1 - Μικτό (Χαμηλό Φορτίο): Αυτό το μοντέλο καυσίμου αντιπροσωπεύει περιοχές με χαμηλό φορτίο μικτής βλάστησης, οι οποίες μπορούν να εμφανιστούν σε διάφορα μέρη της Ευρώπης ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες.
- M2 - Μικτό (Μέτριο Φορτίο): Παρόμοιο με το M1 αλλά με μέτριο φορτίο μικτής βλάστησης, αυτό το μοντέλο μπορεί επίσης να υπάρχει στην Ευρώπη, ιδιαίτερα σε περιοχές με ποικιλόμορφα τοπία.

- Ο1 - Λιβάδια Οπωρώνων: Αυτό το μοντέλο καυσίμου μπορεί να είναι λιγότερο κοινό σε φυσικά τοπία στην Ευρώπη, αλλά μπορεί να βρεθεί σε γεωργικές περιοχές με οπωρώνες βλάστηση και λιβάδια.
- Ο2 – Υπολείμματα Καλλιεργειών: Ομοίως, αυτό το μοντέλο καυσίμου μπορεί να βρεθεί σε γεωργικές περιοχές με οπωρώνες, όπου συσσωρευμένα υπολείμματα από τα δέντρα των οπωρώνων μπορούν να συμβάλλουν στα χαρακτηριστικά των καυσίμων.

2.1.5 Κάλυψη Κόμης Δασών (Forest Canopy Cover)

Το πέμπτο δεδομένο είναι η κάλυψη κόμης δασών (Forest Canopy Cover), που αναφέρεται στο ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από τις κόμης των δέντρων όταν κοιτάμε από πάνω. Η κάλυψη κόμης επηρεάζει την εξάπλωση της φωτιάς στο έδαφος και τη μετάδοση της φωτιάς στα δέντρα, αφού μία πυκνή κάλυψη κόμης μπορεί να περιορίσει την έκθεση του εδάφους στον ήλιο και να διατηρήσει υψηλότερη υγρασία, μειώνοντας έτσι την πιθανότητα ανάφλεξης των καυσίμων στο έδαφος.

2.1.6 Ύψος Κόμης Δασών (Forest Canopy Height)

Το ύψος κόμης δασών (Forest Canopy Height) είναι ένα εξίσου σημαντικό δεδομένο για την εφαρμογή αφού έχει να κάνει με το μέσο ύψος των δέντρων σε μια περιοχή. Αυτή η πληροφορία βοηθά στην εκτίμηση της δυναμικής της πυρκαγιάς στα ανώτερα στρώματα του δάσους και της πιθανότητας μετάδοσης της φωτιάς από το έδαφος στις κόμης των δέντρων. Οι ψηλές κόμης μπορεί να καθυστερήσουν την εξάπλωση της φωτιάς στην κόμη, αλλά όταν η φωτιά φτάσει στην κόμη, η ταχεία εξάπλωση είναι γεγονός.

2.1.7 Ύψος Βάσης Κόμης Δασών (Forest Canopy Base Height)

Σχετικά με το ύψος βάσης κόμης δασών (Forest Canopy Base Height), όπου ονομάζεται η απόσταση από το έδαφος μέχρι το χαμηλότερο σημείο της κόμης των δέντρων και αυτό που κάνει είναι να επηρεάζει την πιθανότητα ανάφλεξης της κόμης από την επιφανειακή φωτιά. Όπως είναι λογικό τα μικρότερα ύψη βάσης κόμης αυξάνουν την πιθανότητα μετάδοσης της φωτιάς από το έδαφος στις κόμης, ειδικά αν υπάρχουν ξηρά υλικά που μπορούν να καούν εύκολα.

2.1.8 Πυκνότητα Μάζας Κόμης Δασών (Forest Canopy Bulk Density)

Τέλος, η πυκνότητα μάζας κόμης δασών (Forest Canopy Bulk Density) σχετίζεται με την μάζα της βιομάζας της κόμης ανά μονάδα όγκου αέρα. Κατά συνέπεια, υψηλότερη πυκνότητα μάζας σημαίνει μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου διαθέσιμη για καύση, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε πιο έντονα και δυσμενέστερα περιστατικά φωτιάς.

Επομένως, με τα παραπάνω δεδομένα που αναφέρθηκαν το λογισμικό παράγει μια ποικιλία διανυσματικών και ράστερ χαρτών με χαρακτηριστικά πιθανής συμπεριφοράς πυρκαγιάς, όπως ρυθμό εξάπλωσης, μήκος φλόγας, δραστηριότητα πυρκαγιάς κορώνας, και περιβαλλοντικές συνθήκες όπως υγρασία νεκρών καυσίμων, ταχύτητες ανέμου μέσης φλόγας και ηλιακή ακτινοβολία. Αυτοί οι χάρτες μπορούν να προβληθούν στο FlamMap ή να εξαχθούν για χρήση σε μορφή GIS ή εικόνας. Επίσης, το FlamMap δημιουργεί διάφορες διανυσματικές εξόδους για κάθε σύστημα μοντελοποίησης εντός της εφαρμογής και επιπλέον έχει ενσωματώσει το WindNinja, επιτρέποντας τη χρήση πληροφοριών για τον άνεμο που παράγονται στο πρόγραμμα για οποιαδήποτε προσομοίωση.

2.2 Δημιουργία Landscape File στο ArcGIS

Κατά συνέπεια, σύμφωνα με την παραπάνω εισαγωγή που έγινε σχετικά με το FlamMap, το πρώτο πράγμα που χρειάζεται για να τρέξει είναι ένα αρχείο τοπίου (landscape file).

Για τις Ηπειρωτικές Ηνωμένες Πολιτείες, την Αλάσκα και τη Χαβάη υπάρχουν έτοιμα αρχεία από το πρόγραμμα LANDFIRE αλλά σε αυτή την περίπτωση έπρεπε να συλλεχθούν τα απαιτούμενα γεωχωρικά δεδομένα τοπίου και να κατασκευαστεί το αναγκαίο αρχείο (.LCP).

Η διαδικασία λοιπόν αυτή αποτελούταν από δυο σκέλη, την συλλογή των δεδομένων και το πρόγραμμα το οποίο θα πραγματοποιούσε την ένωση και μετατροπή των δεδομένων αυτών σε ένα αρχείο landscape. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την δουλειά αυτή είναι το ArcGIS. Το ArcGIS είναι μία πλατφόρμα γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων (GIS), που αναπτύχθηκε από την εταιρεία Esri και χρησιμοποιείται ευρέως για τη δημιουργία, διαχείριση, ανάλυση και απεικόνιση γεωγραφικών δεδομένων. Με το ArcGIS, οι χρήστες μπορούν να δημιουργούν χάρτες, να πραγματοποιούν χωρικές αναλύσεις, να διαχειρίζονται γεωχωρικές πληροφορίες και να μοιράζονται τα αποτελέσματα με άλλους μέσω διαδικτυακών εφαρμογών και υπηρεσιών. Επίσης, το σύστημα παρέχει την δυνατότητα πρόσβασης σε χάρτες και γεωγραφικές πληροφορίες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχει γίνει ανάρπαστο από επαγγελματίες σε διάφορους τομείς όπως η πολεοδομία, η περιβαλλοντική διαχείριση, η γεωλογία και η χαρτογραφία (Esri, n.d.).

Τα βήματα που ακλούθησαν ήταν τα εξής :

Αρχικά, όπως προαναφέρθηκε, το ενδιαφέρον στράφηκε στην δημιουργία ενός αρχείου (file) όπου θα συμπεριλαμβάνει, μετά από επεξεργασία, τα 8 απαραίτητα αρχεία (layers). Το πρώτο layer (αρχείο tiff) που συμπληρώθηκε στο ArcMap ήταν το υψόμετρο (elevation) όπου οι πληροφορίες αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα της eurostat. Το επόμενο layer που προστέθηκε ήταν αυτό του προσανατολισμού (Aspect) και μετέπειτα της κλίσης (slope) που και αυτά αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα της eurostat. Το τέταρτο layer που εισήχθη στα layers, ήταν τα μοντέλα καυσίμου συμπεριφοράς πυρκαγιάς (Fire Behavior Fuel Models) και αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα cornicus, μία ιστοσελίδα πολύ χρήσιμη όσον αφορά τις πυρκαγιές και γενικά πληροφορίες για το φυσικό περιβάλλον. Το επόμενο στην σειρά ήταν η κάλυψη κόμης δασών (Forest Canopy Cover) που οι πληροφορίες για το συγκεκριμένο αντλήθηκαν πάλι από την ιστοσελίδα cornicus, όπως και για το ύψος βάσης κόμης δασών (Forest Canopy Base Height). Τέλος, για το ύψος κόμης δασών (Forest Canopy Height) βρέθηκαν πληροφορίες στην ιστοσελίδα ORNL DAAC και το αρχείο σχετικά με το ύψος βάσης κόμης δασών (Forest Canopy Base Height) δημιουργήθηκε, μετά από αναζήτηση στο διαδίκτυο, διότι δεν βρέθηκε έτοιμο αρχείο GeoTIFF όπως τα υπόλοιπα.

Συνοψίζοντας, τα παραπάνω γεωχωρικά χαρακτηριστικά που χρειάζονται για την δημιουργία του landscape αρχείου εισήχθησαν ως αρχεία GeoTIFF στο table of contents στο ArcMap. Στην κατάσταση όμως που βρίσκονταν δεν μπορούσαν να δημιουργήσουν επιτυχώς το αρχείο που προαναφέρθηκε με αποτέλεσμα να έρθει η ώρα για την επεξεργασία τους.

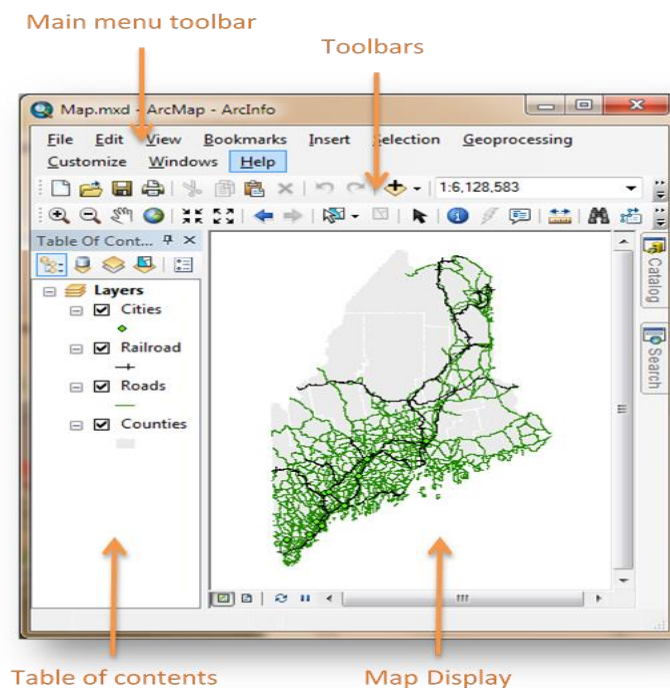
Αρχικά, τα αρχεία αυτά μπορεί να έχουν καλύψει πολύ μεγάλη έκταση, πράγμα που μας είναι αχρείαστο και χρονοβόρο διότι τα χαρακτηριστικά αυτά χρειάζονται μονό για την συγκεκριμένη έκταση όπου διεξήχθη η φωτιά. Άρα αυτό που έγινε ήταν να δημιουργηθεί ένα polygon shapfile στο catalog του ArcMap και έπειτα με την λειτουργία του editor από τα toolbars, σχεδιάστηκε η περιοχή της πυρκαγιάς.

Έπειτα ακολούθησε μια επαλήθευση σε όλα τα layers ώστε να διαπιστωθεί ότι έχουν όλα το ίδιο προβολικό σύστημα για να αποφευχθούν τυχόν προβλήματα και ανωμαλίες. Αυτό έγινε πατώντας αριστερό κλικ σε κάθε layer και μετά πηγαίνοντας στα properties, μετά στο source και στο Spatial Reference αναγράφεται το προβολικό σύστημα.

Επομένως, το επόμενο βήμα ήταν όλα τα layers να είναι σε θέση να μικρύνουν και να πάρουν το σχήμα του shapfile που μας ενδιαφέρει, πράγμα που πραγματοποιήθηκε. Αυτό έγινε πηγαίνοντας από το ArcToolbox window -> Spatial analyst-> Extract -> Extract by mask. Έτσι όλα τα layers πήραν το σχήμα και την έκταση του shapfile που δόθηκε ή αλλιώς της περιοχής ενδιαφέροντος που ορίστηκε.

Το επόμενο βήμα που ακολούθησε ήταν να γίνει έλεγχος για το αν όλα τα layers έχουν το ίδιο cell size. Αυτό έγινε, πηγαίνοντας πάλι στα properties και μετέπειτα στο source και εκεί είχε την δυνατότητα γνώσης του μεγέθους του κελιού, σε κάθε layer, στον άξονα x και στο άξονα y.

Αφού αποδείχθηκε ότι δεν είχαν όλα το ίδιο cell size, έπρεπε να αποκτήσουν όλα τα layers το ίδιο cell size με την λειτουργία resemble, που βρίσκεται και αυτή στο ArcToolbox window -> Raster -> Raster Processing.



Εικόνα 2.1 Επισκόπηση των Βασικών Τμημάτων του ArcMap

Σχετικά με το ύψος βάσης κόμης δασών (Forest Canopy Base Height), το αρχείο που δημιουργήθηκε από εμένα, όπως προαναφέρθηκε, ήταν μια σχετικά εύκολη διεργασία, που ασκήθηκαν οι ακόλουθες ενέργειες:

Πρώτα, αυτό που πραγματοποιήθηκε ήταν η χρήση του Raster Calculator που έγινε με την αναζήτηση του στο search, δεξιά του ArcMap, ώστε να κατασκευαστεί ένα layer με μηδενικά κελιά-pixel.

Μετά, έχοντας ένα μηδενικό αρχείο, ακολούθησε η συμπλήρωση των κατάλληλων περιοχών-κελιών με τις κατάλληλες τιμές σύμφωνα με τις πληροφορίες που υπήρχαν. Οι πληροφορίες αυτές προέκυψαν ύστερα από αναζήτηση των ειδών της χλωρίδας που υπήρχαν το έτος αυτό στην περιοχή μελέτης σε συνδυασμό με την επαλήθευση τους από

το Google Earth. Ενδεικτικά, η φυτοκάληψη της περιοχής αποτελούσαν την τρέχουσα χρονική περίοδο από ελαιόδεντρα, αραιή βλάστηση, σκληρόφυλλη βλάστηση, λιβάδια, περιοχές με κτήρια και λίγες καλλιέργειες, βοσκοτόπια και αμπέλια.

Μετά αυτό που υλοποιήθηκε ήταν η αναζήτηση του ύψους βάσης κόμης στα είδη φυτοκάληψης που υπήρχαν στην περιοχή αυτή με σκοπό η καλύτερη δυνατή συμπλήρωση των στοιχείων αυτών. Σε αυτήν την ενέργεια, το εργαλείο που βοήθησε ήταν το raster to point, που βρίσκεται στο ArcToolbox και πιο συγκεκριμένα στο conversion tools. Ουσιαστικά το συγκεκριμένο εργαλείο χώριζε το raster αρχείο σε κομματάκια-κελιά, ώστε να μπορείς να επεξεργαστείς μέσω του editor κάθε τιμή του κελιού. Κατά συνέπεια, αυτό που εφαρμόστηκε ήταν η σχεδίαση κομμάτι - κομμάτι του κάθε είδους χλωρίδας που βρέθηκε και μετά σε κάθε κελί συμπληρώθηκε η κατάλληλη τιμή ύψους βάσης μέσω του editor και αποθηκεύτηκε.

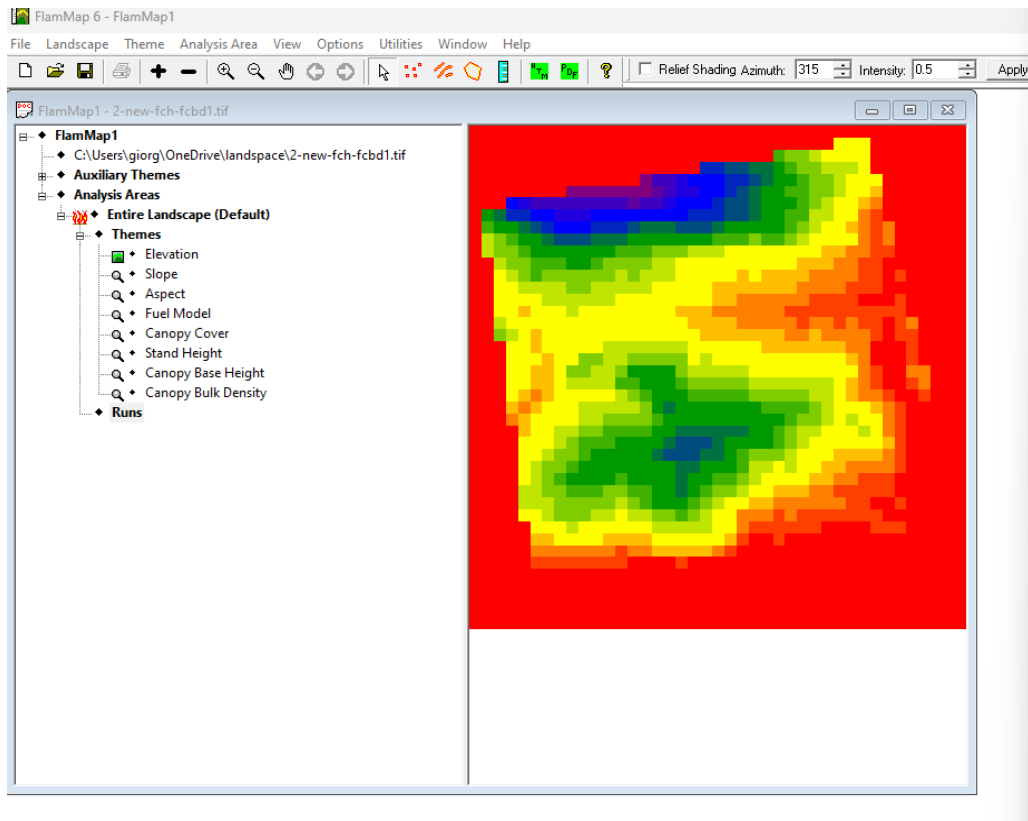
Τέλος, το αρχείο αυτό, μετά την όλη αυτή επεξεργασία, έπρεπε να επανέλθει στην προηγούμενη μορφή, την μορφή raster με την χρήση του ArcToolbox πάλι και πιο συγκεκριμένα την ρύθμιση conversion tools.

Επίσης, την συγκεκριμένη διαδικασία μετατροπής του raster αρχείου σε κελιά, χρησιμοποιήθηκε ξανά σε κάποιες περιπτώσεις όπου μερικά raster αρχεία-layers είχαν κελιά με ανύπαρκτες τιμές, όπου αφού έγινε περαιτέρω αναζήτηση διορθώθηκαν σωστά για καλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων. Αναλυτικότερα, το αρχείο το οποίο είχε πολλές κενές τιμές και έπρεπε να διορθωθεί ήταν αυτό με τα μοντέλα καυσίμου συμπεριφοράς πυρκαγιάς, με αποτέλεσμα να γίνει μια επίσκεψη στην εφαρμογή Google Earth και να αναζητηθούν οι κενές περιοχές σπιθαμή προς σπιθαμή, να ανακαλυφθεί το είδος της φυτοκάληψης που υπάρχει και με βάση τα μοντέλα καυσίμου για την περιοχή της Ευρώπης που χρησιμοποιήθηκαν, να κατηγοριοποιηθούν σωστά.

Αφού έγιναν επιτυχώς όλες οι παραπάνω διαδικασίες που αναφέρθηκαν, έφτασε η στιγμή για την δημιουργία του αναγκαίου landscape file σε μορφή αρχείου Tiff. Επομένως, όλα layers ή αλλιώς bands πρέπει με κάποια εντολή να ενωθούν και να δημιουργήσουν ένα multiple bands αρχείο. Αυτό που ακολούθησε ήταν η χρήση του ArcToolbox για ακόμα μια φορά και πιο συγκεκριμένα, από το Data Management Tools, στην κατηγορία Raster και μετά την Raster Processing, επιλέχθηκε η εντολή composite bands και έφερε εις πέρας την εντοποίηση των bands. Το αρχείο όμως που δημιουργήθηκε, έπρεπε να αποθηκευτεί μόνο του με αποτέλεσμα να ακολουθήσει η εξαγωγή του. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν τα εξής: έγινε δεξί κλικ στο αρχείο, επιλέχθηκε η εντολή Export και στη συνέχεια Export Data. Αφού επιβεβαιώθηκε ότι το αρχείο είχε το σωστό μέγεθος κελιού (cell size), αποθηκεύτηκε ως raster dataset σε μορφή TIFF.

2.3 Πλήρης Διαμόρφωση και Υλοποίηση Προσομοίωσης Πυρκαγιάς στο FlamMap

Σε αυτό το στάδιο όπου ολοκληρώθηκαν οι εργασίες με το πρόγραμμα ArcMap, σειρά είχε το βασικό πρόγραμμα σχετικά με την μοντελοποίηση των πυρκαγιών, το FlamMap. Στο FlamMap, αφού ανοίχθηκε ένα νέο αρχείο φορτώθηκε πάνω σε αυτό το landscape που δημιουργήθηκε νωρίτερα. Έτσι, όταν φορτωθεί το αρχείο τοπίου υπάρχει η δυνατότητα να δεις τα 8 χαρακτηριστικά του αρχείου τοπίου (elevation, slope ,aspect, fuel model, canopy cover, stand height, canopy base height και canopy base density) και πατώντας πάνω στην εικόνα έχεις την δυνατότητα να δεις τις τιμές και για τα 8 χαρακτηριστικά στο σημείο που πατήσεις πάντα.



Εικόνα 2.2 Περιβάλλον Εργασίας FlamMap

Η εκτέλεση του προγράμματος πραγματοποιήθηκε μέσω της επιλογής Runs, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.5, όπου περιλαμβάνονται όλες οι απαιτούμενες ρυθμίσεις για τη μοντελοποίηση της φωτιάς. Αρχικά, υπάρχουν τρεις επιλογές ώστε να τρέξει η μοντελοποίηση της πυρκαγιάς και είναι οι εξής:

- New FlamMap / MTT/ TOM Run
- New FARSITE Run
- New SpatialFOFEM Run

Στην συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε η πρώτη επιλογή διότι εστιάζει στη συμπεριφορά της φωτιάς, ενώ το FARSITE στην εξάπλωση της φωτιάς με την πάροδο του χρόνου, και το SpatialFOFEM στις οικολογικές επιπτώσεις της φωτιάς. Διαλέγοντας την πρώτη επιλογή εμφανίζονται πολλές ρυθμίσεις με διάφορες κατηγορίες όπως τα inputs, fire behavior options, minimum travel time και treatment optimization model.

2.3.1 Inputs

Αναλυτικότερα, τα “inputs” ή αλλιώς δεδομένα εισόδου είναι διάφορα βασικά και αναγκαία δεδομένα που χρειάζεται το λογισμικό για να τρέξει μια προσομοίωση στο FlamMap. Η καρτέλα των “inputs” αποτελείται από τις παρακάτω ρυθμίσεις:

Η ονομασία της προσομοίωσης (Run Name), που όπως είναι φανερό σε αυτό το σημείο δίνεται όνομα στην προσομοίωση μιας και θα χρειαστεί να τρέξει πολλές φορές η προσομοίωση και η ονομασία θα βοηθήσει στον διαχωρισμό τους.

Το “Fuel Moisture File” που είναι ένα αρχείο που περιέχει πληροφορίες σχετικά με την περιεκτικότητα σε υγρασία των καυσίμων υλικών στην περιοχή ενδιαφέροντος, καθώς καθορίζει την ευφλεκτότητα και την ένταση της φωτιάς. Ακόμη, η υγρασία των καυσίμων

συνήθως κατηγοριοποιείται σε διάφορες τάξεις, ανάλογα με τον τύπο και το μέγεθος των καυσίμων. Αυτές είναι οι :

- 1-hour fuels, που είναι καύσιμα με διάμετρο μικρότερη από 0,25 ίντσες (6,4 mm), όπως φύλλα, ξηρά χόρτα και μικρά κλαδιά.
- 10-hour fuels που είναι τα καύσιμα με διάμετρο από 0,25 έως 1 ίντσα (6,4 - 25,4 mm), όπως μικρά κλαδιά και ξηροί κορμοί.
- 100-hour fuels που είναι τα καύσιμα με διάμετρο από 1 έως 3 ίντσες (25,4 - 76,2 mm), όπως μεγαλύτερα κλαδιά και κορμοί και τέλος τα 1000-hour fuels που είναι τα καύσιμα με διάμετρο μεγαλύτερη από 3 ίντσες (76,2 mm), όπως μεγάλοι κορμοί και ξηρά δέντρα .

Οι δύο πρώτες ρυθμίσεις Run Name και Fuel Moisture File σαφώς και συμπληρώθηκαν για την συγκεκριμένη εργασία μιας και είναι από τις αναγκαίες. Πιο αναλυτικά, το όνομα της προσομοίωσης που δόθηκε ήταν 'New Run' και το Fuel Moisture File παρουσιάζεται παρακάτω:

Πίνακας 2.1 Πίνακας Fuel Moisture File

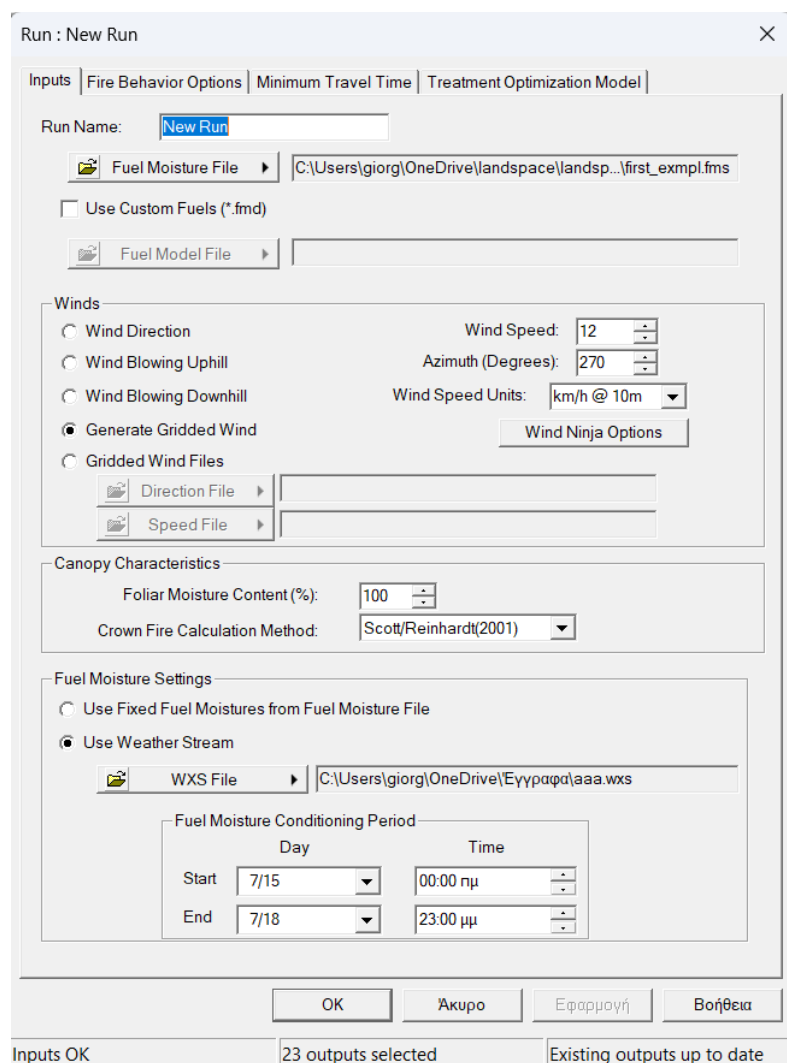
0	6	7	8	30	60
1	6	7	8	30	60
2	6	7	8	30	60
4	6	7	8	30	60
256	6	7	8	30	60

Μία άλλη επιλογή στις ρυθμίσεις είναι τα "custom fuel models" που είναι ένα αρχείο προαιρετικό για την περίπτωση που χρειαστεί ορισμός προσαρμοσμένων μοντέλων καύσιμης ύλης. Αυτή η επιλογή δεν χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εργασία, καθώς δεν χρειάστηκε.

Μία αρκετά σημαντική ρύθμιση είναι αυτή του ανέμου αφού η ταχύτητα και η κατεύθυνση του είναι καίρια στην εξέλιξη της συμπεριφοράς της φωτιάς. Το λογισμικό προσαρμόζει αυτόματα τους ανέμους στη μέση ταχύτητα της φωτιάς, χρησιμοποιώντας τα μεμονωμένα χαρακτηριστικά του θόλου της κυψέλης. Υπάρχουν λοιπόν, πέντε επιλογές για την εισαγωγή ταχύτητας του ανέμου ώστε να επιλεγθεί η κατάλληλη σύμφωνα με τις συνθήκες της πυρκαγιάς.

- Πρώτη επιλογή είναι αυτή της Μονής Κατεύθυνσης Ανέμου (Single Wind Direction), όπου χρησιμοποιείται η ίδια κατεύθυνση ανέμου για κάθε κελί στην περιοχή ανάλυσης.
- Η επόμενη είναι οι Άνεμοι σε Ανηφόρες και Κατηφόρες (Uphill and Downhill Winds), όπου στην συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται χρήση της κατεύθυνσης της πλαγιάς (ανηφόρα ή κατηφόρα) για κάθε κελί πλέγματος, όπως καθορίζεται από το τοπογραφικό αρχείο του τοπίου (.LCP). Ωστόσο, δεν είναι κατάλληλη για πολύπλοκους ανέμους σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο, όπως στενά φαράγγια, όπου απαιτούνται πιο εξελιγμένα μοντέλα ανέμου, αλλά είναι κατάλληλη για απλούς ημερήσιους ανέμους.
- Μια άλλη επιλογή είναι η Δημιουργία Πλέγματος Ανέμου (Gridded Wind), που σε αυτήν επιτρέπεται η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς της φωτιάς λαμβάνοντας υπόψη σύνθετες αλληλεπιδράσεις ανέμου και εδάφους. Αυτό που κάνει είναι να χρησιμοποιεί το εργαλείο WindNinja, το οποίο μπορεί να δημιουργήσει πλέγματα ανέμου που αναπαριστούν λεπτομερώς τις αλληλεπιδράσεις του ανέμου με το τοπίο. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιοχές με περίπλοκο ανάγλυφο.

- Η τελευταία επιλογή είναι τα Αρχεία Πλέγματος Ανέμου (Gridded Wind Files) που σχετίζεται με την χρήση πλεγμάτων ανέμου που έχουν δημιουργηθεί εκτός του FlamMap, συνήθως μέσω εξειδικευμένων λογισμικών μοντελοποίησης καιρού ή υπολογιστικής ρευστοδυναμικής. Αυτά τα πλέγματα ανέμου περιλαμβάνουν δύο βασικά δεδομένα: την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου σε κάθε σημείο του πλέγματος, με αποτέλεσμα για να χρησιμοποιήσει κάποιος αυτή την επιλογή, πρέπει να φορτώσει τα κατάλληλα αρχεία πλέγματος ανέμου στο FlamMap. Αυτή η επιλογή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για πολύπλοκα τοπία όπου οι άνεμοι επηρεάζονται από το ανάγλυφο και απαιτείται υψηλή ακρίβεια στη μοντελοποίηση των επιπτώσεών τους στη συμπεριφορά της φωτιάς, αφού χρησιμοποιώντας εξωτερικά πλέγματα ανέμου, μπορείς να αναπαραστήσεις λεπτομερώς τις συνθήκες του ανέμου και τις αλληλεπιδράσεις τους με το τοπίο, κάτι που είναι κρίσιμο για την ακριβή πρόβλεψη της εξάπλωσης της φωτιάς σε σύνθετα περιβάλλοντα.



Εικόνα 2.3 Απεικόνιση της Καρτέλας Inputs στο FlamMap

Επίσης, ο χρήστης καθορίζει την κατεύθυνση του ανέμου μέσω του πλαισίου Αζιμούθιο (σε μοίρες), και εισάγει την ταχύτητα του ανέμου, επιλέγοντας παράλληλα τις μονάδες μέτρησης της ταχύτητας. Στην εργασία αυτή, για την εισαγωγή της ταχύτητας ανέμου στο

FlamMap, έγινε χρήση της μεθόδου Gridded Wind (Δημιουργία Πλέγματος Ανέμου), καθώς παρέχει μια λεπτομερή και ακριβή αναπαράσταση των αλληλεπιδράσεων του ανέμου με τη χρήση του WindNinja. Επιπλέον, συμπληρώθηκε η τιμή της ταχύτητας του ανέμου ίση με 12, η μονάδα μέτρησης επιλέχθηκε ως km/h και ο τιμή του Αζιμούθιου πήρε την τιμή 270. Τέλος, οι ρυθμίσεις του WindNinja δεν δέχθηκαν κάποια αλλαγή και έμειναν όπως έχει.

Μια άλλη επιλογή που χρειάζεται να ρυθμιστεί στην κατηγορία των “inputs” είναι τα χαρακτηριστικά θόλου (Canopy Characteristics). Η εντολή αυτή αποτελείται από το περιεχόμενο υγρασίας φυλλώματος (Foliar Moisture Content) και τον υπολογισμό της φωτιάς στις κορυφές (crown fire calculation method). Η πρώτη παράμετρος έχει να κάνει με την απαίτηση των καυσίμων κορυφής των κωνοφόρων δέντρων και η τιμή της υγρασίας του φυλλώματος συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 80% και 130%, με το 120% να θεωρείται κατάλληλο για μέσες συνθήκες κατά το καλοκαίρι και το 100% να είναι μια καλή τιμή για συνθήκες ξηρασίας. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε η τιμή 100 για τον παραπάνω λόγο. Η άλλη παράμετρος σχετίζεται με τον υπολογισμό της φωτιάς στις κορυφές (crown fire) και το FlamMap προσφέρει δύο μεθόδους, την μέθοδο Finney (2004) και την μέθοδο Scott και Reinhardt (2001). Η μέθοδος Finney (2004) είναι κατάλληλη για ευρείες, γενικές εφαρμογές και είναι πιο παραδοσιακή, ενώ η μέθοδος Scott και Reinhardt (2001) προσφέρει μεγαλύτερη λεπτομέρεια και ακρίβεια, ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν πιο σύνθετες και λεπτομερείς αναλύσεις. Κατά συνέπεια, η μέθοδος που επιλέχθηκε ήταν αυτή του Scott και Reinhardt (2001).

Η επόμενη κατηγορία ρυθμίσεων στα “inputs” αφορά τα “Fuel Moisture Settings” (Ρυθμίσεις Υγρασίας Καυσίμου), οι οποίες αποτελούν μια κρίσιμη παράμετρο για την εξασφάλιση μεγαλύτερης ακρίβειας στα αποτελέσματα μιας προσομοίωσης πυρκαγιάς. Στην συγκεκριμένη ρύθμιση υπάρχουν δύο βασικές επιλογές για την υγρασία των νεκρών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της συμπεριφοράς της φωτιάς. Η μία είναι η σταθερή υγρασία καυσίμων, που είναι μία πιο απλή επιλογή αφού γίνεται χρήση σταθερών επιπέδων υγρασίας καυσίμων, τα οποία καθορίζονται από ένα αρχείο Αρχικής Υγρασίας Καυσίμων (.FMS). Σε αυτήν την επιλογή, η υγρασία των καυσίμων παραμένει σταθερή και ομοιόμορφη για όλα τα κελιά του πλέγματος σε ολόκληρο το τοπίο, ανεξάρτητα από τις διαφορές στο ανάγλυφο ή τη σκίαση, με αποτέλεσμα τα επίπεδα υγρασίας να μην προσαρμόζονται στις τοπικές συνθήκες, αλλά να παραμένουν σταθερά για κάθε κελί. Η δεύτερη επιλογή, η οποία θεωρείται ακριβέστερη, βασίζεται σε σύνθετες διεργασίες, όπως είναι αναμενόμενο. Επιτρέπει τον υπολογισμό της υγρασίας των καυσίμων ξεχωριστά για κάθε κελί του τοπίου, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως το τοπογραφικό ανάγλυφο, τη σκίαση, τις καιρικές συνθήκες και τον χρόνο προσαρμογής της υγρασίας. Επομένως, για να χρησιμοποιηθεί αυτή η επιλογή, απαιτείται ένα αρχείο Καιρικής Ροής (.WXS) καθώς και οι χρόνοι έναρξης και λήξης της περιόδου προσαρμογής.

Στην περίπτωση της συγκεκριμένης εργασίας για τα καλύτερα αποτελέσματα επιλέχθηκε η δεύτερη επιλογή. Τα δεδομένα αυτά αντλήθηκαν από ένα μετεωρολογικό σταθμό κοντά στην περιοχή του συμβάντος, την περιοχή του Φουρφουρά, διότι στην περιοχή που αναπτύχθηκε η φωτιά δεν υπήρχε μετεωρολογικός σταθμός. Επίσης, η περίοδος προσαρμογής μπορεί να κυμαίνεται από 3 έως 5 ημέρες για τις περισσότερες αναλύσεις της συμπεριφοράς της φωτιάς, αλλά για ειδικές περιπτώσεις η περίοδος προσαρμογής φτάνει και τις 30 ημέρες. Η διαδικασία φόρτωσης ενός αρχείου καιρού είναι πολύ απλή, επιλέγοντας το αρχείο .WXS μέσω του κουμπιού WXS File. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα φόρτωσης ενός ήδη υπάρχοντος αρχείου ή η δημιουργία ενός νέου. Να σημειωθεί ότι στο αρχείο καιρού, η διεύθυνση του ανέμου δεν ήταν σε μοίρες οπότε έγινε η μετατροπή των στοιχείων αυτών σε μοίρες.



Εικόνα 2.4 Γραφική Απεικόνιση Προσανατολισμών σε Μοίρες

2.3.2 Fire Behavior Outputs

Η επόμενη καρτέλα ρυθμίσεων μετά το “inputs” είναι το “Fire Behavior Outputs” όπου προφανώς σχετίζεται με ενέργειες ανάλυσης συμπεριφοράς της φωτιάς. Αναλυτικότερα, στο σημείο αυτό δίνεται η δυνατότητα επιλογής των αποτελεσμάτων που θα χρησιμοποιηθούν.

Πρώτα, στην επιλογή “Processor Usage” μπορείς να καθορίσεις τον αριθμό των επεξεργαστών που θα χρησιμοποιηθούν, επιλέγοντας πόσους από τους διαθέσιμους πυρήνες της CPU σου θα αφιερώσεις στο FlamMap και ανάλογα με τον αριθμό των επεξεργαστών που επιλέγεις, μπορείς να μειώσεις σημαντικά το χρόνο που απαιτείται για την εκτέλεση μιας μεγάλης ανάλυσης. Σε αυτή την επιλογή για την εργασία δεν έγιναν κάποιες αλλαγές με αποτέλεσμα ο αριθμός των processors να κρατήσει την τιμή 12 που προείχε.

Στο ίδιο παράθυρο, μπορείς να επιλέξεις τα αποτελέσματα που θα παραχθούν από την ανάλυση. Τα παραγόμενα δεδομένα περιλαμβάνουν κρίσιμες πληροφορίες, όπως την ένταση της γραμμής της φωτιάς, τον ρυθμό εξάπλωσης, το μήκος της φλόγας και τη δραστηριότητα της φωτιάς στις κορυφές των δέντρων. Αναλυτικότερα, τα διάφορα δεδομένα εξόδου που είναι αρκούντως σημαντικά για την κατανόηση και πρόβλεψη της εξέλιξης μιας πυρκαγιάς, παρουσιάζονται παρακάτω:

- Fireline Intensity (Ένταση Γραμμής Φωτιάς), που αφορά την ποσότητα θερμότητας που εκλύεται κατά μήκος της γραμμής της φωτιάς ανά μονάδα χρόνου και είναι αρκετά χρήσιμη, καθώς επηρεάζει τη δυνατότητα κατάσβεσης και τη συμπεριφορά της φωτιάς.
- Rate of Spread (Ρυθμός Εξάπλωσης), που είναι ο ρυθμός με τον οποίο εξαπλώνεται η φωτιά ανάλογα με τις συνθήκες καυσίμων, ανέμου και τοπογραφίας και είναι βασικό στοιχείο για την πρόβλεψη της πορείας της φωτιάς.
- Flame Length (Μήκος Φλόγας), που αντιπροσωπεύει το μήκος της φλόγας και είναι αρκετά σημαντικός δείκτης για τη θερμότητα και την ένταση της πυρκαγιάς, καθορίζοντας πόσο δύσκολο είναι να περιοριστεί.

- Heat/Unit Area (Θερμότητα ανά Μονάδα Επιφάνειας), που εκφράζει την ποσότητα θερμότητας που απελευθερώνεται ανά μονάδα εδάφους και επηρεάζει την ένταση και τις συνέπειες της πυρκαγιάς όσον αφορά τη βλάστηση και το έδαφος.
- Mid-flame Wind Speed (Ταχύτητα Ανέμου στο Ύψος της Φλόγας), που αναφέρεται στην ταχύτητα του ανέμου στο επίπεδο της φλόγας, επηρεάζοντας κυρίως την ταχύτητα εξάπλωσης και το ύψος της φωτιάς.
- Crown Fire Activity (Δραστηριότητα Φωτιάς Κορώνας), που περιγράφει το επίπεδο δραστηριότητας της φωτιάς στην κόμη των δέντρων. Να σημειωθεί ότι οι φωτιές κόμης είναι πολύ πιο δύσκολες στον έλεγχο και επικίνδυνες.
- Crown Fraction Burned (Καμένο Κλάσμα Κορώνας), που αντιπροσωπεύει το ποσοστό των δέντρων που έχει καεί στην κόμη τους και είναι μια αντιπροσωπευτική εικόνα της καταστροφής της δασικής έκτασης.
- Spread Vectors (Διανύσματα Εξάπλωσης), που έχει να κάνει με τα διανύσματα που δείχνουν την κατεύθυνση και την ταχύτητα εξάπλωσης της φωτιάς σε κάθε σημείο.
- Maximum Spot Vectors (Μέγιστα Διανύσματα Μετάδοσης), που δείχνουν την κατεύθυνση και την ταχύτητα των "μεταπηδήσεων" της φωτιάς, όπου φλεγόμενα κομμάτια από τη φωτιά μεταφέρονται από τον άνεμο με αποτέλεσμα να προκαλούν νέες εστίες.
- Maximum Spot (Combined) (Συνδυασμένη Μέγιστη Μετάδοση), που δίνει μια συνολική εικόνα του φαινομένου μετάδοσης της φωτιάς σε νέες εστίες με τη βοήθεια του ανέμου.
- Maximum Spot Direction (Κατεύθυνση Μέγιστης Μετάδοσης), που σχετίζεται με την κατεύθυνση όπου οι μεταδόσεις της φωτιάς από τον άνεμο είναι οι πιο έντονες.
- Maximum Spot Distance (Απόσταση Μέγιστης Μετάδοσης), που αναφέρεται στην μέγιστη απόσταση που μπορεί να ταξιδέψει ένα κομμάτι φλεγόμενου υλικού πριν δημιουργήσει νέα εστία.
- Horizontal Movement Rate (Ρυθμός Οριζόντιας Κίνησης), που εκφράζει τον ρυθμό με τον οποίο εξαπλώνεται η φωτιά σε οριζόντια κατεύθυνση, επηρεάζεται από τον άνεμο και την τοπογραφία.
- Solar Radiation (Ηλιακή Ακτινοβολία), που εκφράζει την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης και επηρεάζει την υγρασία των καυσίμων και τη συμπεριφορά της φωτιάς.
- 1, 10, 100, & 1000 hour Timelag Dead Fuel Moisture Content (Υγρασία Νεκρών Καυσίμων), που είναι η περιεκτικότητα σε υγρασία των νεκρών καυσίμων. Αυτά κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον χρόνο αντίδρασης τους (1, 10, 100, 1000 ώρες) και προφανώς όσο λιγότερη είναι η υγρασία, τόσο πιο γρήγορα καίγονται τα καύσιμα.

Τα αποτελέσματα μπορούν να προβληθούν σε διάφορες μονάδες μέτρησης, ανάλογα με τις ανάγκες της ανάλυσης. Επιπλέον, με τη χρήση των επιλογών Fuel Moisture Conditioning ή Gridded Wind, παρέχονται πρόσθετα δεδομένα που σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και χάρτες κατεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου. Αυτά τα

δεδομένα συμβάλλουν στη δημιουργία μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας των επιπτώσεων των καιρικών συνθηκών και της υγρασίας στη συμπεριφορά της πυρκαγιάς.

Τέλος, σε αυτό το στάδιο το FlamMap δημιουργεί την δυνατότητα πρόσβασης στην εκτέλεση μιας βασικής ανάλυσης συμπεριφοράς φωτιάς (Launch Basic FB), που αυτή η λειτουργία εκτελεί μια προσομοίωση για να υπολογίσει βασικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς της φωτιάς, όπως η ένταση της φωτιάς, ο ρυθμός εξάπλωσης και το μήκος της φλόγας, με βάση τις συνθήκες του τοπίου, την υγρασία των καυσίμων, και τις τρέχουσες καιρικές συνθήκες. Η λειτουργία αυτή είναι χρήσιμη για την αρχική αξιολόγηση της δυναμικής μιας πυρκαγιάς σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Στις ρυθμίσεις που έγιναν, όπως προαναφέρθηκε, το "processor usage" έμεινε αμετάβλητο και στα "outputs" επιλέχθηκαν όλες οι επιλογές για να υπάρχει μία ευρύτερη εικόνα της φωτιάς με όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες για την ανάλυση. Στην ρύθμιση "non-fixed fuel moisture outputs" που σχετίζονται με την υγρασία των καυσίμων δεν επιλέχτηκε τίποτα και η τελευταία ρύθμιση αυτής της καρτέλας "options" έμεινε ίδια, στην επιλογή "relative spread direction from maximum".

2.3.3 Minimum Travel Time

Η τρίτη καρτέλα έχει το τίτλο "Minimum Travel Time" είναι ένα εξίσου σημαντικό κομμάτι για την ανάλυση της εξάπλωσης της φωτιάς. Το MTT μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Finney το 2002, υπολογίζει την ταχύτερη διαδρομή που μπορεί να ακολουθήσει η φωτιά από ένα σημείο έναρξης σε όλη την περιοχή ανάλυσης, γραμμές ή και πολυγωνικές πηγές ανάφλεξης. Αυτό πραγματοποιείται καθώς το μοντέλο χρησιμοποιεί μια μεθοδολογία βασισμένη στην αρχή της ταχύτερης διαδρομής, λαμβάνοντας υπόψη τη δυναμική της φωτιάς, όπως τον ρυθμό εξάπλωσης, την ένταση της φλόγας, και τις κατευθύνσεις εξάπλωσης. Με τη χρήση της μεθόδου *Minimum Travel Time* (MTT), είναι δυνατή η προσομοίωση της διαδρομής που θα ακολουθήσει μια πυρκαγιά με τη μέγιστη ταχύτητα εξάπλωσης, διευκολύνοντας την εκτίμηση κινδύνων και τον σχεδιασμό στρατηγικών πρόληψης και καταστολής.

Στην καρτέλα αυτή, η πρώτη κατηγορία ρυθμίσεων είναι τα "Ignitions" και εκεί δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής των σημείων ανάφλεξης σε μορφή shapfiles που έχουν δημιουργηθεί εκτός του FlamMap ή εντός. Υπάρχουν τρεις επιλογές καθορισμού πηγών ανάφλεξης στο MTT:

- Από Αρχείο (From File), όπου οι πηγές ανάφλεξης μπορούν να εισαχθούν ως shapfiles που έχουν δημιουργηθεί εκτός του FlamMap ή εντός του μέσω της επιλογής "Create..." στο μενού "Pointer Mode" .
- Μία άλλη επιλογή είναι η Τυχαία Ανάφλεξη (Random), όπου το MTT μπορεί να υπολογίσει την ανάπτυξη της φωτιάς για έναν καθορισμένο αριθμό τυχαία τοποθετημένων σημείων ανάφλεξης.
- Η τρίτη επιλογή είναι από Αρχείο Λίστας Πυρκαγιών (From Fire List File), που οι πιθανότητες καύσης μπορούν επίσης να υπολογιστούν από μια προηγουμένως καθορισμένη λίστα πυρκαγιών που περιέχεται σε ένα αρχείο κειμένου. Αυτή η μέθοδος εξαλείφει τη μεταβλητότητα που προκαλείται από την τυχαία επιλογή αναφλέξεων, καθιστώντας την χρήσιμη για συγκρίσεις μεταξύ διαφόρων σεναρίων προσομοίωσης.

Στην παρούσα περίπτωση επιλέχθηκε η πρώτη επιλογή, καθώς η δημιουργία του σημείου που αναπτύχθηκε η πυρκαγιά έγινε με την χρήση του ArcGIS. Αυτό έγινε δημιουργώντας ένα shapfile και έπειτα μέσω του editor σχεδιάστηκε κατά προσέγγιση η περιοχή που ξεκίνησε η φωτιά, με τον ίδιο τρόπο που σχεδιάστηκε και η περιοχή που έκαψε η

πυρκαγιά στα πρώτα βήματα του ArcGIS. Οι πληροφορίες για την ακριβή τοποθεσία της πηγής της φωτιάς βρέθηκαν από τα αρχεία της πυροσβεστικής.

Η αμέσως μετά κατηγορία σε αυτή την καρτέλα είναι τα “inputs”, όπου είναι δεδομένα εισόδου για το MTT μοντέλο. Για να λειτουργήσει το MTT, απαιτούνται αρκετές εισοδοί πέρα από τις βασικές παραμέτρους συμπεριφοράς της φωτιάς, όπως τα αρχεία αρχικής υγρασίας καυσίμου, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου. Αυτές οι επιπλέον εισοδοί περιλαμβάνουν:

- **Ανάλυση Υπολογισμών (Resolution of the Calculations):**
Καθορίζει την απόσταση μεταξύ των κόμβων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ελάχιστων χρόνων ταξιδιού και των πλεγμάτων εξόδου. Αυτή η ρύθμιση επηρεάζει σημαντικά τον χρόνο υπολογισμού της προσομοίωσης.
- **Μέγιστος Χρόνος Προσομοίωσης (Maximum Simulation Time):**
Προσδιορίζει τη διάρκεια της προσομοίωσης για τις καθορισμένες συνθήκες καυσίμου και ανέμου.
- **Διάστημα για τις Ελάχιστες Διαδρομές (Interval for Minimum Travel Paths):**
Ελέγχει τον τρόπο επιλογής και εμφάνισης των βασικών διαδρομών MTT σε συγκεκριμένα διαστήματα απόστασης.
- **Πιθανότητα Σπίθας (Spot Probability):**
Ρυθμίζει πόσοι από τους κόμβους όπου ξεκινά η φωτιά στις κορυφές των δέντρων θα εκτοξεύουν σπύρες που μπορούν να ξεκινήσουν νέες φωτιές.
- **Καθυστέρηση Σπίθας (Spotting Delay):**
Ορίζει την καθυστέρηση μεταξύ της προσγείωσης μιας σπύρας σε ένα καύσιμο σημείο και της έναρξης της εξάπλωσης της φωτιάς.
- **Βαθμοί Αναζήτησης (Lateral & Vertical Search Depths):**
Ρυθμίζουν το βάθος αναζήτησης των ταχύτερων διαδρομών από το MTT, με μεγαλύτερες τιμές να αυξάνουν τον χρόνο υπολογισμού αλλά και την ακρίβεια της προσομοίωσης.

Στην εργασία, οι τιμές αυτές συμπληρώθηκαν με τα κατάλληλα νούμερα. Το Resolution of the Calculations πήρε την τιμή 250 και το Maximum Simulation Time πήρε την τιμή 21600 που αντιστοιχεί λεπτά και μεταφράζεται στις 15 ημέρες που κράτησε η φωτιά μέχρι που έσβησε. Η ρύθμιση αυτή μέσα στις πολλές προσομοιώσεις που διεξήχθησαν άλλαξε, ώστε να γίνει μία παρατήρηση της φωτιάς ανά ημέρες. Πιο αναλυτικά, η προσομοίωση έτρεξε για μέγιστο χρόνο την 1 ημέρα (1440 λεπτά), τις 2 ημέρες (2880 λεπτά), τις 3 ημέρες (4320 λεπτά), τις 4 ημέρες (5760 λεπτά), τις 5 ημέρες (7200 λεπτά), τις 6 ημέρες (8600 λεπτά), τις 7 ημέρες (10080 λεπτά) και ούτω καθεξής μέχρι την 15 ημέρα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να υπάρχει εικόνα για το ποσοστό καμένης Γής όλες αυτές τις ημέρες ξεχωριστά και για το ποιές περιόδους η φωτιά ήταν ανεξέλεγκτα καταστροφική. Η επόμενη ρύθμιση που σχετίζεται με το Διάστημα για τις Ελάχιστες Διαδρομές συμπληρώθηκε με την τιμή 500 αν και έγιναν δοκιμές και με άλλες τιμές. Το Spot Probability έμεινε στην τιμή 0 όπως και η Καθυστέρηση Σπίθας. Τέλος, οι ρυθμίσεις που αφορούν τους Βαθμούς Αναζήτησης (Lateral & Vertical Search Depths) συμπληρώθηκαν με τις τιμές 6 και 4 αντίστοιχα.

Μια άλλη κατηγορία ρυθμίσεων στην καρτέλα αυτή που παίζει καθοριστικό ρόλο στην προσομοίωση της συμπεριφοράς της φωτιάς σε ένα τοπίο, είναι τα εμπόδια (barriers). Αυτά τα εμπόδια χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν φυσικά ή τεχνητά στοιχεία που εμποδίζουν την εξάπλωση της φωτιάς, όπως ποτάμια, δρόμοι ή άλλες μη εύφλεκτες

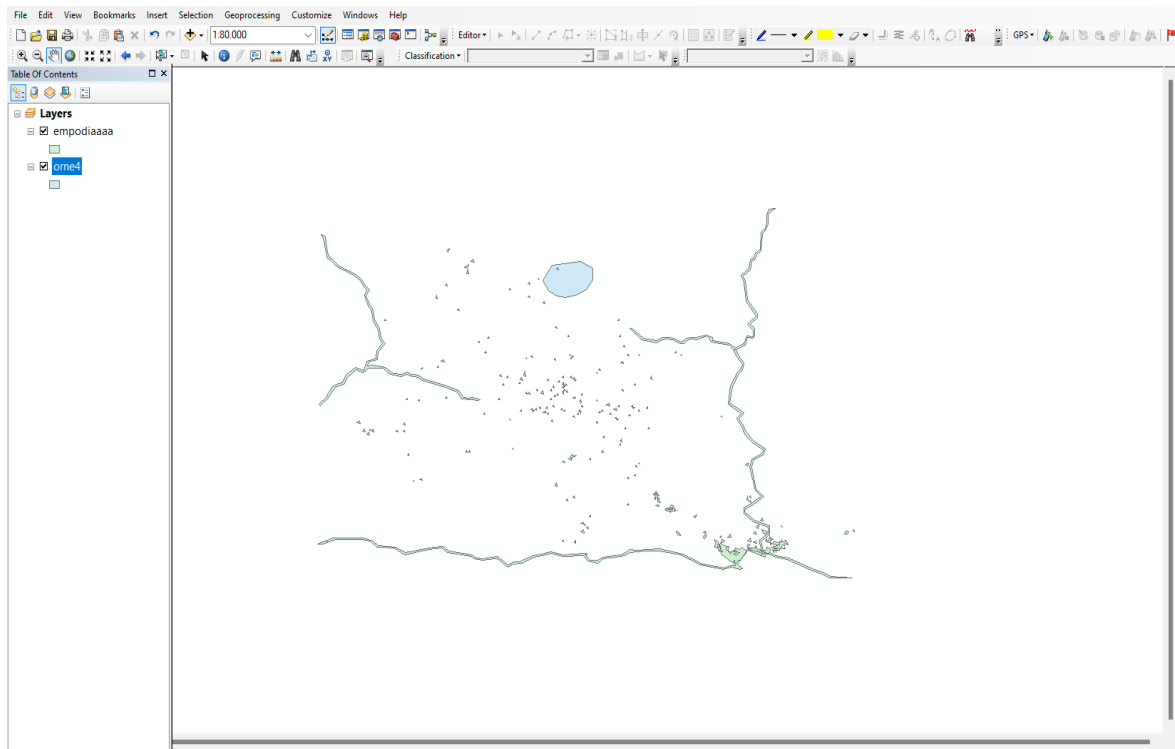
περιοχές. Όλα αυτά τα εμπόδια θα πρέπει να είναι σε αρχείο shapefile, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορέσει να ενσωματώσει αυτές τις πληροφορίες στην προσομοίωση, εξασφαλίζοντας ότι το μοντέλο λαμβάνει υπόψη του όλα τα σημαντικά εμπόδια που θα μπορούσαν να περιορίσουν ή να καθυστερήσουν την εξάπλωση της φωτιάς.

Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα εμπόδια που δημιουργούνται με αυτό τον τρόπο θα σταματήσουν την εξάπλωση της φωτιάς στην επιφάνεια, αλλά δεν θα αποτρέψουν τη μετάδοση της φωτιάς μέσω του αέρα (spotting), καθώς οι φλεγόμενοι κορμοί δέντρων μπορεί να προκαλέσουν τη δημιουργία νέων εστιών φωτιάς πέρα από το εμπόδιο. Τώρα, όσον αφορά την δημιουργία αυτών των εμποδίων μπορεί να γίνει είτε εξωτερικά, μέσω άλλου λογισμικού χαρτογράφησης, είτε απευθείας μέσα στο FlamMap. Ο πρώτος τρόπος περιλαμβάνει την εισαγωγή ενός έτοιμου αρχείου shapefile ή την δημιουργία ενός τέτοιου αρχείου σε μία πλατφόρμα όπως το ArcGIS. Ο δεύτερος τρόπος που σχετίζεται με την απευθείας δημιουργία του αρχείου αυτού μέσα στο πρόγραμμα γίνεται, χρησιμοποιώντας τις διαθέσιμες επιλογές στο μενού "Option -> Pointer Mode -> Create...". Η διαδικασία αυτή ανεξαρτήτως τον τρόπο που θα επιλεγεί για να υλοποιηθεί, είναι εξαιρετικά χρήσιμη όταν τα αρχικά δεδομένα τοπίου δεν περιλαμβάνουν όλες τις πληροφορίες σχετικά με τα μη εύφλεκτα στοιχεία. Παραδείγματος χάρη, ένα ρυάκι που στη φύση εμποδίζει την επέκταση της φωτιάς μπορεί να μην έχει αποτυπωθεί σωστά στο αρχικό μοντέλο του τοπίου, αλλά με την λειτουργία αυτή δίνεται η ευκαιρία στην δημιουργία ενός καλύτερου και ακριβέστερου αρχείου εμποδίων.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι τα εμπόδια στο FlamMap δεν εμποδίζουν μόνο την επιφανειακή εξάπλωση της φωτιάς αλλά έχουν και άλλες σημαντικές λειτουργίες. Για παράδειγμα, υπάρχει η δυνατότητα γεμίσματος των πολυγωνικών εμποδίων με μη καύσιμα κελιά, γεγονός που αποτρέπει την έναρξη νέων εστιών φωτιάς μέσα στα όρια αυτών των εμποδίων. Αυτή η λειτουργία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν μεγάλα τμήματα γης που δεν πρέπει να καούν, όπως προστατευόμενες περιοχές ή υποδομές κρίσιμης σημασίας.

Στην περίπτωση της φωτιάς στις Μέλαμπες, αυτό που έγινε ήταν να βρεθούν από την ιστοσελίδα corepicus, που προαναφέρθηκε αρκετά πιο πάνω, δεδομένα για φυσικά και τεχνητά εμπόδια. Τα εμπόδια που συνάντησε η λεγόμενη φωτιά, ήταν ρυάκια, λίμνες, ένα ποτάμι, η ακτογραμμή, σπίτια και γεωργικά κτήρια. Τα δεδομένα αυτά ήταν σε διάφορα αρχεία και διαφορετικές μορφές, με αποτέλεσμα να γίνει εισαγωγή όλων των αρχείων στο ArcGIS για περαιτέρω επεξεργασία. Αφού όλα τα εμπόδια πήραν ίδια μορφή (επειδή κάποια αρχεία είχαν μορφή "geometry type" point, polygon ή polyline) με την χρήση πάντα του ArcToolbox, ενώθηκαν και φτιάχτηκε το αρχείο εμποδίου. Αναλυτικότερα, το polyline έγινε polygon με τα εξής βήματα :

- Μετάβαση στο ArcToolbox μέσα στο ArcMap και επιλογή του εργαλείου "Feature to Polygon", πηγαίνοντας στο Data Management Tools > Features > Feature to Polygon.
- Επιλογή του shapefile ή του feature class της polyline που χρειάζεται να γίνει μετατροπή.
- Ορισμός ονόματος και θέσης του νέου shapefile ή feature class που θα περιέχει τα polygons.



Εικόνα 2.5 Απεικόνιση Εμποδίων στο Περιβάλλον του ArcMap

Η τελευταία κατηγορία ρυθμίσεων στην καρτέλα αυτή είναι τα “outputs”, που είναι σημαντικές πληροφορίες για την εξάπλωση της φωτιάς στο τοπίο που σου δίνει το FlamMap από την διεξαγωγή του μοντέλου Minimum Travel Time (MTT). Συγκεκριμένα, το μοντέλο δημιουργεί πλέγματα που δείχνουν τον ρυθμό εξάπλωσης της φωτιάς, τον χρόνο άφιξης της φωτιάς σε κάθε σημείο, και την ένταση της γραμμής φωτιάς. Επιπλέον, απεικονίζει τις διαδρομές που ακολουθεί η φωτιά καθώς και τους κύριους διαδρόμους εξάπλωσής της. Επομένως όλες αυτές οι πληροφορίες – έξοδοι της προσομοίωσης της διάδοσης της φωτιάς με το μοντέλο Minimum Travel Time (MTT), θα αναλυθούν παρακάτω :

- Ένα από τα βασικά στοιχεία της προσομοίωσης είναι το MTT Rate of Spread Grid, το οποίο απεικονίζει τον ρυθμό εξάπλωσης της φωτιάς καθώς συναντά κάθε κόμβο κατά μήκος της διαδρομής ελάχιστου χρόνου διάδοσης. Αυτές οι τιμές διαφέρουν από εκείνες που υπολογίζονται με τα παραδοσιακά εργαλεία μοντελοποίησης της συμπεριφοράς της φωτιάς, καθώς λαμβάνουν υπόψη τη συγκεκριμένη διαδρομή που ακολουθεί η φωτιά.
- Το MTT Influence Grid είναι ένα άλλο σημαντικό εργαλείο, το οποίο απεικονίζει τον αριθμό των κόμβων που καίγονται ως αποτέλεσμα της διάδοσης της φωτιάς μέσω ενός συγκεκριμένου κόμβου. Επειδή ο αριθμός αυτός μπορεί να ποικίλει δραματικά, από πολύ μικρές σε πολύ μεγάλες τιμές, εφαρμόζεται λογαριθμικός μετασχηματισμός για να διευκολυνθεί η οπτικοποίηση και η ανάλυση των δεδομένων.
- Ένα άλλο κρίσιμο εργαλείο είναι το MTT Arrival Time Grid, το οποίο καταγράφει τον χρόνο άφιξης της φωτιάς σε κάθε κόμβο της προσομοίωσης. Αυτό το πλέγμα παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την ταχύτητα με την οποία η φωτιά εξαπλώνεται σε διαφορετικά τμήματα του τοπίου, επιτρέποντας την καλύτερη

πρόβλεψη της συμπεριφοράς της και τη βελτίωση των στρατηγικών αντιμετώπισης.

- Επίσης, το MTT Fireline Intensity Grid και τα αντίστοιχα θέματα των ροών και περιμέτρων παρέχουν πληροφορίες για την ένταση της φωτιάς καθώς και για τις κύριες διαδρομές που ακολουθεί κατά την εξάπλωσή της. Αυτές οι πληροφορίες είναι καθοριστικής σημασίας για την εκτίμηση των επιπτώσεων της φωτιάς και την προετοιμασία κατάλληλων μέτρων αντιμετώπισης.
- Το MTT Flow Paths vector theme παρέχει μια απεικόνιση των διαδρομών ελάχιστου χρόνου διάδοσης σε όλο το τοπίο. Αυτές οι διαδρομές δείχνουν πώς θα κινηθεί η φωτιά από τον ένα κόμβο στον επόμενο με τον πιο γρήγορο δυνατό τρόπο.
- Το MTT Major Paths vector theme είναι μια πιο απλοποιημένη απεικόνιση των κύριων διαδρομών διάδοσης της φωτιάς, οι οποίες καθορίζονται με βάση συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα που επιλέγονται από τον χρήστη.
- Ένα άλλο χρήσιμο εργαλείο είναι το MTT Arrival Time Contour που είναι μια γραφική αναπαράσταση του πλέγματος χρόνου άφιξης (MTT Arrival Time Grid). Οι καμπύλες αυτές δημιουργούνται με βάση τον μέγιστο χρόνο άφιξης που έχει υπολογιστεί και διαχωρίζουν το τοπίο σε ζώνες ανάλογα με το πότε φτάνει η φωτιά σε κάθε περιοχή.
- Το MTT Ignition Grid αποτελεί την ψηφιακή απεικόνιση των αρχικών σημείων ανάφλεξης και των εμποδίων που λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο MTT. Η απεικόνιση αυτή επιτρέπει στους χρήστες να δουν πώς τα σημεία έναρξης της φωτιάς και τα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια επηρεάζουν τη συνολική εξάπλωση της φωτιάς στο τοπίο.
- Το Ember Landing Locations, που αναπαρίστανται σε ένα shapefile σημείων. Αυτά τα σημεία υποδεικνύουν τις τοποθεσίες όπου προσγειώνονται καύτρες από τη φωτιά, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν νέες εστίες πυρκαγιάς μακριά από την κύρια γραμμή της φωτιάς.
- Το Ember List παρέχει ένα αρχείο CSV με αναλυτικές πληροφορίες για τις καύτρες, όπως οι συντεταγμένες εκτόξευσης και προσγειώσης, καθώς και οι χρονικές στιγμές αυτών των γεγονότων. Αυτό το αρχείο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τη διεξοδική ανάλυση της διασποράς των καυτρών και της επίδρασής τους στην εξάπλωση της φωτιάς.
- Το Burn Probabilities Grid, το οποίο απεικονίζει την πιθανότητα καύσης κάθε κόμβου του τοπίου. Αυτή η έξοδος είναι ουσιαστικά ένας χάρτης που δείχνει τη συχνότητα με την οποία η φωτιά επηρεάζει κάθε περιοχή, βάσει των πολλαπλών τρεξιμάτων προσομοίωσης.
- Επίσης, το MTT Perimeters vector theme παρέχει τα περιγράμματα των πυρκαγιών που προσομοιώθηκαν βάσει τυχαίων σημείων ανάφλεξης. Αυτά τα περιγράμματα είναι χρήσιμα για τη χαρτογράφηση των πιθανών ζωνών καύσης και την κατανόηση του πώς μπορεί να εξαπλωθεί η φωτιά κάτω από διαφορετικά σενάρια.
- Πέρα από τα περιγράμματα πυρκαγιάς και τα πιθανά σενάρια εξάπλωσης, το MTT προσφέρει επίσης εργαλεία για την εκτίμηση της πιθανότητας της έντασης της φωτιάς και του μεγέθους της. Ένα από αυτά τα εργαλεία είναι το FLP (Flame

Length Probability), το οποίο έρχεται σε δύο μορφές: FLP - 6 Bin English και FLP - 20 Bin Metric. Αυτά τα αρχεία κειμένου περιέχουν δεδομένα σχετικά με την πιθανότητα εμφάνισης συγκεκριμένων μηκών φλόγας, μετρώντας τα σε αγγλικές ή μετρικές μονάδες, αντίστοιχα.

- Τέλος, το Fire Size List είναι ένα ακόμα σημαντικό εργαλείο που προσφέρει το MTT και περιέχει μια λίστα με τα σημεία ανάφλεξης και το μέγεθος κάθε πυρκαγιάς, μετρημένο σε στρέμματα, όπως αυτά προκύπτουν από την ανάλυση της πιθανότητας καύσης.

Στην περίπτωση αυτής της πτυχιακής εργασίας, επιλέχθηκαν όλες οι επιλογές που ήταν σε θέση να επιλεγθούν ώστε να εκτελεσθεί το μοντέλο Minimum Travel Time (MTT).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης Πυρκαγιάς

Σε αυτή την ενότητα, όπως λέει και ο τίτλος, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα όλων των προσομοιώσεων της πυρκαγιάς στο χωριό Μέλαμπες. Αναλυτικότερα, θα γίνει παρουσίαση δύο βασικών χαρτών για την σωστή και καλύτερη κατανόηση της πορείας της φωτιάς, ανά διάφορα χρονικά διαστήματα μέσα σε αυτές τις δεκαπέντε ημέρες που κράτησε η πυρκαγιά. Οι δύο χάρτες που θα δώσουν μια σαφή εικόνα της εξάπλωσης της φωτιάς είναι οι εξής:

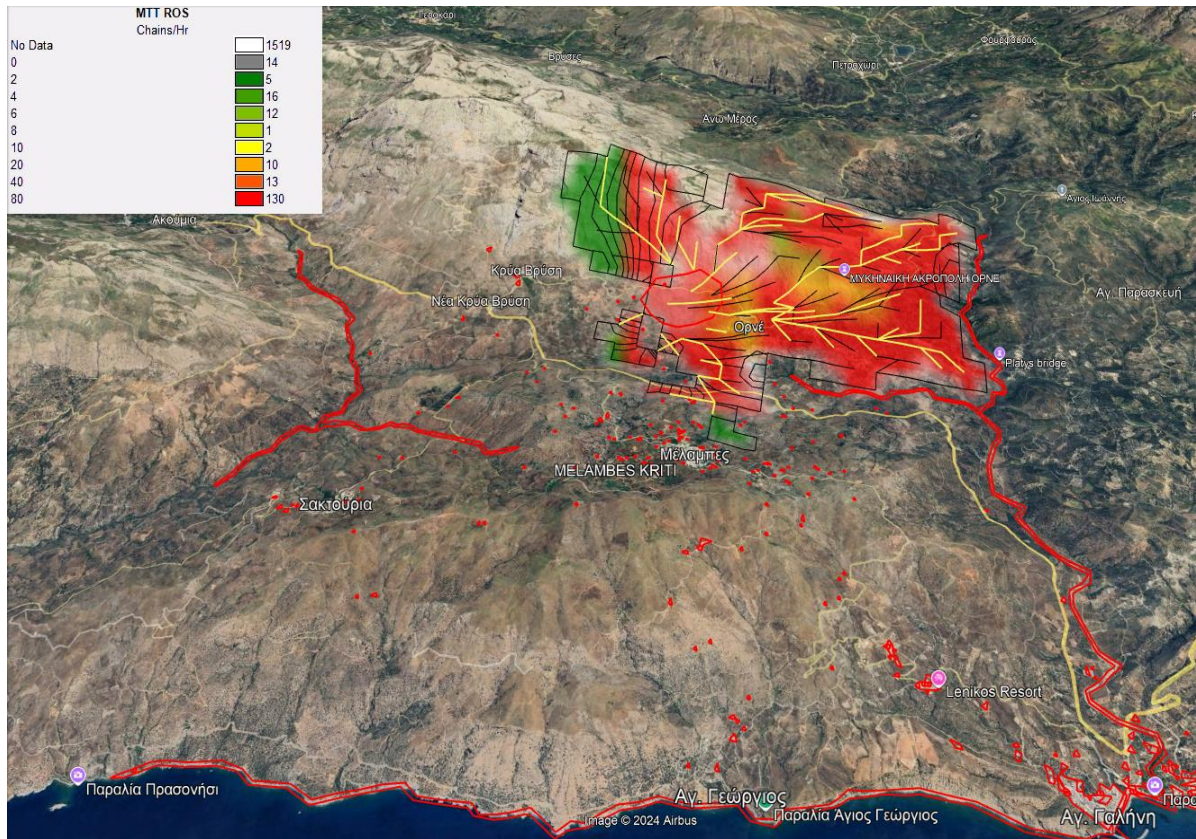
1. MTT Arrival Time, που δείχνει πότε ακριβώς η φωτιά θα φτάσει σε διαφορετικά σημεία της περιοχής, κάτι που είναι κρίσιμο για τον σχεδιασμό αντιπυρικών μέτρων και εκκενώσεων.
2. MTT ROS, που παρέχει τον ρυθμό εξάπλωσης της φωτιάς, δηλαδή πόσο γρήγορα προχωρά η πυρκαγιά σε διάφορες κατευθύνσεις, λαμβάνοντας υπόψη τον άνεμο, το ανάγλυφο και την κατάσταση των καυσίμων.

3.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 1

Ξεκινώντας με την πρώτη προσομοίωση, η οποία αφορά την πρώτη ημέρα της πραγματικής πυρκαγιάς (15/07/2022), παρουσιάζεται η εξέλιξη της πυρκαγιάς μέσα από τους δύο χάρτες που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού FlamMap, με διάρκεια μίας ημέρας, χρησιμοποιώντας τα καιρικά δεδομένα της πρώτης ημέρας της πραγματικής πυρκαγιάς.



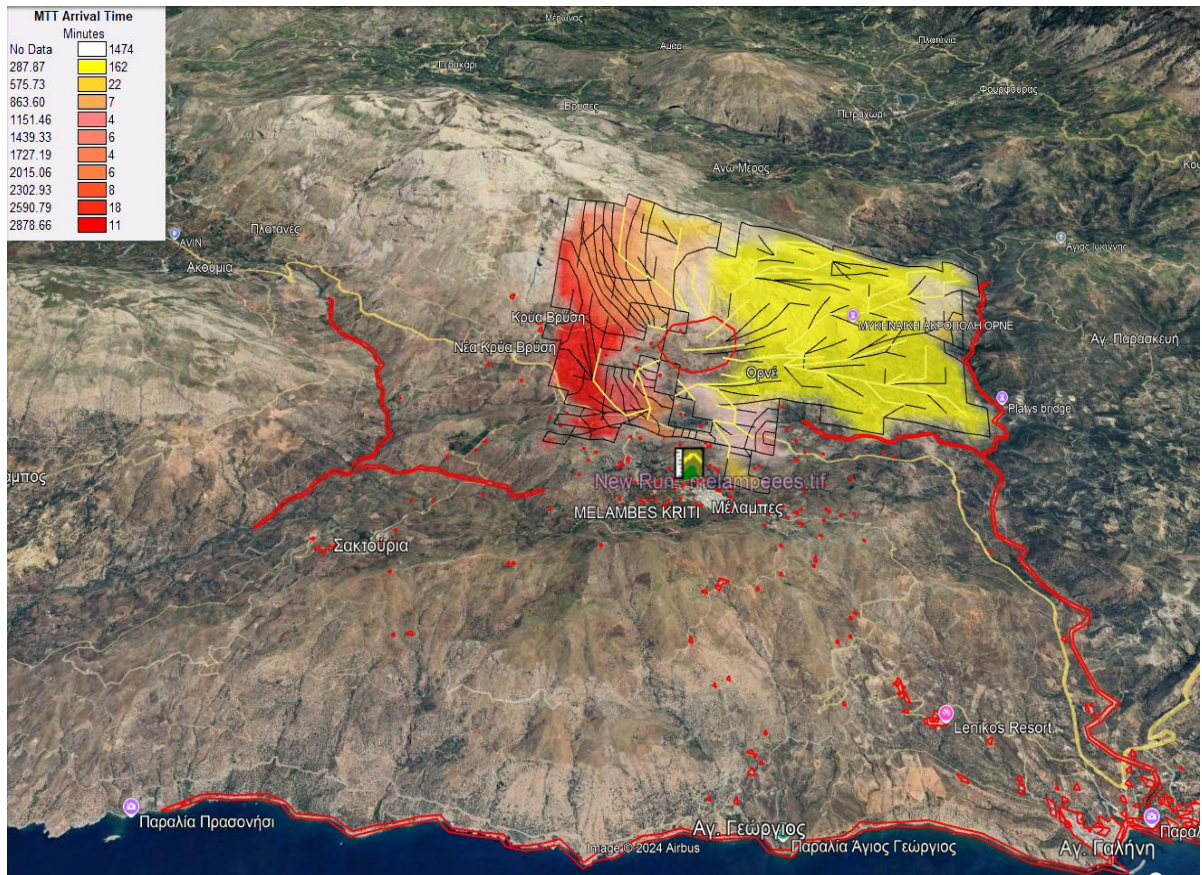
Εικόνα 3.1 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 1η Ημέρα



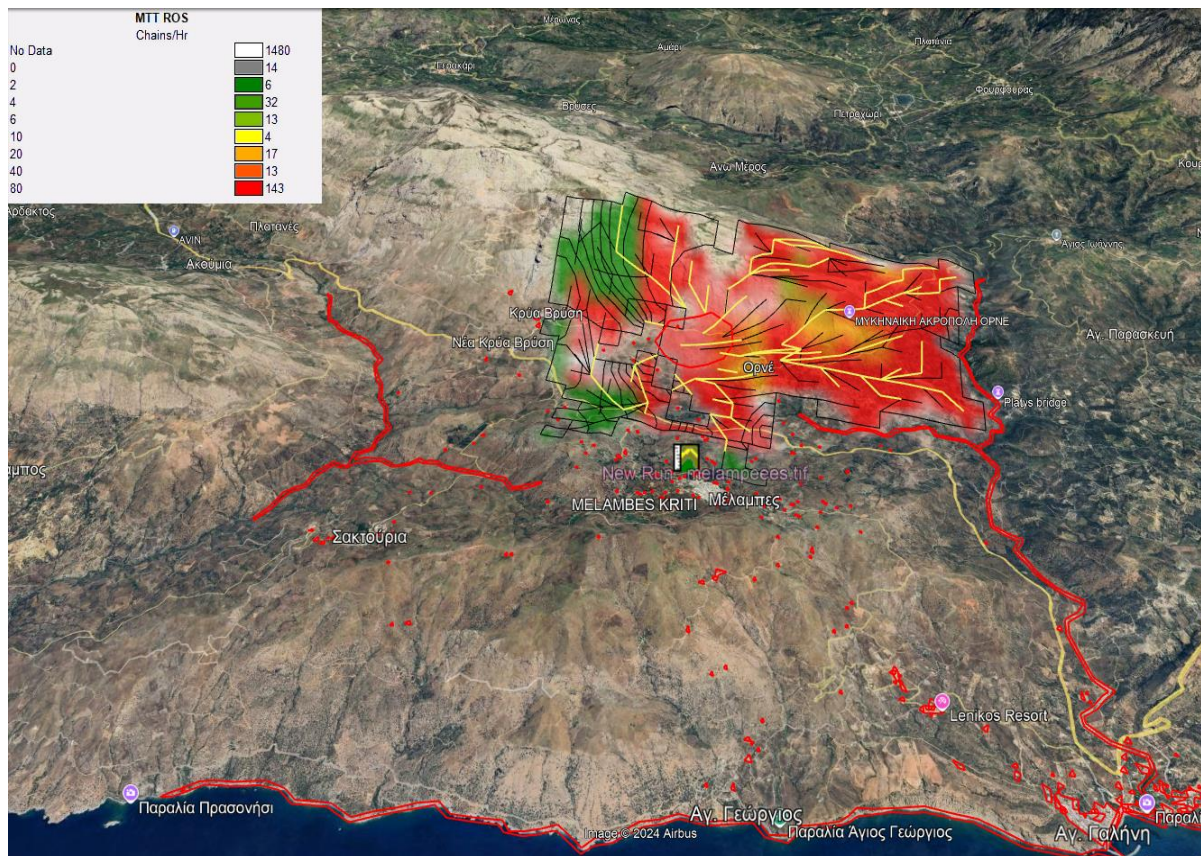
Εικόνα 3.2 Απεικόνιση MTT ROS για την 1η Ημέρα

3.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 2

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε μια δεύτερη μοντελοποίηση, αυτή τη φορά με διάρκεια δύο ημερών, συγκεκριμένα για τις ημερομηνίες 15-16/07/2022. Οι επόμενες δύο εικόνες παρουσιάζουν, όπως και προηγουμένως, δύο χάρτες παρακολούθησης της πυρκαγιάς, αποτυπώνοντας την εξέλιξή της κατά τις δύο πρώτες ημέρες.



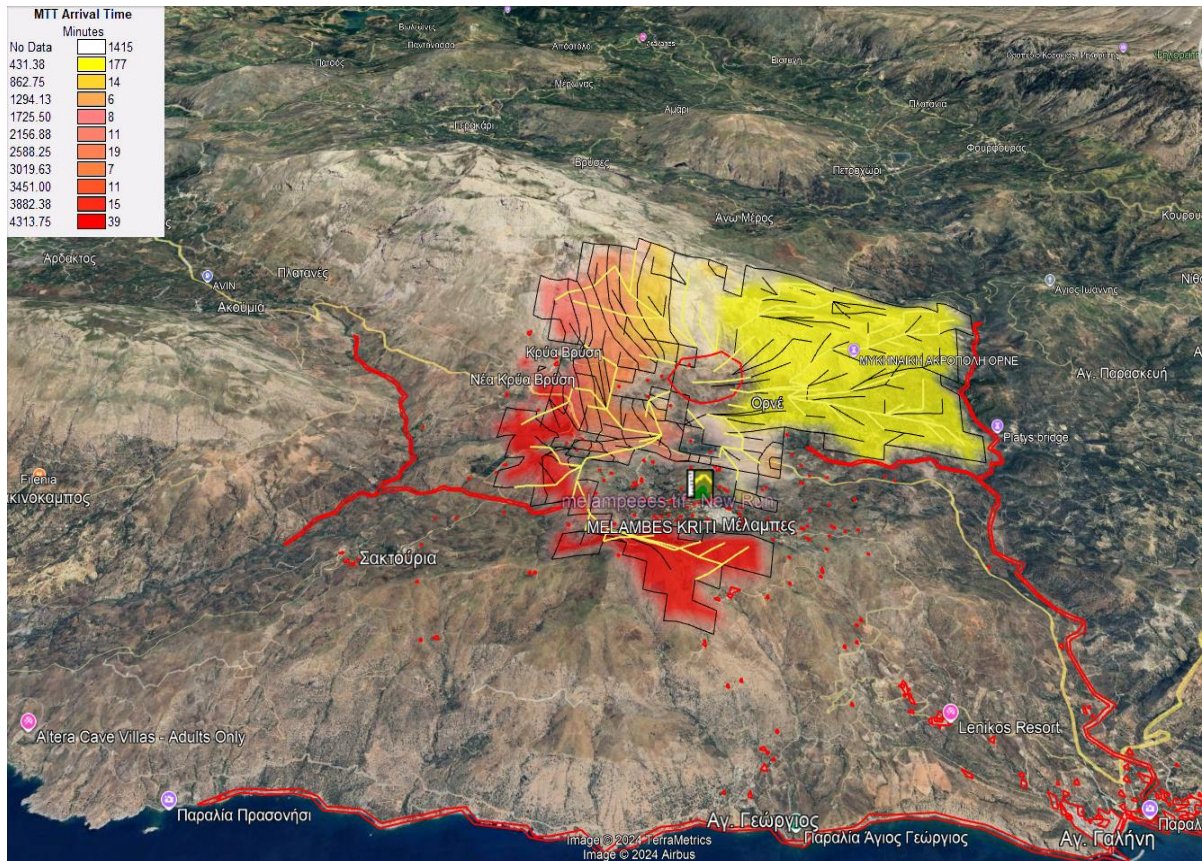
Εικόνα 3.3 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 2η Ημέρα



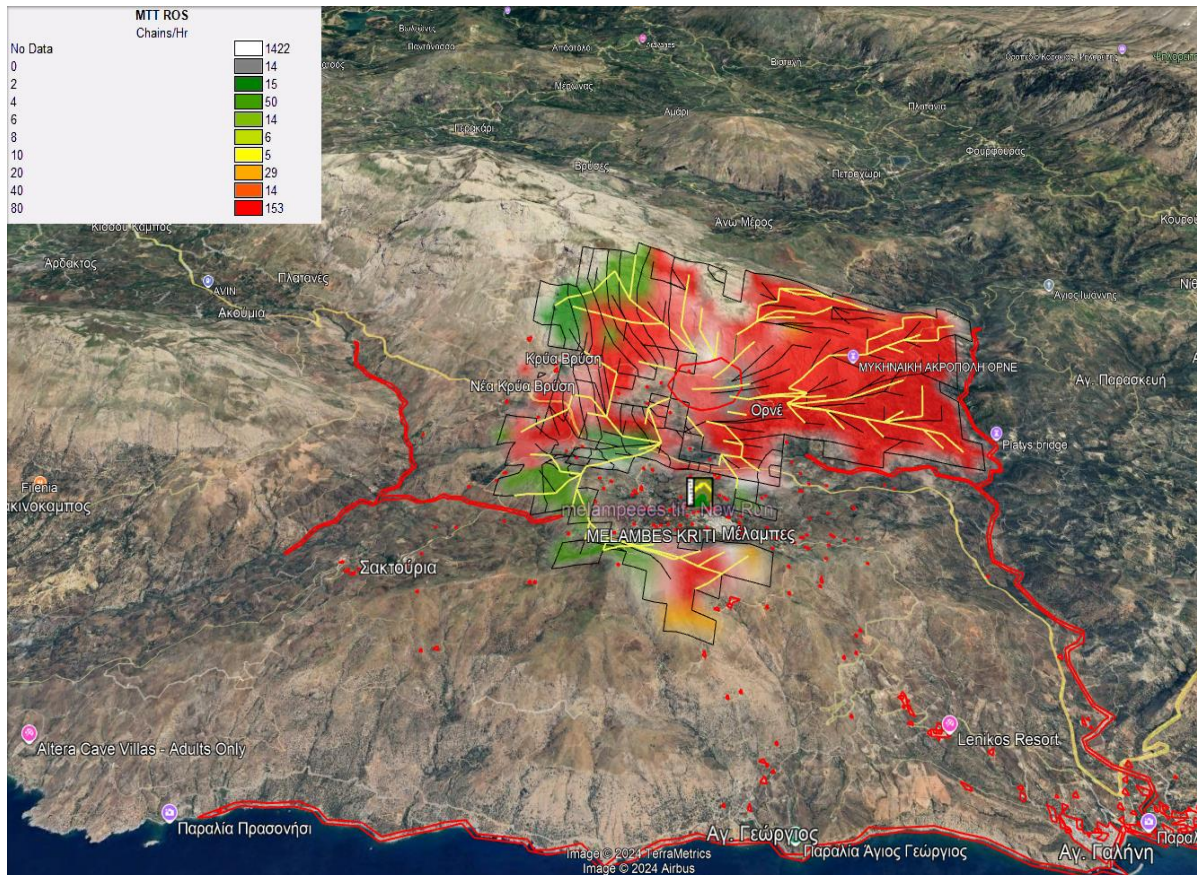
Εικόνα 3.4 Απεικόνιση MTT ROS για την 2η Ημέρα

3.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 3

Προχωρώντας στην τρίτη προσομοίωση, η οποία κάλυψε διάρκεια τριών ημερών (15-17/07/2022), παρουσιάζονται στους παρακάτω δύο χάρτες η εξέλιξη της πορείας της φωτιάς, η οποία είναι εμφανώς μεγαλύτερη σε έκταση και ένταση συγκριτικά με τις προηγούμενες προσομοιώσεις.



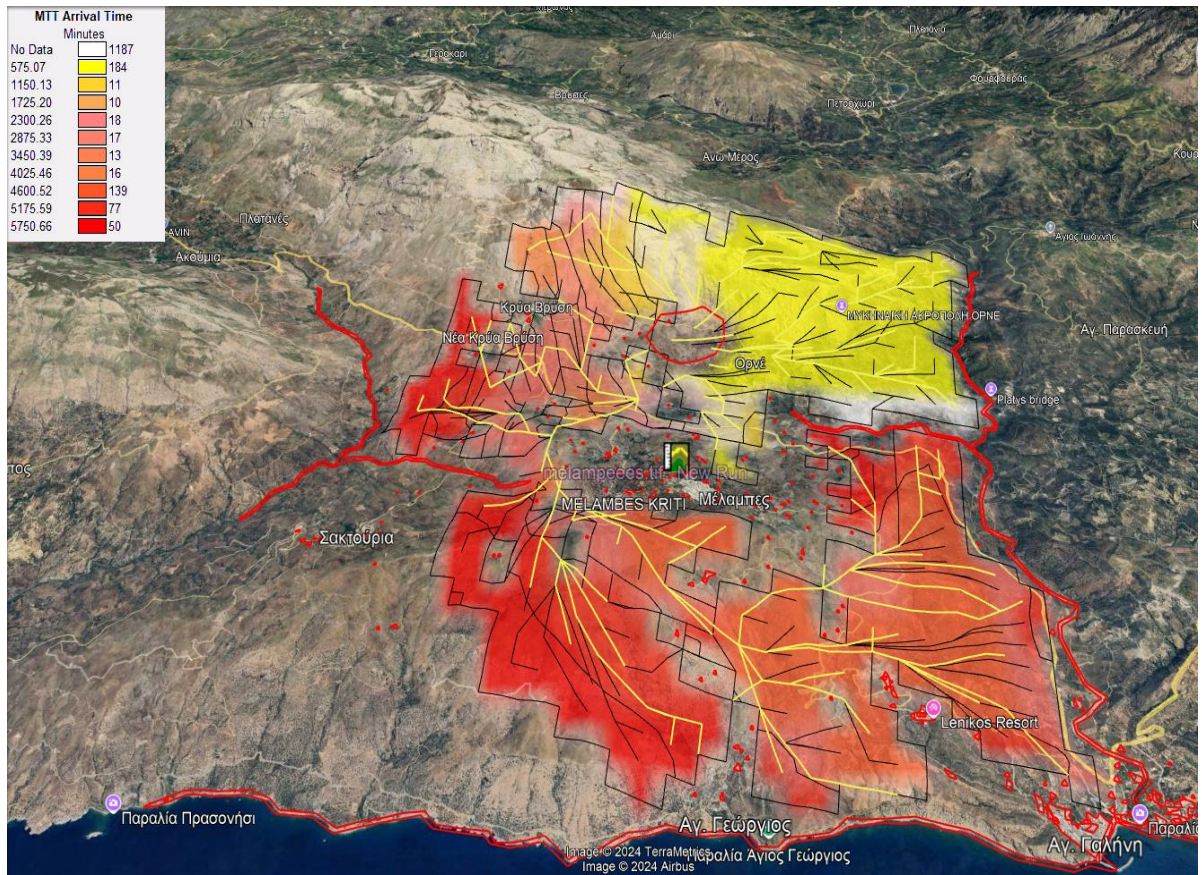
Εικόνα 3.5 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 3η Ημέρα



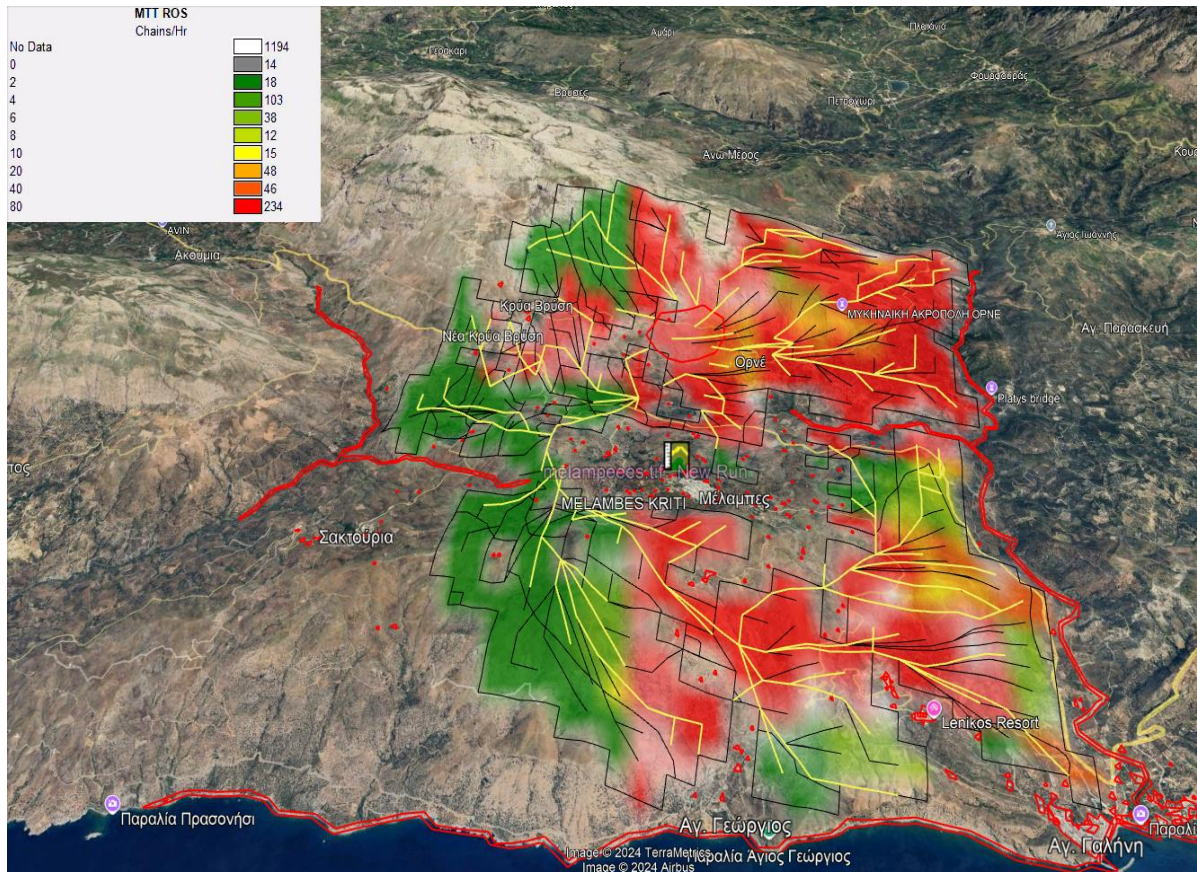
Εικόνα 3.6 Απεικόνιση MTT ROS για την 3η Ημέρα

3.5 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 4

Ακολουθούν οι χάρτες που παρουσιάζουν την εξέλιξη της φωτιάς σε χρονικό διάστημα τεσσάρων ημερών (15-18/07/2022), αποτυπώνοντας λεπτομερώς την πορεία της, τα χωριά που επηρεάστηκαν, καθώς και την έκταση των καμένων περιοχών.



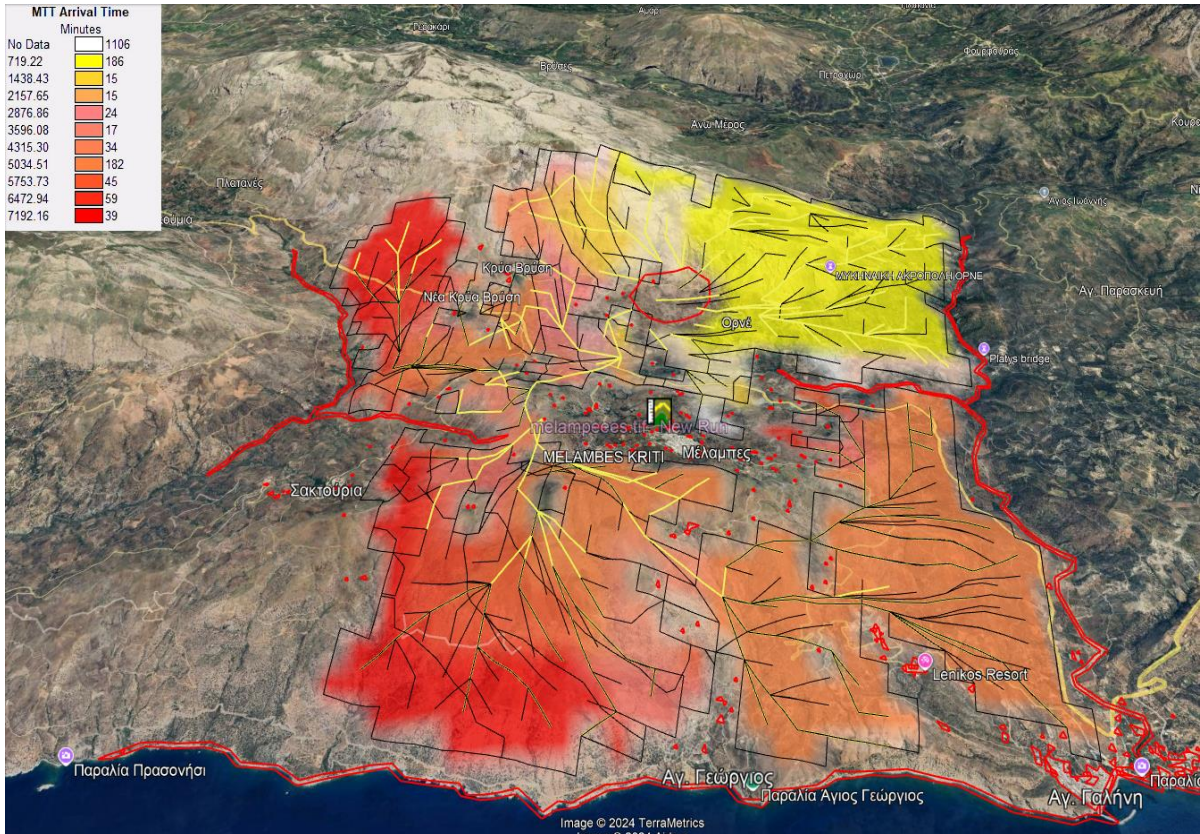
Εικόνα 3.7 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 4η Ημέρα



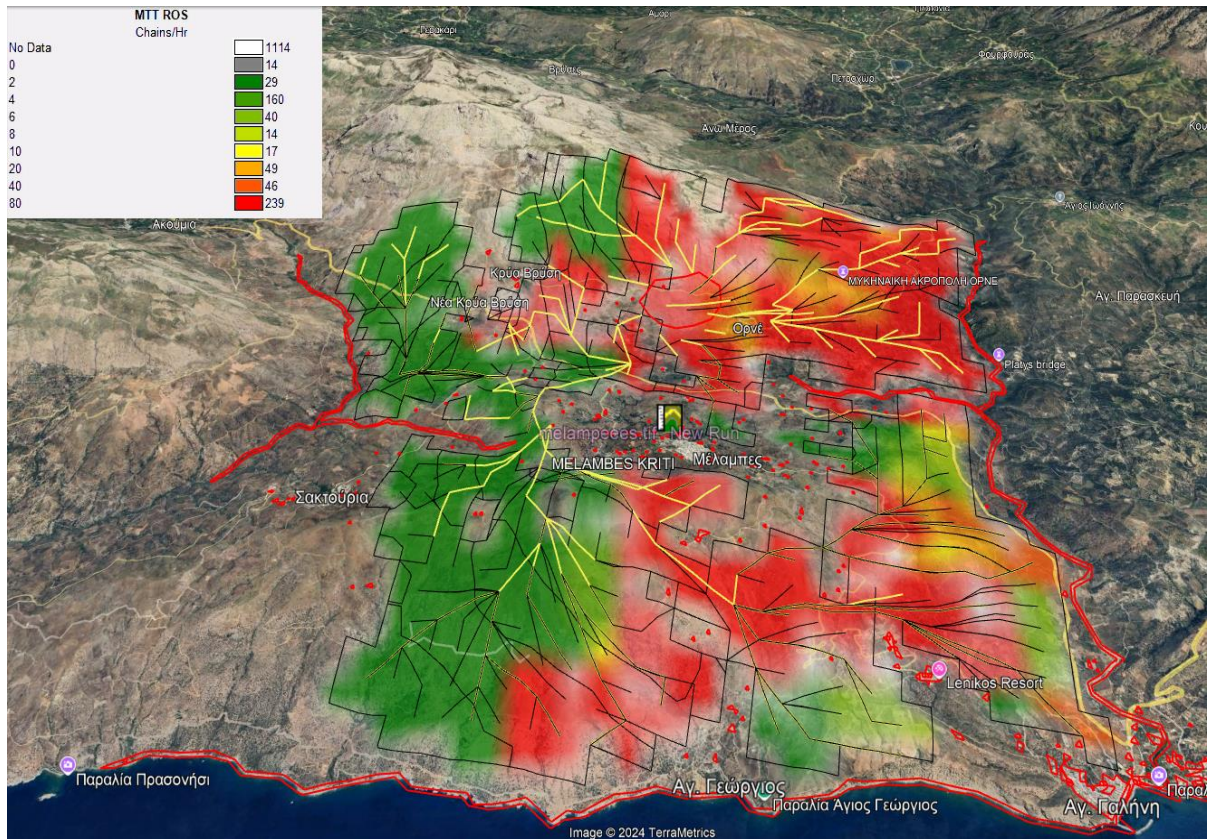
Εικόνα 3.8 Απεικόνιση MTT ROS για την 4η Ημέρα

3.6 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 5

Η πέμπτη ημέρα, κατά την οποία η φωτιά συνεχίζει να καίει, παρουσιάζεται στις παρακάτω δύο εικόνες, αποτυπώνοντας την πορεία της και τις περιοχές που επηρεάστηκαν κατά τη χρονική περίοδο 15-19/07/2022.



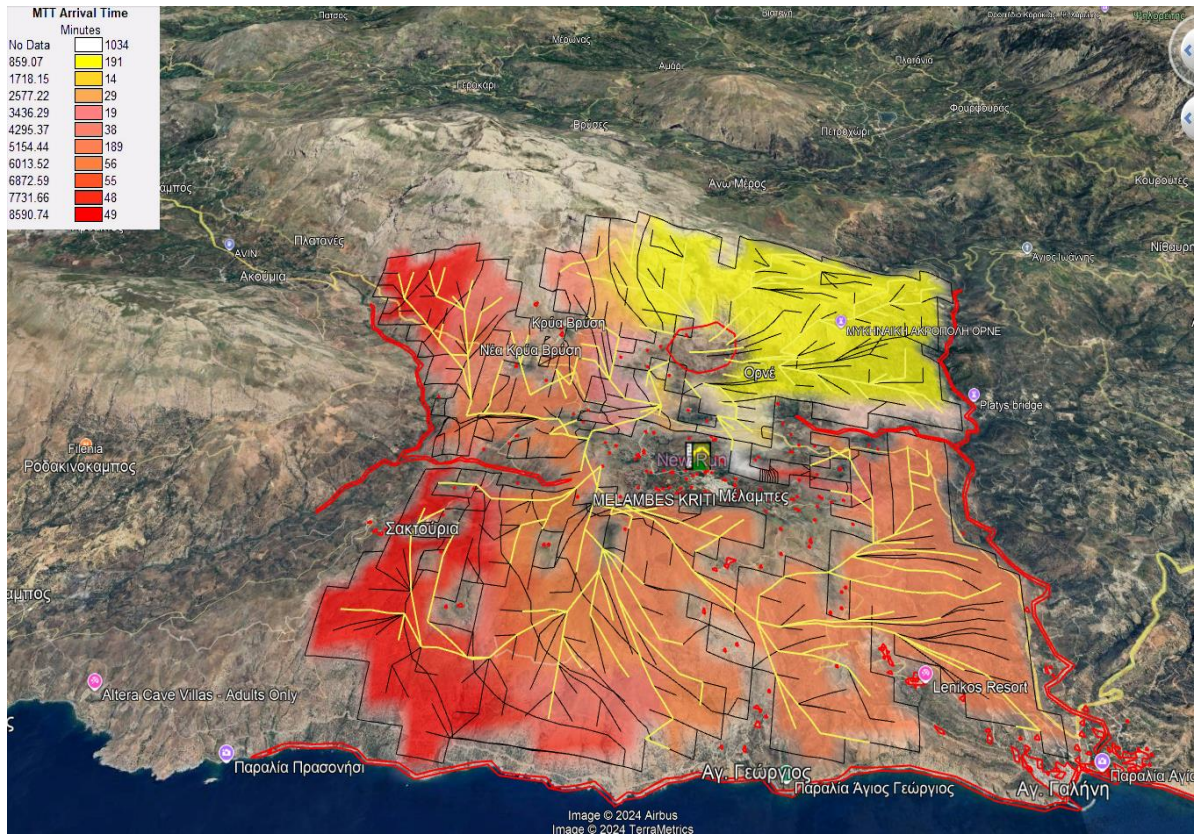
Εικόνα 3.9 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 5η Ημέρα



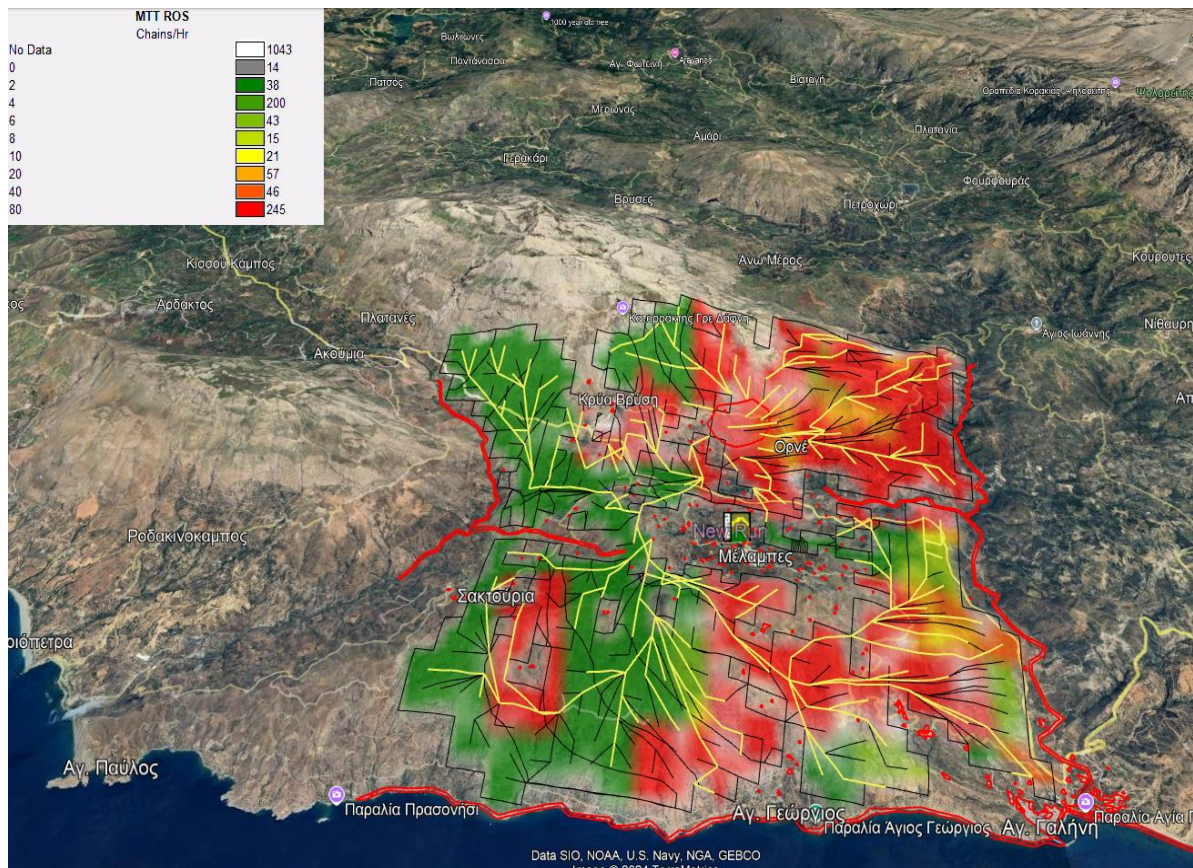
Εικόνα 3.10 Απεικόνιση MTT ROS για την 5η Ημέρα

3.7 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 6

Σε αυτό το σημείο, παρουσιάζονται οι εικόνες της προσομοίωσης της πυρκαγιάς, οι οποίες καλύπτουν το χρονικό διάστημα των έξι ημερών (15-20/07/2022). Μέσω αυτών των χαρτών, αναδεικνύονται οι επιπτώσεις της φωτιάς στη διάρκεια του εξαημέρου και οι παράγοντες που συνέβαλαν στη διάδοσή της, καθώς και τις περιοχές που επηρεάστηκαν.



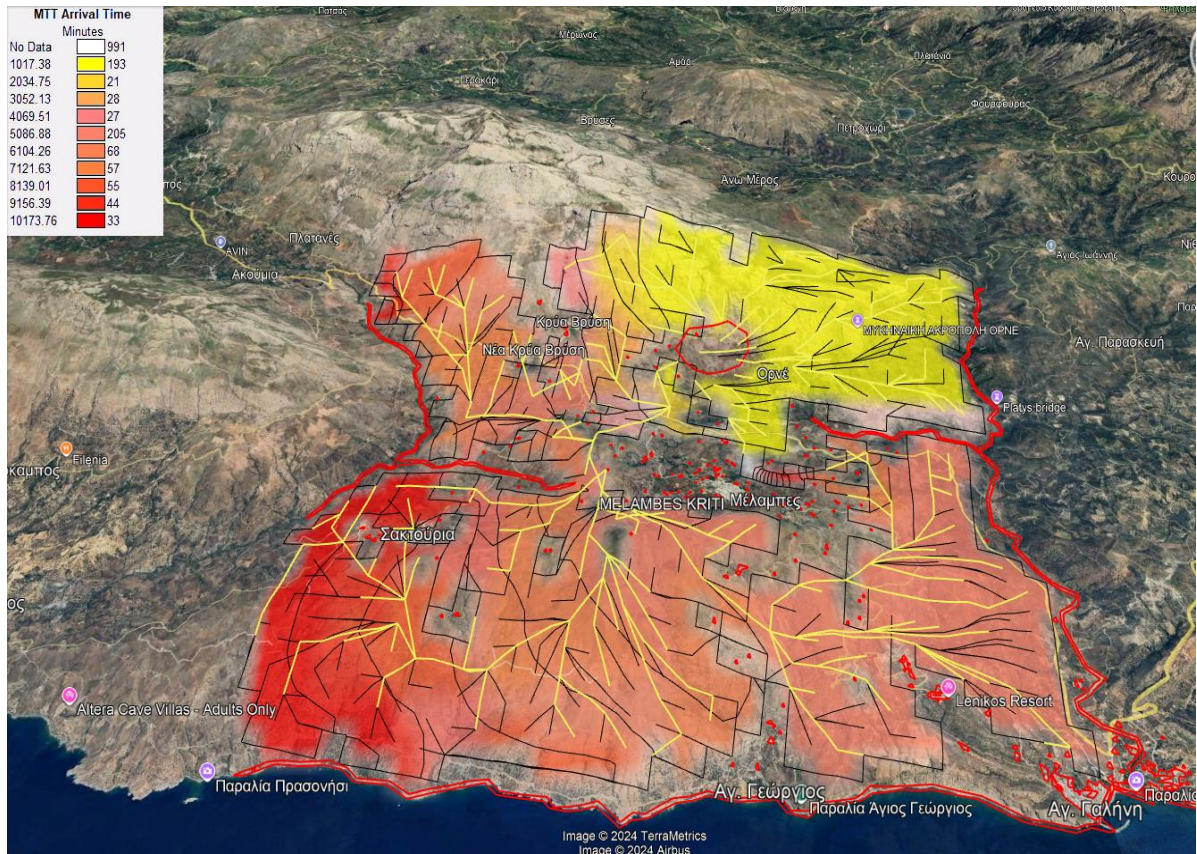
Εικόνα 3.11 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 6η Ημέρα



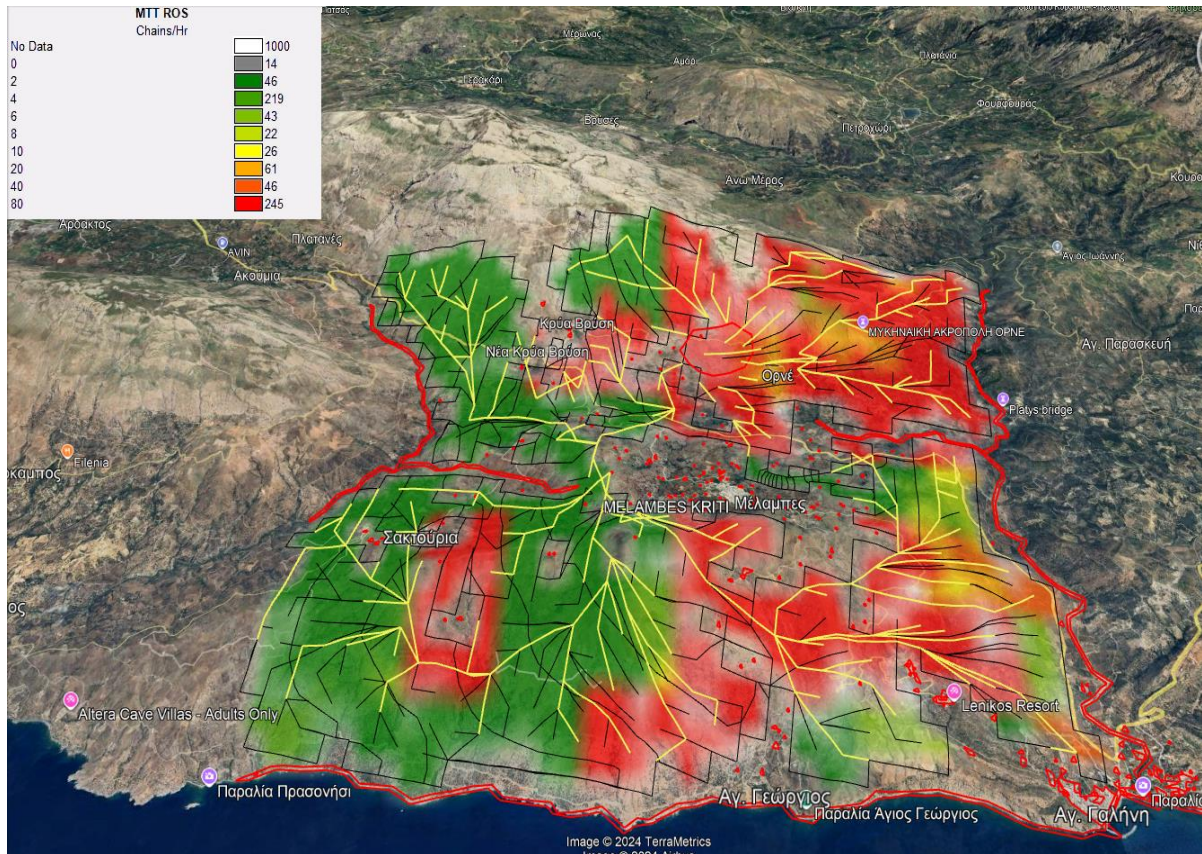
Εικόνα 3.12 Απεικόνιση MTT ROS για την 6η Ημέρα

3.8 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 7

Η έβδομη ημέρα, με τη σειρά της, αποτυπώνει την περαιτέρω εξέλιξη της πυρκαγιάς στο χρονικό διάστημα 15-21/07/2022. Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η πορεία της φωτιάς, αναδεικνύοντας τις περιοχές που επηρεάστηκαν κατά την έβδομη ημέρα και την κλιμάκωση της καταστροφής στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 3.13 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 7η Ημέρα



Εικόνα 3.14 Απεικόνιση MTT ROS για την 7η Ημέρα

3.9 Παράμετροι Προσομοίωσης και Μετεωρολογικές Συνθήκες για την Εξέλιξη της Πυρκαγιάς

Σε αυτό το υποκεφάλαιο που ακολουθεί παρουσιάζεται ένας πίνακας που απεικονίζει τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση της εξέλιξης της πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια των 15 ημερών της μελέτης. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνονται δεδομένα σχετικά με την ανάλυση των υπολογισμών, τον μέγιστο χρόνο προσομοίωσης, καθώς και τις ρυθμίσεις που αφορούν τη χωρική αναζήτηση και την πιθανότητα μεταφοράς της φωτιάς μέσω σπινθήρων ή καυτρών από τον άνεμο, γνωστή ως spotting. Παράλληλα, καταγράφονται οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν, όπως η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία, οι οποίες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην εξάπλωση της φωτιάς.

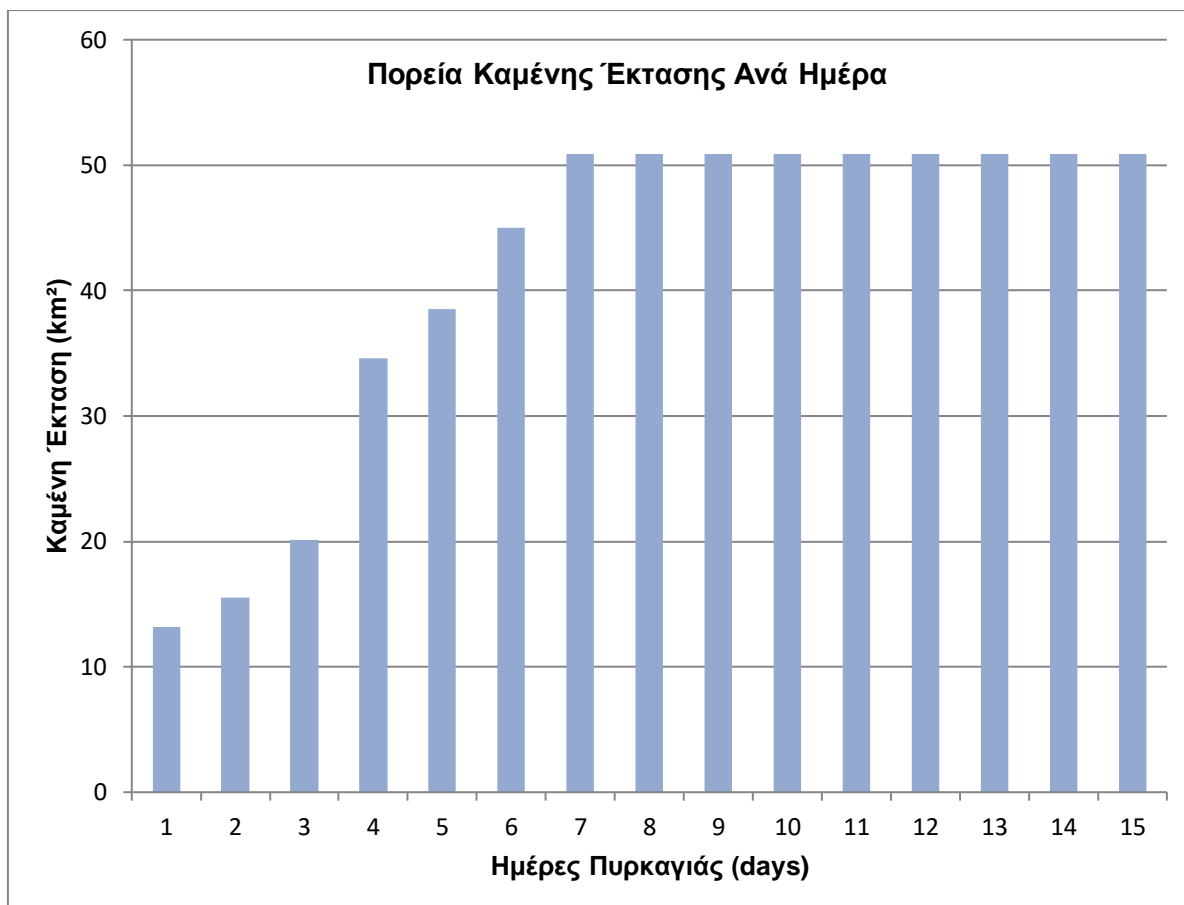
Πίνακας 3.1 Παράμετροι και μετεωρολογικές συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για τη μοντελοποίηση της εξέλιξης της πυρκαγιάς κατά τις 15 ημέρες της προσομοίωσης.

HMEPEΣ	Resolution of Calculations (m)	Maximum Simulation Time (min)	Interval for Minimum Travel Paths (m)	Spot Probability (%)	Spotting Delay (min)	Lateral Search Depths (m)	Vertical Search Depths (m)	Temperature (°C)	RH (%)
--------	--------------------------------	-------------------------------	---------------------------------------	----------------------	----------------------	---------------------------	----------------------------	------------------	--------

1	250	1440	500	0	0	6	4	20-26	33-75
2	250	2880	500	0	0	6	4	21-28	36-65
3	250	4320	500	0	0	6	4	22-31	19-73
4	250	5760	500	0	0	6	4	23-27	32-55
5	250	7200	500	0	0	6	4	19-24	44-78
6	250	8640	500	0	0	6	4	19-23	67-81
7	250	10080	500	0	0	6	4	19-25	46-80
8	250	11520	500	0	0	6	4	22-31	24-58
9	250	12960	500	0	0	6	4	24-28	30-54
10	250	14400	500	0	0	6	4	23-33	9-54
11	250	15840	500	0	0	6	4	28-33	16-42
12	250	17280	500	0	0	6	4	26-32	28-58
13	250	18720	500	0	0	6	4	24-30	12-43
14	250	20160	500	0	0	6	4	23-30	33-52
15	250	21600	500	0	0	6	4	22-28	33-67

3.10 Πορεία Καμένης Έκτασης κατά την Διάρκεια της Πυρκαγιάς (15 Ημέρες)

Τέλος, δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα που απεικονίζει την πορεία της καμένης έκτασης σε συνάρτηση με τις 15 ημέρες διάρκειας της πυρκαγιάς. Το διάγραμμα παρέχει μια πλήρη εικόνα για την εξέλιξη της φωτιάς και την έκταση της καμένης γης κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.



Διάγραμμα 3.1 Διάγραμμα Εξάπλωσης Καμένης Έκτασης στις 15 Ημέρες Πυρκαγιάς

3.11 Συνολικός Πίνακας Δεδομένων Πυρκαγιάς: Άνεμοι και Καμένη Έκταση

Επιπλέον, δημιουργήθηκε ένας συνολικός πίνακας που περιλαμβάνει δεδομένα σχετικά με την ταχύτητα και την κατεύθυνση των ανέμων, καθώς και την έκταση και το περίμετρο της καμένης γης. Ο πίνακας αυτός έχει ως σκοπό να προσφέρει μια πιο ολοκληρωμένη και ακριβή εικόνα για την πορεία της φωτιάς, σε συνδυασμό με το διάγραμμα.

Πίνακας 3.2 Πίνακας Δεδομένων Πυρκαγιάς: Ταχύτητα, Κατεύθυνση Ανέμων και Καμένη Έκταση

ΗΜΕΡΕΣ	Wind Speed (km/h)	Wind Direction	Έκταση Καμένης Γης (km ²)	Περίμετρος Καμένης Γης (km)
1	18-35	NNW,N,NW	13,2	21,2
2	18-42	NW,N,NNW	15,4	25,1
3	24-42	N,NNE,NNW,NW,NE	20,1	44
4	31-47	NE,NNE,N,NNW	34,6	67,1
5	29-48	N,NW,NNW	38,5	69,6
6	26-35	N,NNW,NW	45	63,4
7	21-39	NW,N,NNW	50,9	64,9

8	5-42	N,NNW,NW,E,ESE,SE	50,9	64,9
9	10-39	N,NW,NNWWNW	50,9	64,9
10	19-42	NW,NE,NNE,N,NNW	50,9	64,9
11	15-37	NE,NNE,N,NNW	50,9	64,9
12	15-37	NNE,N,NNW,WNW,NW	50,9	64,9
13	11-29	NNW,NW,N,NE	50,9	64,9
14	6-26	N,NNE,NE,NW	50,9	64,9
15	8-27	ENE,NNE,N,NNW,NW	50,9	64,9

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Ανάλυση της Πορείας της Πυρκαγιάς στο FlamMap

Στην παραπάνω ενότητα παρουσιάστηκαν περιληπτικά τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της πυρκαγιάς στις Μέλαμπες το 2022 με την χρήση του FlamMap ,για κάποιες από τις δεκαπέντε ημέρες ,που κράτησε η φωτιά, ξεχωριστά. Σε αυτό το μέρος της εργασίας, θα σχολιαστούν αναλυτικά και θα συγκριθούν με τα πραγματικά γεγονότα που εκτυλίχτηκαν την χρονιά αυτή. Επομένως, πρώτα θα σχολιαστούν μια-μια οι ημέρες της πυρκαγιάς.

Ξεκινώντας με την πρώτη ημέρα, όπως φαίνεται και στα αποτελέσματα (εικόνα 3.1,3.2), η φωτιά ξεκίνησε στην βορειοδυτική πλευρά του χωριού Ορνέ. Οι άνεμοι που επικρατούσαν την συγκεκριμένη περίοδο, που έφτασαν έως και τα 35 km/h και είχαν κατεύθυνση μεταξύ 0° και 338°, συνέβαλαν στη γρήγορη εξάπλωσή της προς τα ανατολικά, κυρίως προς ορεινές περιοχές. Παράλληλα, κάποιες εστίες κατευθύνθηκαν και προς τα βόρεια, ενώ λίγες προχώρησαν προς το νότο, δημιουργώντας ανησυχία ότι θα μπορούσαν να απειλήσουν και άλλα χωριά νότιας της περιοχής Ορνέ. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, την πρώτη ημέρα προσομοίωσης η πυρκαγιά να έχει κάψει σε μία περίμετρο 21,2 km και η έκταση καμένης γης να έχει φτάσει στα 13,2 km².

Την δεύτερη ημέρα τώρα, αφού η φωτιά επεκτάθηκε βόρεια σε βραχώδεις και αγώνες περιοχές (βουνό) και δεν είχε κάτι να κάψει, περιορίστηκε και κατευθύνθηκε δυτικά, με την βοήθεια του ανέμου πάντα που έφτασε έως και τα 42 km/h. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να κατευθυνθεί προς τους οικισμούς των χωριών Κρύα Βρύση και Νέα Κρύα Βρύση, θέτοντας τους σε κίνδυνο. Ο απολογισμός της δεύτερης ημέρα συνεχόμενης φωτιάς είχε 15,4 km² καμένης γης, σε μία περίμετρο των 25,1 km.

Η τρίτη ημέρα που ακολούθησε σύμφωνα με τα καιρικά δεδομένα δεν ευνόησε και τόσο την κατάσταση, μιας και η ταχύτητα του ανέμου δεν κατέβηκε πιο κάτω από τα νούμερα της προηγούμενης ημέρα, φτάνοντας πάλι έως και τα 42 km/h, με κατεύθυνση μεταξύ 0° και 338°. Αυτή η κατάσταση οδήγησε την πυρκαγιά να επεκταθεί και να περάσει κιόλας από τους οικισμούς των χωριών Κρύα Βρύση και Νέα Κρύα Βρύση, θέτοντας τους σε κίνδυνο. Η μανία του ανέμου όμως δεν σταμάτησε εκεί, αφού η φωτιά κατευθύνθηκε νότια, κυκλώνοντας το κοντινό χωριό των Μέλαμπων από τα ανατολικά και φτάνοντας αρκετά νότια από το προαναφερθέν χωριό. Αυτό είχε ως επακόλουθο, η φωτιά να θέσει σε κίνδυνο αγροτικές κατοικίες, αγροτικές εγκαταστάσεις, κτηνοτροφικές εγκαταστάσεις και εκκλησίες που βρίσκονταν εκεί γύρω. Επομένως, η κατάσταση που διαμορφώθηκε την τρίτη ημέρα ήταν η έκταση της γης που έχει καεί να σκαρφαλώσει στην τιμή των 20,1 km² και η περίμετρος να φτάνει στα 44 km.

Συνοψίζοντας, η πορεία της πυρκαγιάς σύμφωνα με την προσομοίωση στο FlamMap για τις τρεις πρώτες ημέρες φαίνεται να έχει μια σταδιακή αύξηση και αυτό μπορεί να διαπιστωθεί ανατρέχοντας στο διάγραμμα 3.1 για την πορεία της πυρκαγιάς που βρίσκεται στα αποτελέσματα. Το διάγραμμα 3.1 λοιπόν παρουσιάζει ένα ποσοστό αύξησης καμένης γης του 16,7 % από την πρώτη ημέρα έως την δεύτερη και από την δεύτερη ημέρα μέχρι την τρίτη το ποσοστό καμένης γης έχει αύξηση της τάξεως του 30,5 %, εμφανώς μεγαλύτερο λόγω της αύξησης των ανέμων στο διάστημα αυτό. Άρα, από την ημέρα που ξεκίνησε η φωτιά μέχρι την τρίτη ημέρα, η έκταση που έχει πληγεί από την πυρκαγιά έχει αυξηθεί κατά 52,3 %, αρκετά σημαντικό ποσό όπου μπορεί να φανεί και από το διάγραμμα.

Μετά την πορεία της πυρκαγιάς που έφτασε μέχρι το χωριό Μέλαμπες και λίγο νοτιότερα τις τρεις πρώτες ημέρες, η φωτιά την τέταρτη ημέρα επεκτάθηκε προς όλες τις

κατευθύνσεις ,εκτός από τον βορρά, όπου βρίσκεται βραχώδης και άγονη έκταση. Αναλυτικότερα, το πύρινο μέτωπο που υπήρχε στα χωριά Κρύα Βρύση και Νέα Κρύα Βρύση επεκτάθηκε ελαφρώς νοτιοδυτικά του χωριού Νέα Κρύα Βρύση, καίγοντας δασικές εκτάσεις. Νοτιοδυτικά του χωριού Μέλαμπες, η πορεία της φωτιάς ήταν τόσο γρήγορη και εκτεταμένη που σχεδόν έφτασε λίγα μέτρα πριν από τη θάλασσα, ενώ νοτιοανατολικά του ίδιου χωριού, το μέτωπο ήταν εξίσου μεγάλο και καταστροφικό, καθώς κατέληξε σε κοντινή απόσταση από την παραλία του Άγιου Γεωργίου του ομώνυμου χωριού. Επιπλέον, από την νοτιοανατολική πλευρά του χωριού Ορνέ, όπου ξεκίνησε και η πυρκαγιά, η φωτιά χάραξε πορεία προς τον νότο και έφτασε έξω από το παραθαλάσσιο χωριό της Αγίας γαληνης, θέτοντας το σε κίνδυνο, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όταν φιλοξενούσε πολλούς τουρίστες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, στον απολογισμό της τέταρτης ημέρας η έκταση της καμένης γης να έχει φτάσει στα 34,6 km² σε μία περίμετρο των 67,1 km. Τα καιρικά δεδομένα εκείνης της ημέρας, που οδήγησαν σε αυτό το μεγάλο πλήγμα με την μεγάλη καμένη έκταση, περιλάμβαναν την ταχύτητα του ανέμου, η οποία έφτασε έως τα 47 km/h και δεν έπεσε κάτω από τα 31 km/h, με κατεύθυνση μεταξύ 0° και 338°. Ανατρέχοντας στο διάγραμμα 3.1 των αποτελεσμάτων, η μεγάλη αυτή αύξηση των καμένων τετραγωνικών χιλιομέτρων είναι φανερή, καθώς την τρίτη ημέρα έχουν καεί περίπου 20 km² και την τέταρτη ημέρα βλέπουμε να έχει φτάσει τιμή αυτή πάνω από τα 34 km², οδηγώντας σε ένα ποσοστό αύξησης της τάξεως του 72,14%.

Την πέμπτη ημέρα συνεχόμενης φωτιάς, η κατάσταση της πορείας της πυρκαγιάς είναι σταθερή, καθώς κινείται προς τον νότο και προς την δύση μιας και στον βορά δεν υπάρχει κάτι να κάψει, ενώ στην ανατολή έχει περιοριστεί λόγω φυσικών εμποδίων. Η εξέλιξη της φωτιάς προς τη δύση ήταν πιο εκτεταμένη καθώς προχωρούσε από το χωριό των Μέλαμπων δυτικά προς το χωριό Σακτούρια και ταυτόχρονα οδηγήθηκε και προς τα νοτιοδυτικά καταλήγοντας κοντά στα νότια παράλια του νησιού, καίγοντας μεγάλες εκτάσεις ελαιόδεντρων. Λίγο βορειότερα του χωριού Σακτούρια, το μέτωπο των χωριών Κρύα Βρύση και Νέα Κρύα Βρύση επεκτάθηκε δυτικότερα, σε μικρότερο βεβαίως βαθμό, καίγοντας δασικές εκτάσεις. Τέλος, ανατολικά παρατηρείται μία νέα μικρή έκταση, νότια του χωριού Ορνέ και ανατολικά του χωριού Μέλαμπες, να έχει πληγεί, καταστρέφοντας ελαιόδεντρα. Η πέμπτη συνεχόμενη ημέρα φωτιάς είχε ως επακόλουθο, να έχει πλήξει μέχρι τότε, 38,5 km² σε μία περίμετρο καμένης γης των 69,6 km. Η ταχύτητα του ανέμου που επικράτησε εκείνη την ημέρα είχε εύρος από 29 έως 48 km/h, με κατεύθυνση μεταξύ 0° και 338°. Καταλήγοντας, όπως μπορεί κάποιος να δει και στο παραπάνω διάγραμμα της πορείας της καμένης έκτασης ανά ημέρα, η πληγείσα έκταση δεν έχει αυξηθεί κατά πολύ, καθώς παρατηρείται μία αύξηση της τιμής του 11,3 %.

Διανύοντας την έκτη ημέρα, η φωτιά συνεχίζει να καίει, όπου εξαιτίας της κατεύθυνσης του ανέμου και της καύσιμης ύλης στην περιοχή, φαίνεται να κατευθύνεται δυτικά. Τα μέτωπα που φαίνεται να συνεχίζουν την πορεία τους την χρονική περίοδο αυτή είναι τρία :

- Το μέτωπο στα χωριά Κρύα Βρύση και Νέα Κρύα Βρύση
- Το μέτωπο κοντά στο χωριό Σακτούρια
- Ένα άλλο μικρό μέτωπο ανατολικά του χωριού Μέλαμπες.

Το πρώτο μέτωπο (Κρύα Βρύση και Νέα Κρύα Βρύση) κινήθηκε βορειοδυτικά προς τα χωριά Ακούμια και Πλατανές, το δεύτερο μέτωπο που πλησίαζε τα Σακτούρια, την έκτη μέρα κύκλωσε το χωριό και συνέχισε την διαδρομή του προς το νότο αλλά και την δύση. Τέλος, το τρίτο μέτωπο κοντά στις Μέλαμπες, κινήθηκε και αυτό δυτικά, πλησιάζοντας και θέτοντας σε κίνδυνο ξανά το χωριό. Την συγκεκριμένη ημέρα παρατηρείται μία μείωση στην ταχύτητα του ανέμου, καθώς είχε εύρος από τα 26 km/h έως τα 35 km/h και κατεύθυνση μεταξύ 0° και 338°. Ως εκ τούτου, έπειτα από έξι ολόκληρες μέρες πύρινης καταστροφής, το νησί έχει μία καταστροφή 45 km² και μία καμένη περίμετρο 63,4 km. Η μείωση της περιμέτρου που παρατηρείται σε σχέση με την προηγούμενη ημέρα, παρά το γεγονός ότι έχουν καεί περισσότερα τετραγωνικά χιλιόμετρα, μπορεί να εξηγηθεί από αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου, που είχε ως αποτέλεσμα να πληγούν περιοχές

εντός της περιμέτρου που δεν είχαν καεί τις προηγούμενες ημέρες. Ολοκληρώνοντας, με μία αναδρομή στο διάγραμμα 3.1, διαπιστώνεται μία άνοδος του ποσοστού καμένης έκτασης της τάξεως του 16,88 %.

Την έβδομη ημέρα σύμφωνα με την προσομοίωση, παρατηρείται μία ελάττωση στην μανία της φωτιάς που είχε επικρατήσει τις τρεις πρώτες ημέρες. Πιο διεξοδικά, το μέτωπο που επικρατούσε στα Σακτούρια, συνέχισε την εξάπλωση του προς τα δυτικά φτάνοντας και προσπερνώντας το επόμενο κοντινό χωριό των Κάτω Σακτουριών, ενώ προς τα νότια η φωτιά διαχύθηκε μέχρι την θάλασσα και πλησίασε μέχρι το παρεκκλήσι του Αγίου Μάρκου. Το μέτωπο των χωριών Κρύα Βρύση και Νέα Κρύα Βρύση παρέμεινε στάσιμο και το άλλο μέτωπο στα ανατολικά, νότια του Ορνέ, συνέχισε να πλησιάζει τις Μέλαμπες από τα βορειοανατολικά, απειλώντας τις. Η φωτιά, με τη βοήθεια του ανέμου που είχε ταχύτητα από 21 έως 39 km/h και κατεύθυνση από 0° έως 338°, κατάφερε να κάψει εκτεταμένες εκτάσεις ελαιόδεντρων, φτάνοντας την έκταση της καμένης γης στα 50,9 km², με περίμετρο 64,9 km. Καταλήγοντας, μια ανασκόπηση στο διάγραμμα σχετικά με τη διαδρομή της πυρκαγιάς δείχνει μια αύξηση της πληγείσας έκτασης από τα 45 στα 50,9 km², σημειώνοντας μια αύξηση της τάξης του 13,11% σε περίοδο μιας ημέρας. Τώρα, αν συγκριθεί η καμένη γη μεταξύ της πρώτης και της έβδομης ημέρας, διαπιστώνεται ποσοστιαία αύξηση περίπου 285,61%, που σημαίνει ότι η νέα τιμή είναι σχεδόν τρεις φορές μεγαλύτερη από την αρχική. Αυτή η αύξηση είναι αρκετά μεγάλη και υποδηλώνει μια εντυπωσιακή επέκταση της προσομοιωμένης πυρκαγιάς σε ένα διάστημα εφτά ημερών.

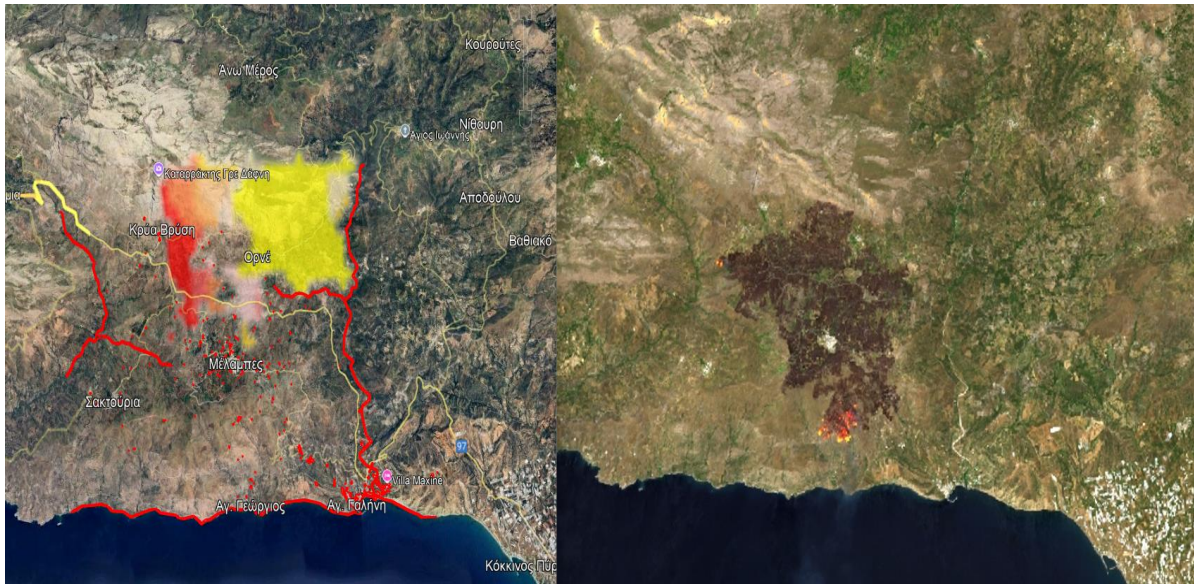
Οδύοντας στην όγδοη ημέρα προσομοίωσης του λογισμικού FlamMap, παρατηρείται κάτι αναπάντεχο στους χάρτες που εξήχθησαν. Παρόλο που εισήχθησαν νέα καιρικά δεδομένα για την όγδοη ημέρα, όπως και τις προηγούμενες φορές, οι χάρτες της προσομοίωσης ήταν ακριβώς ίδιοι με αυτούς της προηγούμενης ημέρας. Αυτό σημαίνει πως η καμένη έκταση και περίμετρος, όπως διαπιστώθηκε, δεν είχαν μεταβληθεί, παραμένοντας ίδιες. Μια λογική εξήγηση για αυτό το γεγονός είναι ότι μετά τις επτά ημέρες, η περιοχή μελέτης που είχε οριστεί στο πρόγραμμα, σε συνδυασμό με τα φυσικά εμπόδια που είχαν εισαχθεί, δεν υπήρχε πλέον άλλη καύσιμη ύλη για να καεί. Ανατρέχοντας στο διάγραμμα 3.1 των αποτελεσμάτων, μπορεί να διαπιστωθεί ότι η ίδια κατάσταση ίσχυε και για τις επόμενες ημέρες που ακολούθησαν, μέχρι και την τελευταία, την 15η. Επομένως, το λογισμικό του FlamMap, από την όγδοη έως τη δέκατη πέμπτη ημέρα, δεν είχε άλλη έκταση να κάψει και παρέμεινε στάσιμο, με την έκταση της καμένης γης να παραμένει 50,9 km², με περίμετρο 64,9 km.

4.2 Σύγκριση Προσομοίωσης και Πραγματικής Εξέλιξης Πυρκαγιάς

Στο επόμενο κομμάτι του κεφαλαίου, πραγματοποιείται μία σύγκριση της καμένης γης ανάμεσα στην προσομοίωση του FlamMap και την πραγματική εξέλιξη της πυρκαγιάς. Αυτό θα γίνει μέσω της σύγκρισης χαρτών καμένης έκτασης, μιας και υπάρχουν μερικοί χάρτες του συγκεκριμένου συμβάντος στο διαδίκτυο.

4.2.1 Σύγκρισης Προσομοίωσης Πυρκαγιάς με δεδομένα από δορυφόρο τη 2^η Ημέρα

Αρχικά, η πρώτη εικόνα χάρτη που βρέθηκε, αφορά την κατάσταση της φωτιάς την δεύτερη ημέρα αφότου ξέσπασε, δηλαδή στις 16/07/2022. Η πληροφορία αυτή αντλήθηκε από την ιστοσελίδα του Sentinel Monitoring της περιφέρειας Κρήτης, που ουσιαστικά είναι μια πρωτοβουλία που αξιοποιεί δεδομένα από τους δορυφόρους Sentinel του προγράμματος Copernicus της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την παρακολούθηση και διαχείριση φυσικών και περιβαλλοντικών δεδομένων (Sentinel Monitoring, Περιφέρεια Κρήτης).

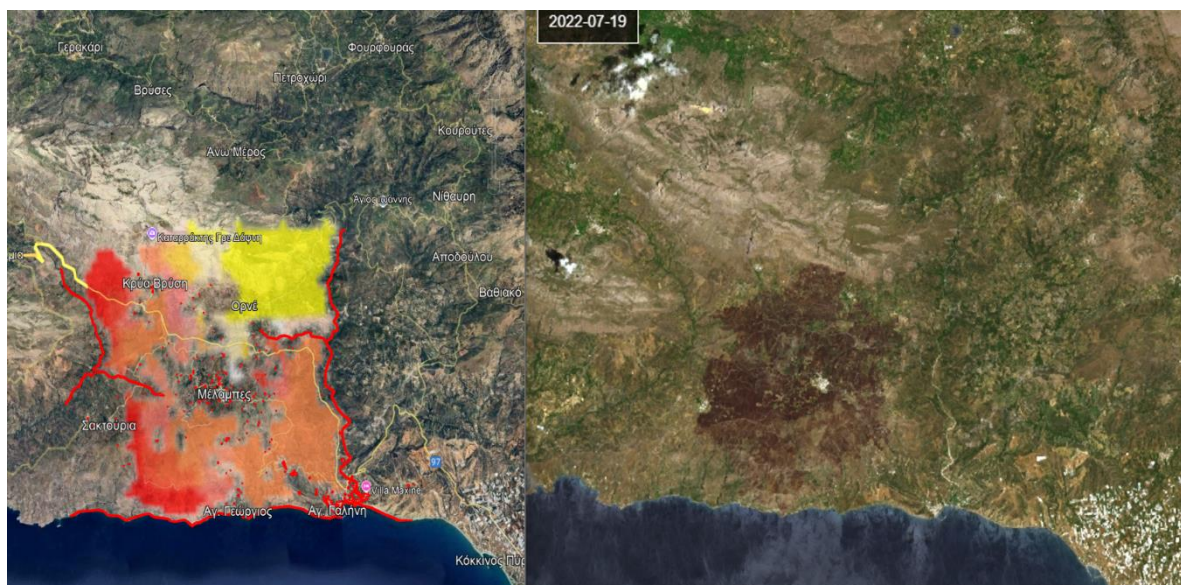


Εικόνα 4.1 Σύγκριση Εξέλιξης της Πυρκαγιάς την 2η Ημέρα της πυρκαγιάς. Προσομοίωση (αριστερά) και δορυφορική απεικόνιση (δεξιά)

Στην εικόνα 4.1 διαπιστώνονται κάποιες διαφορές σχετικά με την πορεία της πυρκαγιάς. Πιο αναλυτικά, στην προσομοίωση που εμφανίζεται στην αριστερή πλευρά, η φωτιά φαίνεται, κατά τις δύο πρώτες ημέρες, να έχει επεκταθεί βορειότερα από την πραγματική πυρκαγιά (δεξιά πλευρά), με αποτέλεσμα να φτάνει μέχρι το βουνό. Επίσης, στην προσομοίωση, η πυρκαγιά εντοπίζεται να έχει πραγματοποιήσει μία εξάπλωση ανατολικά του σημείου εκκίνησης της φωτιάς (Ορνέ), ενώ αυτό δεν φαίνεται στο πραγματικό συμβάν. Το μέτωπο που βρίσκεται στα χωριά Κρούα Βρύση και Νέα Κρούα Βρύση, εντοπίζεται να μην έχει αναπτυχθεί τόσο δυτικά των χωριών, όσο στην πραγματικότητα και ακόμα η έκταση ανάμεσα στα χωριά Κρούα Βρύση και Ορνέ εμφανίζεται περισσότερο καμένη στην πραγματικότητα σε σχέση με την προσομοίωση. Τέλος, η φωτιά που πραγματοποιήθηκε το καλοκαίρι του 2022 σημειώνεται να έχει διανύσει παραπάνω χιλιόμετρα προς τον νότο σε σχέση με την προσομοίωση. Με άλλα λόγια, η πραγματική φωτιά, τις πρώτες δύο ημέρες, εντοπίζεται να έχει κυκλώσει το χωριό Μέλαιμπες άλλα και να το έχει προσπεράσει πηγαίνοντας νοτιότερα.

4.2.2 Ανάλυση Σύγκρισης Πυρκαγιάς: Προσομοίωση και Πραγματικά Γεγονότα για τη 3η Ημέρα

Μία άλλη ημερομηνία για την οποία υπάρχουν στοιχεία από δορυφόρο, είναι η τρίτη ημέρα φωτιάς (17/07/2022), δηλαδή λίγες ώρες αργότερα από την εικόνα 4.1. Οι πληροφορίες αντλήθηκαν από την ιστοσελίδα Copernicus Emergency Management Service – Mapping, που είναι μια υπηρεσία του ευρωπαϊκού προγράμματος Copernicus που παρέχει ταχεία χαρτογράφηση και ανάλυση σε περιπτώσεις εκτάκτων αναγκών (Copernicus Emergency Management Service, n.d.). Όπως παρατηρείται στην παρακάτω εικόνα 4.2, η πραγματική φωτιά ξεπερνά ελάχιστα την περιοχή του χωριού Ορνέ από την βόρεια πλευρά. Αντιθέτως στην προσομοίωση παρατηρείται να έχει εξελιχτεί ένα μεγάλο μέτωπο βορειοανατολικά του Ορνέ, που δεν υπάρχει στην πραγματικότητα κατά την τρίτη ημέρα πυρκαγιάς. Επιπλέον, ένα αντίστοιχο περιστατικό φαίνεται να συμβαίνει και βόρεια του χωριού Κρούα Βρύση, όπου έρχεται σε αντίθεση – απόκλιση με την πραγματικότητα. Επίσης, διαφορές παρατηρούνται στην περιοχή ανάμεσα στα χωριά Ορνέ και Κρούα Βρύση, όπου στην πραγματική φωτιά έχουν καεί μεγαλύτερες εκτάσεις την συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Μία άλλη εμφανής διαφορά που παρατηρείται από τη δεύτερη ημέρα της



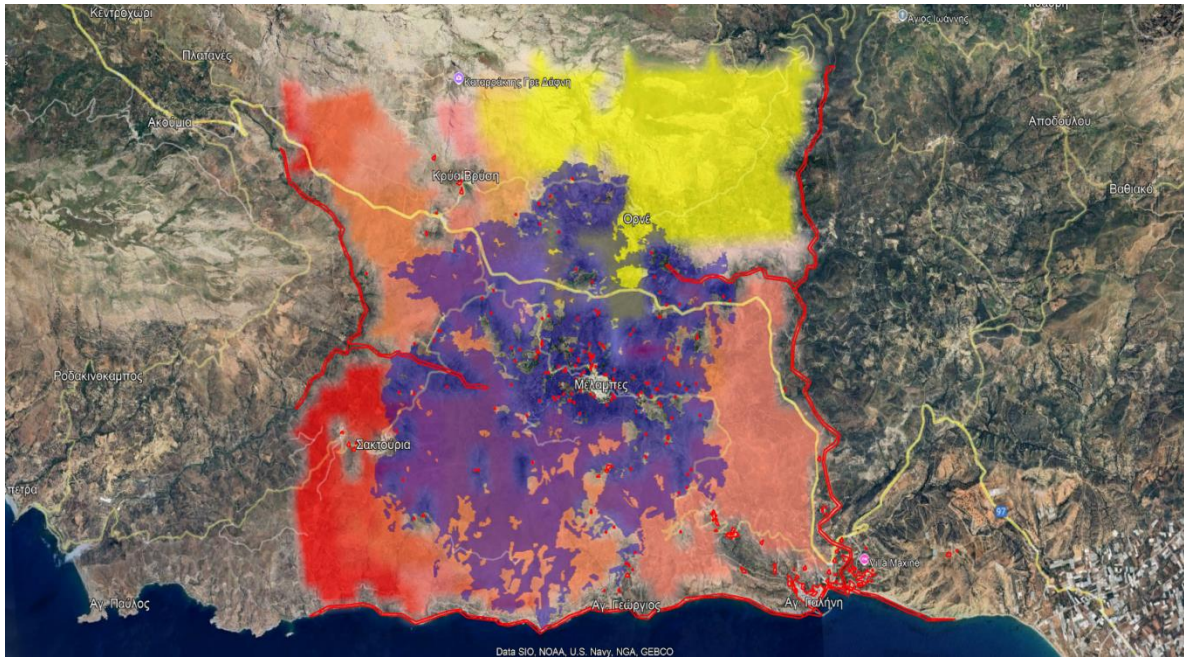
Εικόνα 4.3 Προσομοίωση και Πραγματικότητα: Σύγκριση Εξέλιξης της Πυρκαγιάς την 5η Ημέρα. Προσομοίωση (αριστερά) και δορυφορική απεικόνιση (δεξιά)

Στην εικόνα 4.3, παρατηρείται ότι οι διαφορές έχουν μειωθεί σε σύγκριση με τις προηγούμενες εικόνες. Εδώ πάλι παρατηρείται, όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, βορειοανατολικά του χωριού Orné η μοντελοποίηση της φωτιάς να έχει επεκταθεί παραπάνω. Το ίδιο πραγματοποιείται και για τα μέτωπα που έχουν δημιουργηθεί βόρεια του χωριού Krýa Brúση, που στην πραγματικότητα η φωτιά δεν είχε επεκταθεί τόσο. Επίσης, στην περιοχή ανάμεσα στα χωριά Orné και Krýa Brúση και τριγύρω από τις Μέλαμπες διαπιστώνεται μια διαφορά καμένων εκτάσεων. Μία τελευταία διαφορά που παρατηρείται είναι ότι, στην προσομοίωση, η πυρκαγιά έχει επεκταθεί νοτιοανατολικά του χωριού Μέλαμπες, πλησιάζοντας περισσότερο τις περιοχές Άγιος Γεώργιος και Αγία Γαλήνη.

Μέχρι στιγμής, οι πληροφορίες που έχουν συγκεντρωθεί για την εικόνα της πορείας της πυρκαγιάς αφορούν τις ημερομηνίες 16/07, 17/07 και 19/07. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, αυτές οι ημερομηνίες περιλαμβάνονται στο εύρος των πρώτων πέντε ημερών, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς οι πρώτες ημέρες ήταν οι πιο καθοριστικές για την πορεία της συγκεκριμένης πυρκαγιάς.

4.2.4 Ανάλυση Σύγκρισης Πυρκαγιάς: Προσομοίωση και Πραγματικά Γεγονότα για τη 15η Ημέρα

Η σημαντικότερη δορυφορική εικόνα που απαιτείται για την ορθή σύγκριση μεταξύ της προσομοίωσης και της πραγματικότητας ενός τέτοιου γεγονότος, ώστε να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε, είναι η τελική πορεία της πυρκαγιάς μετά την κατάσβεσή της. Επομένως, η τελευταία διαθέσιμη πληροφορία σχετικά με την εξέλιξη της πυρκαγιάς κατά τη διάρκεια των 15 ημερών που διήρκεσε αφορά τη συνολική έκταση που κατάφερε να κάψει. Αναλυτικότερα, η δορυφορική εικόνα της τελευταίας ημέρας (29/07/2022), μετά την πλήρη κατάσβεση της πυρκαγιάς, ανακτήθηκε από την ιστοσελίδα που αντλήθηκε και η δορυφορική εικόνα 4.1 (Corpernicus Emergency Management Service, n.d.). Παρακάτω παρουσιάζεται η εικόνα που περιέχει την πραγματική και την πυρκαγιά προσομοίωσης της 15ης ημέρας, με σκοπό να παρατηρηθούν διαφορές.



Εικόνα 4.4 Προσομοίωση και Πραγματικότητα: Σύγκριση Εξέλιξης της Πυρκαγιάς την 15η Ημέρα. Προσομοίωση (πράσινο περίγραμμα) και δορυφορική απεικόνιση (μπλε έκταση)

Αυτό που μπορεί να γίνει κατανοητό με μια γρήγορη ματιά στην εικόνα 4.4 είναι ότι η προσομοίωση καλύπτει μεγαλύτερη έκταση από την πραγματική πυρκαγιά. Λεπτομερέστερα, το μέτωπο που ξεκίνησε στο χωριό Ορνέ, φαίνεται στην μοντελοποίηση να έχει ξεφύγει βορειότερα και ανατολικότερα. Επίσης, παρατηρείται μια βόρεια εξάπλωση προς το χωριό Κρούα Βρύση και ένα κενό τριγύρω από τις Μέλαμπες που δεν συμβαδίζει με το πραγματικό γεγονός. Μία ακόμη διαφορά που διαπιστώνεται είναι το μέτωπο ανατολικά του χωριού Μέλαμπες, το οποίο στην προσομοίωση φαίνεται να έχει εξαπλωθεί περισσότερο, φτάνοντας κοντά στην Αγία Γαλήνη, γεγονός που στην πραγματικότητα δεν συνέβη. Τέλος, μια άλλη διαφορά είναι ότι στην προσομοίωση φαίνεται μεγαλύτερη εξάπλωση νοτιοδυτικά από τα Σακτούρια.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Εισαγωγή στην Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Προσομοίωσης

Σε αυτό το σημείο της εργασίας, έχει ολοκληρωθεί η μοντελοποίηση της πυρκαγιάς, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της πορείας εξάπλωσής της και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με τα δεδομένα της πραγματικής πυρκαγιάς. Το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και των αποκλίσεων σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα, καθώς και την ανάλυση των παραγόντων που οδήγησαν σε αυτές τις αποκλίσεις, με σκοπό την αξιολόγηση της ακρίβειας, της αξιοπιστίας και των περιορισμών του λογισμικού FlamMap.

Συνεπώς, προς σχολιασμό παρατίθενται τέσσερις ημερομηνίες, κατά τις οποίες εντοπίστηκαν δορυφορικές εικόνες που σχετίζονται με την πραγματική πυρκαγιά: 16/7, 17/7, 19/7 και 29/7. Αυτό που ακολούθησε ήταν ο υπολογισμός, κατά προσέγγιση, της καμένης έκτασης με τη βοήθεια του Google Earth Pro, αξιοποιώντας τόσο τις δορυφορικές εικόνες όσο και τις εικόνες προσομοίωσης. Το Google Earth Pro είναι ένα ισχυρό εργαλείο που επιτρέπει την ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων, τη δημιουργία χαρτών από δορυφορικές εικόνες και την ανάλυση τους. Υποστηρίζει τη διαδικασία ανάλυσης πυρκαγιών, επιτρέποντας τη λήψη και επεξεργασία δορυφορικών εικόνων για τον προσδιορισμό της καμένης έκτασης (Google Earth Pro, 2025).

5.1.1 Σύγκριση και υπολογισμός της απόκλισης μεταξύ προσομοίωσης και πραγματικής καμένης έκτασης για την ημερομηνία 16/7

Στις 16/7, η πυρκαγιά στις Μέλαμπες έκαιγε για δεύτερη συνεχόμενη ημέρα, με αποτέλεσμα η καμένη έκταση να φτάσει τα 15.900,0 στρέμματα. Αντίθετα, η φωτιά που προσομοιώθηκε στο FlamMap για την ίδια χρονική περίοδο, έδωσε αποτελέσματα καμένης έκτασης 15.400,0 στρέμματα.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, παρατηρείται μια μικρή απόκλιση, με αποτέλεσμα η καμένη έκταση από την προσομοίωση και τη δορυφορική εικόνα να είναι σχετικά κοντά, με την προσομοίωση να έχει πλήξει ελαφρώς μικρότερη έκταση. Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός αυτής της μικρής απόκλισης για την καλύτερη αξιολόγηση της ακρίβειας της προσομοίωσης:

- **Διαφορά = Προσομοίωση - Πραγματική Καμένη Έκταση**
Διαφορά = 15.400,0 στρέμματα - 15.900,0 στρέμματα = -500,0 στρέμματα

Η διαφορά αυτή καταδεικνύει ότι η προσομοίωση υπερεκτίμησε την καμένη έκταση κατά 500,0 στρέμματα.

Για την έκφραση της απόκλισης σε ποσοστό, υπολογίζεται η ποσοστιαία διαφορά ως εξής:

- **Ποσοστιαία Απόκλιση = (Διαφορά / Πραγματική Καμένη Έκταση) × 100**
Ποσοστιαία Απόκλιση = (-500,0 / 15.900,0) × 100 ≈ 3,14%

Η ποσοστιαία απόκλιση είναι περίπου **3,14%**, γεγονός που υποδεικνύει ότι η προσομοίωση εκτίμησε την καμένη έκταση με μια μικρή διαφορά από την πραγματικότητα. Μια τόσο μικρή απόκλιση θεωρείται πολύ ικανοποιητική, καθώς ενισχύει την αξιοπιστία του μοντέλου προσομοίωσης και αποδεικνύει τη χρησιμότητά του στη μελέτη και την πρόβλεψη πυρκαγιών.

5.1.2 Σύγκριση και υπολογισμός της απόκλισης μεταξύ προσομοίωσης και πραγματικής καμένης έκτασης για την ημερομηνία 17/7

Η επόμενη ημερομηνία για την οποία υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες είναι η 17/7. Μέχρι εκείνη την ημέρα, η φωτιά έκαιγε ήδη για τρεις συνεχόμενες ημέρες, με την πληγείσα έκταση να έχει φτάσει τα 18.000,0 στρέμματα. Πρόκειται για μια σημαντική αύξηση στη συνολική καμένη περιοχή, κάτι που αποτυπώνει την ένταση και την ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Από την άλλη πλευρά, η προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε στο FlamMap για την ίδια χρονική περίοδο εκτίμησε την καμένη έκταση σε 20.100,0 στρέμματα.

Η συγκεκριμένη εκτίμηση καταδεικνύει ότι η προσομοίωση υπολόγισε μια μεγαλύτερη πληγείσα περιοχή σε σύγκριση με την πραγματική καταγραφή, κάτι που οδηγεί στην περαιτέρω αξιολόγηση της ακρίβειας του μοντέλου. Για να γίνει αυτό, θα ακολουθήσει ο υπολογισμός της απόκλισης μεταξύ της πραγματικής καμένης έκτασης:

- **Διαφορά = Προσομοίωση - Πραγματική Καμένη Έκταση**
Διαφορά = 20.100,0 στρέμματα - 18.000,0 στρέμματα = 2.100,0 στρέμματα

Η διαφορά αυτή δείχνει ότι η προσομοίωση εκτίμησε την καμένη έκταση κατά 2.100,0 στρέμματα μεγαλύτερη από την πραγματική.

Για την έκφραση της απόκλισης σε ποσοστό, υπολογίζεται η ποσοστιαία διαφορά ως εξής:

- **Ποσοστιαία Απόκλιση = (Διαφορά / Πραγματική Καμένη Έκταση) × 100**
Ποσοστιαία Απόκλιση = (2.100,0 / 18.000,0) × 100 ≈ 11,67%

Η ποσοστιαία απόκλιση είναι περίπου **11,67%**, γεγονός που φανερώνει ότι η προσομοίωση εκτίμησε την καμένη έκταση ελαφρώς υψηλότερη σε σύγκριση με την πραγματικότητα. Παρόλο που η απόκλιση δεν είναι αμελητέα, παραμένει σε αποδεκτά επίπεδα για την αξιολόγηση της ακρίβειας του μοντέλου, δεδομένων των παραγόντων που ενδέχεται να επηρεάζουν την προσομοίωση.

5.1.3 Σύγκριση και υπολογισμός της απόκλισης μεταξύ προσομοίωσης και πραγματικής καμένης έκτασης για την ημερομηνία 19/7

Η επόμενη ημερομηνία που ακολουθεί στην ανάλυση είναι η 19/7, καθώς υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες για την καμένη έκταση, καθώς και για την μοντελοποίηση και την πραγματική πληγείσα περιοχή. Η συγκεκριμένη ημέρα είναι η πέμπτη συνεχόμενη ημέρα της φωτιάς, με τον απολογισμό να καταγράφει καμένη έκταση 21.300,0 στρέμματα. Από την άλλη, στη μοντελοποίηση του FlamMap, η καμένη έκταση μέχρι εκείνη την ημέρα φτάνει τα 38.500,0 στρέμματα.

Από τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν, παρατηρείται μια σημαντική αύξηση στη διαφορά μεταξύ της καμένης έκτασης της πραγματικής πυρκαγιάς και αυτής στην προσομοίωση. Συνεπώς, το επόμενο βήμα που θα ακολουθήσει είναι η εύρεση αυτής της απόκλισης με σκοπό την αξιολόγηση της ακρίβειας του FlamMap.

- **Διαφορά = Προσομοίωση - Πραγματική Καμένη Έκταση**
Διαφορά = 38.500,0 στρέμματα - 21.300,0 στρέμματα = 17.200,0 στρέμματα

Η διαφορά αυτή αποκαλύπτει ότι η προσομοίωση υπερεκτίμησε την καμένη έκταση κατά 17.200,0 στρέμματα μεγαλύτερη από την πραγματική. Για την έκφραση της απόκλισης σε ποσοστό, υπολογίζεται η ποσοστιαία διαφορά ως εξής:

- **Ποσοστιαία Απόκλιση = (Διαφορά / Πραγματική Καμένη Έκταση) × 100**
Ποσοστιαία Απόκλιση = (17.200,0 / 21.300,0) × 100 ≈ 80,76%

Η ποσοστιαία απόκλιση είναι περίπου **80,76%**, γεγονός που αναδεικνύει ότι η προσομοίωση εκτίμησε την καμένη έκταση κατά 80,76% περισσότερο από την πραγματικότητα.

5.1.4 Σύγκριση και υπολογισμός της απόκλισης μεταξύ προσομοίωσης και πραγματικής καμένης έκτασης για την ημερομηνία 29/7

Τέλος, η πραγματική πυρκαγιά στις Μέλαμπες έκαψε 21.342,9 στρέμματα συνολικής έκτασης, εκ των οποίων τα 12.150,0 στρέμματα ήταν γεωργικές περιοχές, τα 5.411,0 στρέμματα ήταν φυσικοί βοσκότοποι, τα 3.374,3 στρέμματα ήταν σκληροφυλλική βλάστηση, τα 321,2 στρέμματα ήταν ανοιχτοί χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση και τα 86,3 στρέμματα ήταν τεχνητές επιφάνειες. Αντιθέτως, η προσομοίωση στο FlamMap κατέγραψε μία καμένη έκταση 50.900,0 στρεμμάτων με περίμετρο 64,9 χιλιομέτρων.

Επομένως, σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, η προσομοίωση δεν απέδωσε τα ίδια αποτελέσματα με την πραγματική καμένη έκταση της πυρκαγιάς, οδηγώντας σε μια σημαντική απόκλιση μεταξύ των δύο τιμών. Για τον υπολογισμό της απόκλισης μεταξύ των δύο τιμών, αρχικά υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ της προσομοίωσης και της πραγματικής καμένης έκτασης:

- **Διαφορά = Προσομοίωση - Πραγματική Καμένη Έκταση**
Διαφορά = 50.900,0 στρέμματα - 21.342,9 στρέμματα = 29.557,1 στρέμματα

Η διαφορά αυτή καταδεικνύει ότι η προσομοίωση υπερεκτίμησε την καμένη έκταση κατά 29.557,1 στρέμματα.

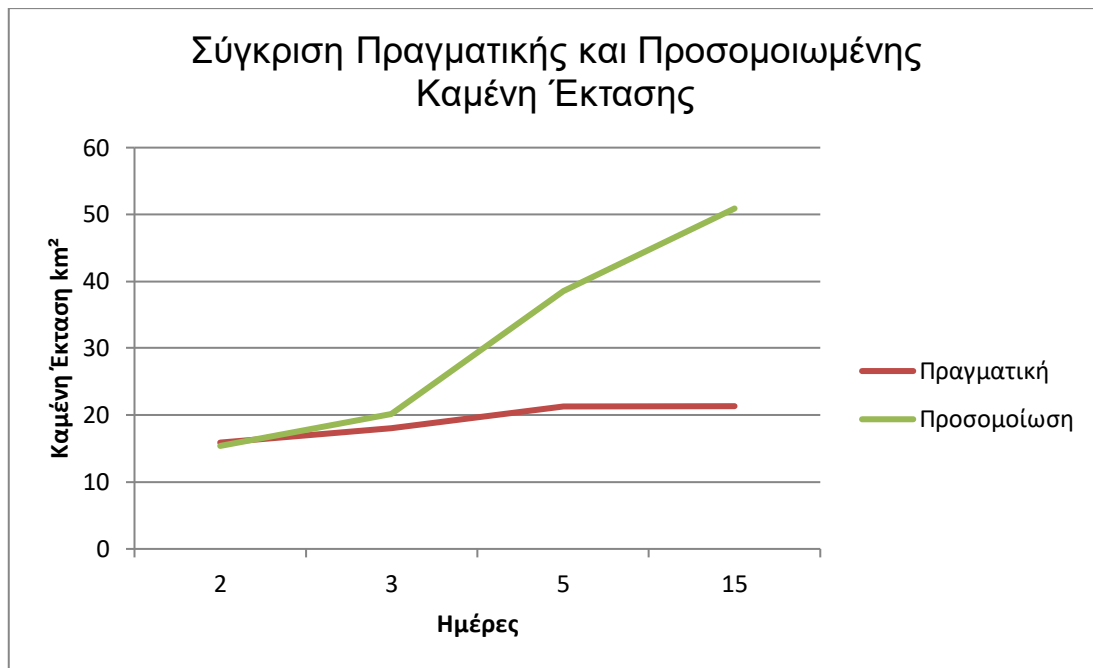
Για την έκφραση της απόκλισης σε ποσοστό, υπολογίζεται η ποσοστιαία διαφορά ως εξής:

- **Ποσοστιαία Απόκλιση = (Διαφορά / Πραγματική Καμένη Έκταση) × 100**
Ποσοστιαία Απόκλιση = (29.557,1 / 21.342,9) × 100 ≈ 138,49%

Η ποσοστιαία απόκλιση είναι περίπου **138,49%**, γεγονός που μαρτυρά ότι η προσομοίωση εκτίμησε την καμένη έκταση σε επίπεδο πάνω από το διπλάσιο σε σύγκριση με την πραγματικότητα.

5.1.5 Σύγκριση Πραγματικής και Προσομοιωμένης Καμένης Έκτασης για τις Ημέρες 16/7, 17/7, 19/7 και 29/7

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα παρουσιαστεί ένα διάγραμμα που θα συγκρίνει την καμένη έκταση, όπως υπολογίστηκε από την προσομοίωση, με την πραγματική καμένη έκταση που καταγράφηκε από τις δορυφορικές εικόνες, προκειμένου να αναλυθεί η ακρίβεια και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, καθώς και η απόκλιση μεταξύ πραγματικότητας και μοντελοποίησης.



Διάγραμμα 5.1 Σύγκριση Πραγματικής και Προσομοιωμένης Καμένης Έκτασης για τις Ημέρες 16/7, 17/7, 19/7 και 29/7

Αυτό που παρατηρείται από το διάγραμμα 5.1 είναι ότι στις τρεις πρώτες ημέρες παρατηρείται μία αρκετά μικρή απόκλιση ανάμεσα στην πραγματική καμένη έκταση και αυτή της προσομοίωσης, γεγονός που είναι αρκετά καλό για την αποτελεσματικότητα του λογισμικού. Από την τρίτη ημέρα και μετά παρατηρείται μια αύξηση στην απόκλιση, η οποία δικαιολογείται εν μέρει λόγω της έλλειψης ακρίβειας. Η έλλειψη αυτή εντοπίζεται κυρίως στο κομμάτι του σχεδιασμού και υπολογισμού της καμένης έκτασης μέσω του Google Earth Pro, όπου οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση ενδέχεται να περιορίζουν την ακριβή καταγραφή της καμένης περιοχής. Αναλυτικότερα, κατά τον υπολογισμό της πληγείσας έκτασης, εσωτερικά της περιμέτρου αυτής υπάρχουν μικρές εκτάσεις ή και χωριά που δεν κάηκαν και δεν αφαιρέθηκαν από την καμένη έκταση. Επομένως, όπως είναι αναμενόμενο, με την εξάπλωση της φωτιάς και με το πέρασμα των ημερών, είναι λογικό να αυξηθούν αυτές οι μη πληγείσες περιοχές που δεν αφαιρέθηκαν. Για αυτόν τον λόγο, στην εργασία αναφέρεται ότι όλες αυτές οι εκτάσεις έχουν υπολογιστεί κατά προσέγγιση. Τέλος, όσον αφορά την αρκετά μεγάλη απόκλιση της καμένης έκτασης για την τελευταία ημέρα (29/7), υπάρχει και μια άλλη εξήγηση εκτός της παραπάνω. Από τη μία, η πραγματική έκταση που κάηκε αντλήθηκε από τα στοιχεία της πυροσβεστικής με μεγάλη ακρίβεια, ενώ η καμένη έκταση της μοντελοποίησης υπολογίστηκε κατά προσέγγιση, όπως προαναφέρθηκε. Αυτή η διαφορά στον τρόπο υπολογισμού οδηγεί σε μεγαλύτερη απόκλιση μεταξύ των δύο εκτιμήσεων, κάνοντάς την πιο έντονη την τελευταία ημέρα.

5.2 Ανάλυση Παραγόντων Απόκλισης Προσομοίωσης Πυρκαγιάς

Η απόκλιση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης από την πραγματική καμένη έκταση μπορεί να οφείλεται σε πολλούς και διαφόρους παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να σχετίζονται με τη φύση των δεδομένων εισόδου, τις απλοποιήσεις που εφαρμόζει το λογισμικό FlamMap, καθώς και εξωτερικές συνθήκες ή ανθρώπινες παρεμβάσεις που επηρέασαν την πραγματική πορεία της πυρκαγιάς. Κατά συνέπεια, παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι κυριότεροι λόγοι που ενδέχεται να προκάλεσαν αυτήν την απόκλιση κατά την διεξαγωγή αυτής της εργασίας :

- **Ανακριβή Δεδομένα Εισόδου**

Ορισμένα από τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση του μοντέλου ενδέχεται να μην ήταν τόσο ακριβή όσο απαιτείται, γεγονός που μπορεί να επηρέασε την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Αρχικά, τα γεωχωρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την αναπαράσταση της βλάστησης και των χαρακτηριστικών της γης (όπως οι τύποι δασικών εκτάσεων, γεωργικές περιοχές και βοσκότοποι) ενδέχεται να μην ήταν πλήρως ακριβή. Επιπλέον, είναι πιθανό να είχαν επέλθει αλλαγές στις χρήσεις γης ή στη βλάστηση έως τη χρονική στιγμή της πυρκαγιάς, γεγονός που μπορεί να επηρέασε την ακρίβεια και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης. Παράλληλα, η εκτίμηση της καύσιμης ύλης, η οποία αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την προσομοίωση, είναι συνήθως δύσκολη και ενδέχεται να βασίζεται σε δεδομένα που δεν είναι επαρκώς ακριβή ή πλήρη. Η καταγραφή της ποσότητας και της πυκνότητας της βλάστησης είναι μια περίπλοκη διαδικασία, η οποία μπορεί να διαφέρει σημαντικά από περιοχή σε περιοχή, και ενδέχεται να μην καταγράφει τις τοπικές διαφοροποιήσεις στην καύσιμη ύλη. Όσον αφορά τα μετεωρολογικά δεδομένα, όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία, τα οποία αποτελούν κρίσιμους παράγοντες για την προσομοίωση, ενδέχεται να παρουσίασαν ανακρίβειες ή αποκλίσεις από τις πραγματικές συνθήκες. Στην περίπτωση της πυρκαγιάς στις Μέλαμπες, τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από έναν κοντινό μετεωρολογικό σταθμό, ο οποίος βρίσκεται σε γειτονικό χωριό. Πιο αναλυτικά, ο μετεωρολογικός σταθμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτός του χωριού Φουρφουρά, το οποίο απέχει περίπου 18 χιλιόμετρα από το χωριό Μέλαμπες. Παρόλο που η εγγύτητα του σταθμού προσφέρει σχετικά αντιπροσωπευτικές μετρήσεις για την περιοχή, ενδέχεται να υπήρξαν μικρές διαφορές στην περιοχή της πυρκαγιάς, οι οποίες λογικά να επηρέασαν την ακρίβεια της προσομοίωσης λόγω της απόστασης μεταξύ των δύο τοποθεσιών. Επιπλέον, ένας άλλος περιορισμός στην ανάλυση ήταν η χρήση καιρικών δεδομένων που είναι συνήθως διαθέσιμα σε χρονικά διαστήματα ανά ώρα ή ημέρα, γεγονός που οδήγησε σε μια γενικευμένη χρονική ανάλυση. Αυτή η περιορισμένη ανάλυση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αδυναμία του μοντέλου να αποτυπώσει τη γρήγορη εξέλιξη της πυρκαγιάς, με συνέπεια τα αποτελέσματα να μην αντανακλούν με ακρίβεια την πραγματική ταχύτητα και κλίμακα της φωτιάς.

- **Απλοποιήσεις και Υποθέσεις του Λογισμικού FlamMap**

Τα περισσότερα μοντέλα προσομοίωσης, όπως το FlamMap, βασίζονται σε μαθηματικές εξισώσεις που περιλαμβάνουν απλοποιήσεις και ιδανικές συνθήκες. Επομένως, στην περίπτωση της πυρκαγιάς που επιλέχτηκε για την εργασία είναι λογικό να υπάρχουν αποκλίσεις από την πραγματικότητα. Επιπλέον, η επιλογή των παραμέτρων του μοντέλου μπορεί να ασκήσει σημαντική επίδραση στα αποτελέσματα. Αυτές οι παράμετροι ενδέχεται να είναι προεπιλεγμένες ή να βασίζονται σε εκτιμήσεις που δεν αποτυπώνουν πάντοτε τις πραγματικές συνθήκες.

- **Παράβλεψη Ανθρωπογενών Παρεμβάσεων**

Ένα από τα κύρια ζητήματα που προκύπτει κατά την ανάλυση των αποκλίσεων σε μοντελοποιήσεις πυρκαγιών είναι η παράβλεψη των ανθρωπογενών κατασβέσεων. Σε μια πραγματική πυρκαγιά, ένας από τους πιο σημαντικούς κατασταλτικούς παράγοντες που επηρεάζουν την πορεία της φωτιάς είναι η παρέμβαση του πυροσβεστικού σώματος. Κατά συνέπεια κάποιες ενέργειες, όπως η πυρόσβεση, η δημιουργία αντιπυρικών ζωνών ή οι εκκενώσεις περιοχών, μπορεί να περιορίσουν ή να επιβραδύνουν σημαντικά την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Αντιθέτως, στις προσομοιώσεις, αυτοί οι παράγοντες συχνά αγνοούνται, καθώς οι μοντελοποιήσεις επικεντρώνονται κυρίως στην εξάπλωση της φωτιάς βάσει φυσικών παραμέτρων.

5.3 Αξιολόγηση Λογισμικού FlamMap

Σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο κεφάλαιο 5.2, η προσομοίωση εμφάνισε λογικές αποκλίσεις, λόγω της ανακρίβειας των μετεωρολογικών δεδομένων, των απλοποιήσεων του μοντέλου, των ανθρωπογενών παρεμβάσεων και άλλων παραμέτρων που αναλύθηκαν. Παρά ταύτα, το FlamMap παραμένει ένα χρήσιμο εργαλείο για την εκτίμηση της εξάπλωσης πυρκαγιών, αν και με περιορισμένη ακρίβεια. Πολυάριθμες διεθνείς μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε περιοχές όπως οι ΗΠΑ, ο Καναδάς, η Αυστραλία και η Μεσόγειος, αποδεικνύουν την αξία του FlamMap στην κατανόηση και τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών. Αυτές οι μελέτες έχουν επικεντρωθεί στη χρήση του λογισμικού για την εκτίμηση της εξάπλωσης της πυρκαγιάς, τη λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο για την καταστολή και τη δημιουργία στρατηγικών για την πρόληψη.

Σε μια εποχή όπου οι πυρκαγιές πλήττουν πολλές περιοχές της Ευρώπης και άλλων ηπείρων, η ανάγκη για την ενσωμάτωση τεχνολογιών όπως το FlamMap καθίσταται επιτακτική. Στην Ελλάδα, με τα τεράστια καμένα στρέμματα κάθε χρόνο, αυτή η τεχνολογία θα μπορούσε να προσφέρει σημαντική βοήθεια στο έργο των πυροσβεστών, παρέχοντας γρήγορες εκτιμήσεις και στρατηγικές για την εξάπλωση της φωτιάς. Η ταχύτερη και πιο αποτελεσματική αντιμετώπιση των πυρκαγιών είναι κρίσιμη για την προστασία του περιβάλλοντος και των ανθρώπινων ζωνών.

Μελλοντικά, καθώς το FlamMap θα γίνει πιο ευρέως γνωστό, θα είναι σε θέση να εμβαθύνει και να μειώσει τις αδυναμίες του, βελτιώνοντας τα δεδομένα εισόδου για πιο ακριβείς και επικαιροποιημένες πληροφορίες σχετικά με τη βλάστηση, τη χρήση γης και τα μετεωρολογικά δεδομένα. Επίσης, η ανάγκη για πιο σύνθετα μοντέλα που να ενσωματώνουν μικροκλίματα και ανθρωπογενείς παρεμβάσεις είναι επιτακτική. Τέλος, θα πρέπει να βελτιωθεί η ανάλυση του χρόνου και της περιοχής για να καταγράφεται καλύτερα η εξάπλωση και η ταχύτητα της πυρκαγιάς, καθώς και η ακριβής κατανομή της καύσιμης ύλης.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aristotle University of Thessaloniki, Forest Management and Remote Sensing Virtual Laboratory. (n.d.). *Home page*. Retrieved November 29, 2024, from <http://fmrsvm.for.auth.gr/>

Copernicus Emergency Management Service. (n.d.). *EMSR593: List of components* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from <https://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSR593>

Copernicus Emergency Management Service. (n.d.). *Fuels* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from <https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/about-efis/technical-background/fuels>

Copernicus Land Monitoring Service. (n.d.). *CORINE Land Cover 2018* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018>

Copernicus Land Monitoring Service. (n.d.). *High Resolution Layer: Tree Cover Density* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from <https://land.copernicus.eu/en/products/high-resolution-layer-tree-cover-density>

Crete GIS. (2024). *Sentinel Hub monitoring: Wildfires monitoring* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from <https://gis.crete.gov.gr/sdi/modules/sentinelhubmonitoring/monitoring/#x=2745656%2By=4182060%2Bs=12%2Blayers=WILDFIRES-RETHYMNO%2Bmaxcc=20%2Bgain=1%2Btime=2024-10-14/2024-11-14%2Bmode=compareMode%2Bdate1=2022-07-20%2Bdate2=2022-08-25>

Eurostat. (n.d.). *EU-DEM: Aspect* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/elevation/eu-dem/aspect>

Eurostat. (n.d.). *EU-DEM: Digital elevation model over Europe (LAEA)* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/elevation/eu-dem/eu-dem-laea>

Eurostat. (n.d.). *EU-DEM: Slope* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/reference-data/elevation/eu-dem/slope>

Fire Behavior Prediction and Monitoring Team. (n.d.). *FlamMap 6 training and help* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from <https://www.yumpu.com/en/document/read/63472697/flammap-6-training-and-help>

Fire Lab. (n.d.). *FARSITE: Fire Area Simulator* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from <https://www.firelab.org/project/farsite>

Fire Lab. (n.d.). *FlamMap* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from <https://www.firelab.org/project/flammap>

Fire Lab. (n.d.). *Fuel treatment scenarios: No treat* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from <https://www.firelab.org/sites/default/files/images/downloads/ArcFuels-help/Content/03Fuel%20Treatment%20Scenarios/06b-NoTreat.htm>

Geology Page. (2015, February). *ArcGIS 10.2.2 tutorial and help* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from <https://www.geologypage.com/2015/02/arcgis-10-2-2.html>

Miller, J. D., & Thode, A. E. (2007). Quantifying the effect of fire on vegetation and soils in the Yellowstone ecosystem (RMRS-GTR-220). USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Retrieved November 29, 2024, from https://gacc.nifc.gov/nwcc/content/products/intelligence/rmrs_gtr220.pdf

National Interagency Fire Center (NIFC). (n.d.). *Fire behavior fuel model descriptions* [PDF]. Retrieved November 29, 2024, from <https://gacc.nifc.gov/rmcc/predictive/Fire%20Behavior%20Fuel%20Model%20Description.s.pdf>

Oak Ridge National Laboratory. (n.d.). *Global Fire Emissions Database, Version 4 (GFED4)* [Web page]. Retrieved November 29, 2024, from https://webmap.ornl.gov/ogc/dataset.jsp?dg_id=10023_1

Wade, D. D., & Lunsford, J. A. (1989). A guide for prescribed fire in southern forests. USDA Forest Service, Southern Research Station (RMRS-P-41, pp. 213–220). Retrieved November 29, 2024, from https://www.fs.usda.gov/rm/pubs/rmrs_p041/rmrs_p041_213_220.pdf

Tuan, T. V., & Nhung, T. T. (2020). Comparing Accuracy of Wildfire Spread Prediction Models under Different Data Deficiency Conditions. *MDPI Fire*, 7(4), 141. Retrieved November 29, 2024, from <https://www.mdpi.com/2571-6255/7/4/141>

Santana, V. M., Rivas, E., & Bravo, C. (2022). Wildfire spread simulation in Mediterranean ecosystems under different management strategies. *Fire Ecology*, 18(1), 1–15. Retrieved November 29, 2024, from <https://fireecology.springeropen.com/articles/10.1186/s42408-022-00147-2>

Cohn, A. S., & Seager, S. (2021). A review of wildfire prediction models: Challenges, limitations, and solutions. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(12), 3141–3155. Retrieved November 29, 2024, from <https://nhess.copernicus.org/articles/21/3141/2021/>

European Environment Agency. (2018). Corine Land Cover 2018 (CLC2018) data. Retrieved from <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018>

Brown, P., Wilson, K., & Green, T. (2020). The role of forests in climate regulation. *Journal of Environmental Studies*, 45(3), 145–162.

Clark, R. (2019). Urban cooling and forest ecosystems. *Climate Research*, 38(2), 101–115.

Green, T., & Taylor, L. (2020). Hydrological impacts of forest ecosystems. *Water Resources Journal*, 50(4), 220–235.

- Jones, A., Smith, J., & Lee, M.** (2018). Forests as carbon sinks: A global perspective. *Environmental Science Reviews*, 28(5), 321–334.
- Lee, M.** (2021). Oxygen production and ecological balance in forest ecosystems. *Ecology Today*, 39(1), 12–25.
- Brown, P.** (2016). Human causes of wildfires: An overview. *Environmental Research Journal*, 32(2), 114-126.
- Harris, G., & King, D.** (2018). Vegetation type and fire behavior: A comprehensive analysis. *Fire Ecology*, 10(4), 210-221.
- Johnson, M., Smith, R., & Taylor, F.** (2021). Climate change and wildfire risk: Analyzing the impact of long-term temperature and precipitation trends. *Journal of Environmental Science*, 18(1), 75-88.
- Smith, J., Brown, T., & Williams, H.** (2017). Natural fire causes: Lightning, volcanic activity, and spontaneous combustion. *Natural Hazards Review*, 12(1), 34-42.
- Taylor, A., Green, J., & Harris, S.** (2019). Urban expansion and the increasing risk of wildfires. *Environmental Planning*, 19(2), 144-157.
- Smith, J., & Johnson, L.** (2019). Impacts of wildfires on biodiversity and ecosystems. *Journal of Environmental Science*, 32(4), 210-220.
- Jones, M., Brown, T., & White, S.** (2018). Carbon storage in forests and its role in climate change mitigation. *Global Environmental Change*, 55, 34-47.
- Lee, J., & Roberts, K.** (2018). Human and natural causes of wildfires: Understanding the drivers. *Environmental Impact Review*, 22(3), 142-155.
- Miller, R., & Davis, T.** (2019). Fire management and mitigation strategies. *Journal of Fire Safety*, 41(2), 95-107.
- Smith, J., & Johnson, L.** (2020). Fire risk prediction: Technologies and tools. *Fire Management Journal*, 18(4), 200-211.
- Green, H., & Taylor, P.** (2020). Satellite-based wildfire monitoring: Advancements and applications. *Remote Sensing and Environment*, 62(5), 110-118.
- Brown, A., Jackson, R., & Lee, P.** (2020). Fire risk management and mitigation strategies. *Environmental Safety Journal*, 25(2), 98-115.
- Jones, C., White, J., & Clark, R.** (2018). Satellite technology in fire prevention: A global perspective. *International Journal of Fire Safety*, 32(4), 202-220.
- Lee, J.** (2021). Fire prevention techniques: Reducing the fuel load in forests. *Journal of Environmental Management*, 34(1), 15-29.
- Williams, R.** (2017). Fire prevention and mitigation: Practices and innovations. *Fire Safety Review*, 18(3), 56-65.

- Green, H., & Taylor, P.** (2020). Satellite-based wildfire monitoring: Advancements and applications. *Remote Sensing and Environment*, 62(5), 110-118.
- Perry, H., Roberts, M., & White, C.** (2019). Community engagement and fire prevention. *Journal of Disaster Management*, 12(3), 45-60.
- Smith, J., Brown, P., & Williams, T.** (2020). Emergency response strategies for wildfire management. *International Journal of Fire Safety*, 35(4), 122-137.
- Green, R., Taylor, M., & Davis, L.** (2018). Training of firefighters for wildland fire response. *Fire Safety Journal*, 29(2), 89-102.
- Finney, M. A., McAllister, S. S., & Houtman, R.** (2017). Development and application of fire spread models. *Fire Ecology*, 13(3), 1-18.
- Linn, R. R., Mansell, T. E., & Williams, R. J.** (2020). Wildfire simulation using advanced models and techniques. *International Journal of Wildfire Science*, 32(4), 221-236.
- Chen, H., Wang, Q., & Zhang, J.** (2019). Application of GIS in wildfire modeling and management. *Remote Sensing Applications*, 6(2), 124-139.
- Liu, J., Li, X., & Sun, X.** (2021). Advances in wildfire prediction and risk management. *Environmental Modeling and Assessment*, 26(5), 567-580.
- Wang, Y., Zhang, L., & Zhou, X.** (2022). Long-term environmental impacts of wildfire: A modeling approach. *Ecological Modeling*, 49(3), 278-295.
- Liu, J., Li, X., & Sun, X.** (2021). Advances in wildfire prediction and risk management. *Environmental Modeling and Assessment*, 26(5), 567-580.
- Zhang, H., Zhao, Q., & Wang, Y.** (2020). Machine learning for wildfire risk assessment: A review. *Fire Safety Journal*, 113, 73-83.
- Michaelsen, N., Ochoa, S., & Adams, R.** (2021). Collaborative approaches for wildfire management. *Journal of Forest Management*, 40(3), 239-249.
- Ochoa, S., Gómez, J., & Liu, Z.** (2019). Unmanned aerial vehicles in wildfire management: Innovations and applications. *International Journal of Wildfire Science*, 31(2), 153-169.
- Nunes, D., Martins, T., & Silva, M.** (2021). The role of drones in improving wildfire management operations. *Fire Ecology*, 17(1), 1-14.
- García, R., Domínguez, A., & Pérez, J.** (2022). Post-fire damage assessment using drone technology. *Remote Sensing Applications*, 11(1), 28-42.
- Andrews, P. L.** (1986). BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System - BURN subsystem, Part 1: General Model Documentation. USDA Forest Service.
- Finney, M. A.** (2004). FARSITE: Fire Area Simulator - Model Development and Applications. USDA Forest Service.

Finney, M. A. (2006). FlamMap: Fire Behavior Mapping and Analysis System, Version 4.0. USDA Forest Service.

Smith, D. R., Johnson, E. A., & Williams, J. R. (2014). Comparison of fire modeling tools for assessing fire behavior in Australian forests. *Forest Ecology and Management*, 328, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.05.003>

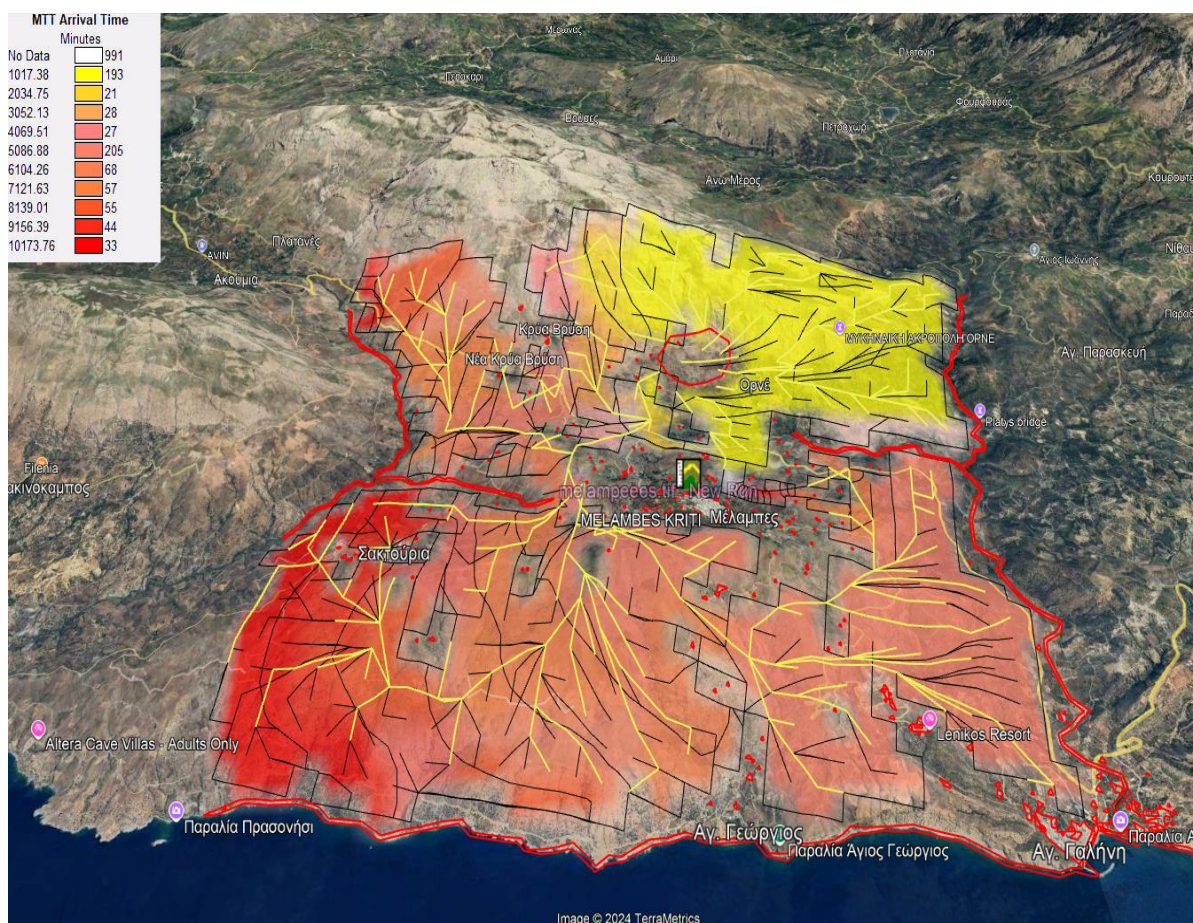
Google Earth Pro. (2025). Google Earth Pro [Software]. Retrieved from <https://www.google.com/earth/>

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

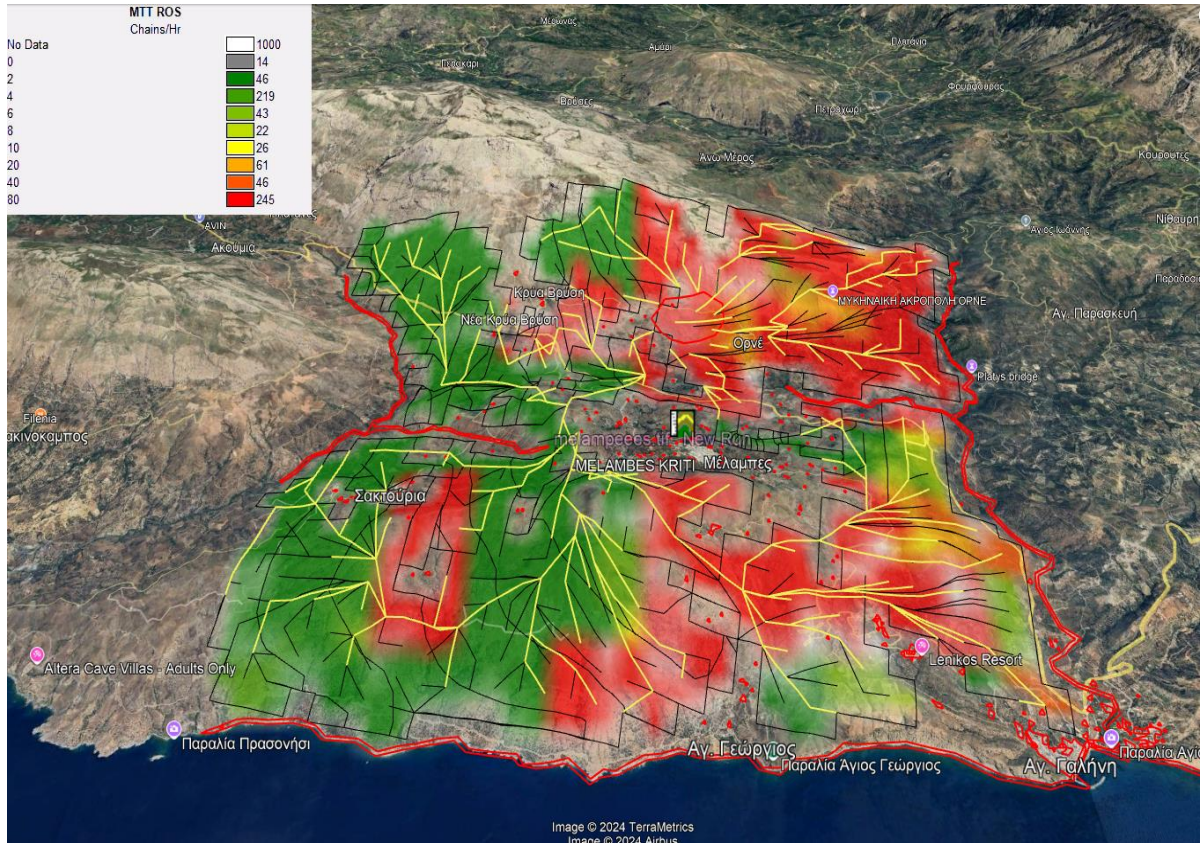
Στο κεφάλαιο των παραρτημάτων παρατίθενται οι προσομοιώσεις των ημερών 8,9,10,11,12,13,14 και 15, καθώς δεν προσέφεραν ουσιαστική πληροφορία για την πορεία της πυρκαγιάς. Ο λόγος είναι ότι από την 8η ημέρα και μετά, η περιοχή ενδιαφέροντος είχε κορεστεί και δεν υπήρχε άλλη καύσιμη ύλη για να καταναλωθεί.

7.1 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 8

Μετά την πάροδο οκτώ ημερών από την έναρξη του συμβάντος (15-22/07/2022), παρουσιάζεται η εικόνα της εξέλιξης της πυρκαγιάς, όπως προκύπτει από την προσομοίωση. Οι πληροφορίες αυτές προσφέρουν μια ολοκληρωμένη αποτύπωση της πορείας της φωτιάς και των επιπτώσεών της κατά το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.



Εικόνα 7.1 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 8η Ημέρα



Εικόνα 7.2 Απεικόνιση MTT ROS για την 8η Ημέρα

Σε αυτό το σημείο, παρατίθενται τα βασικά δεδομένα που προέκυψαν από την προσομοίωση, μαζί με τις χρήσιμες πληροφορίες που αφορούν την καμένη έκταση κατά τη διάρκεια των οκτώ ημερών.

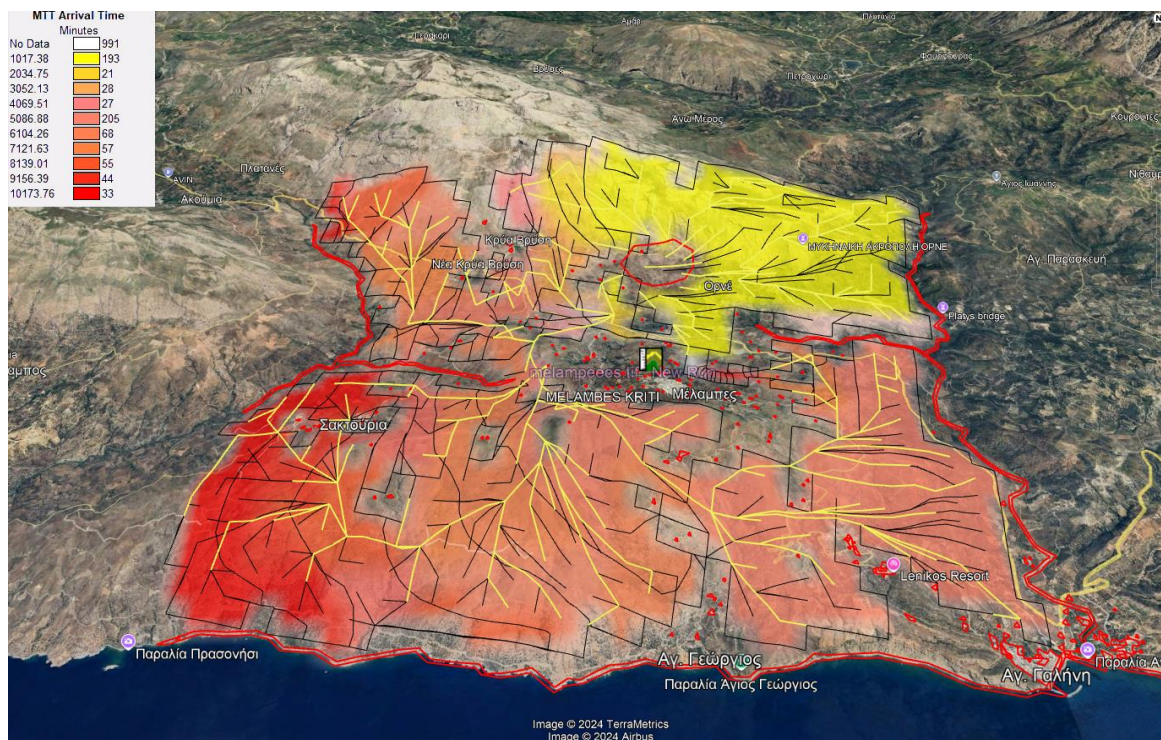
Πίνακας 7.1 Πίνακας Στοιχείων για την 8η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς

Πίνακας Δεδομένων Προσομοίωσης Ημέρας 8ης (22/07/22)	
Minimum Travel Time Inputs	
Resolution of Calculations (m)	250
Maximum Simulation Time (min)	11520
Interval for Minimum Travel Paths (m)	500
Spot Probability (%)	0
Spotting Delay (min)	0
Lateral Search Depths (m)	6
Vertical Search Depths (m)	4
Καιρικά Δεδομένα	
Temperature (°C)	22-31

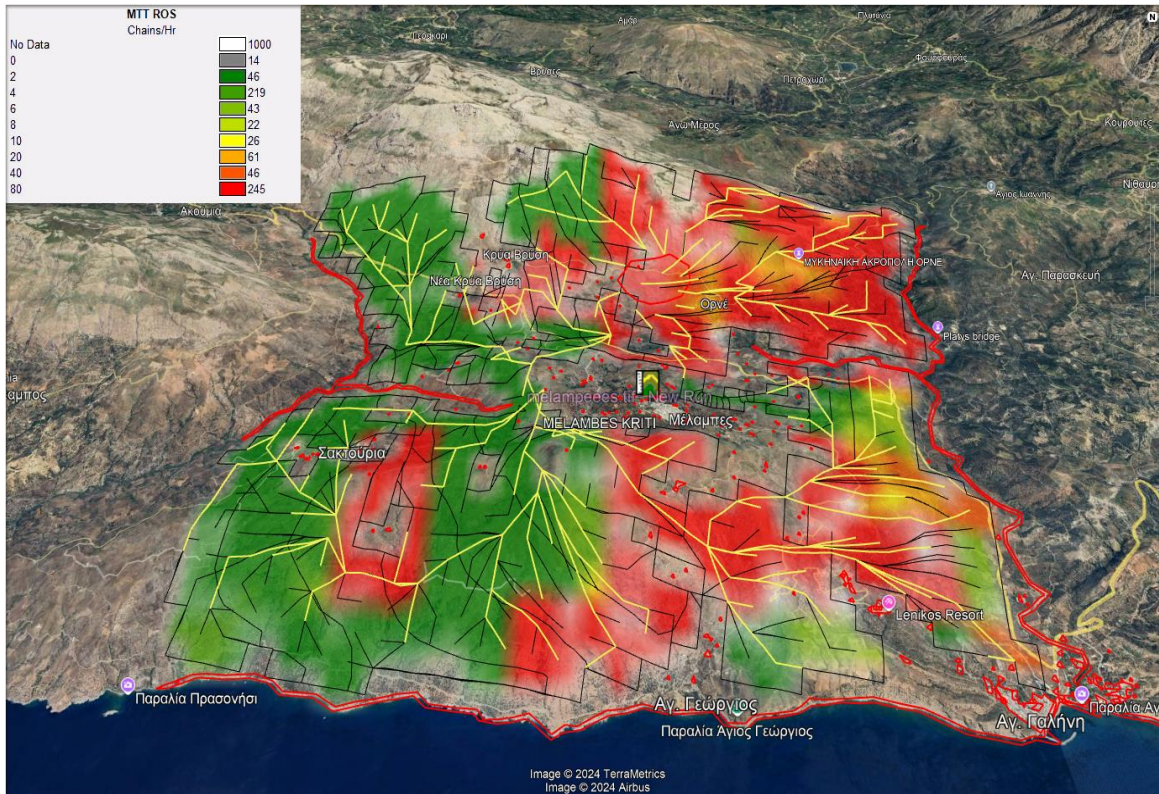
RH (%)	24-58
Wind Speed (km/h)	5-42
Wind Direction (°)	0-338
Έκταση Καμένης Γης (Κατά Προσέγγιση)	
Έκταση Καμένης Γης (km²)	50,9
Περίμετρος Καμένης Γης (km)	64,9

7.2 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 9

Παρακάτω παρουσιάζονται σε εικόνες, οι δυο χάρτες που δείχνουν την εξέλιξη της πυρκαγιάς σε ένα χρονικό διάστημα εννιά ημερών απλό το ξέσπασμα της φωτιάς (15-23/07/22).



Εικόνα 7.3 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 9η Ημέρα



Εικόνα 7.4 Απεικόνιση MTT ROS για την 9η Ημέρα

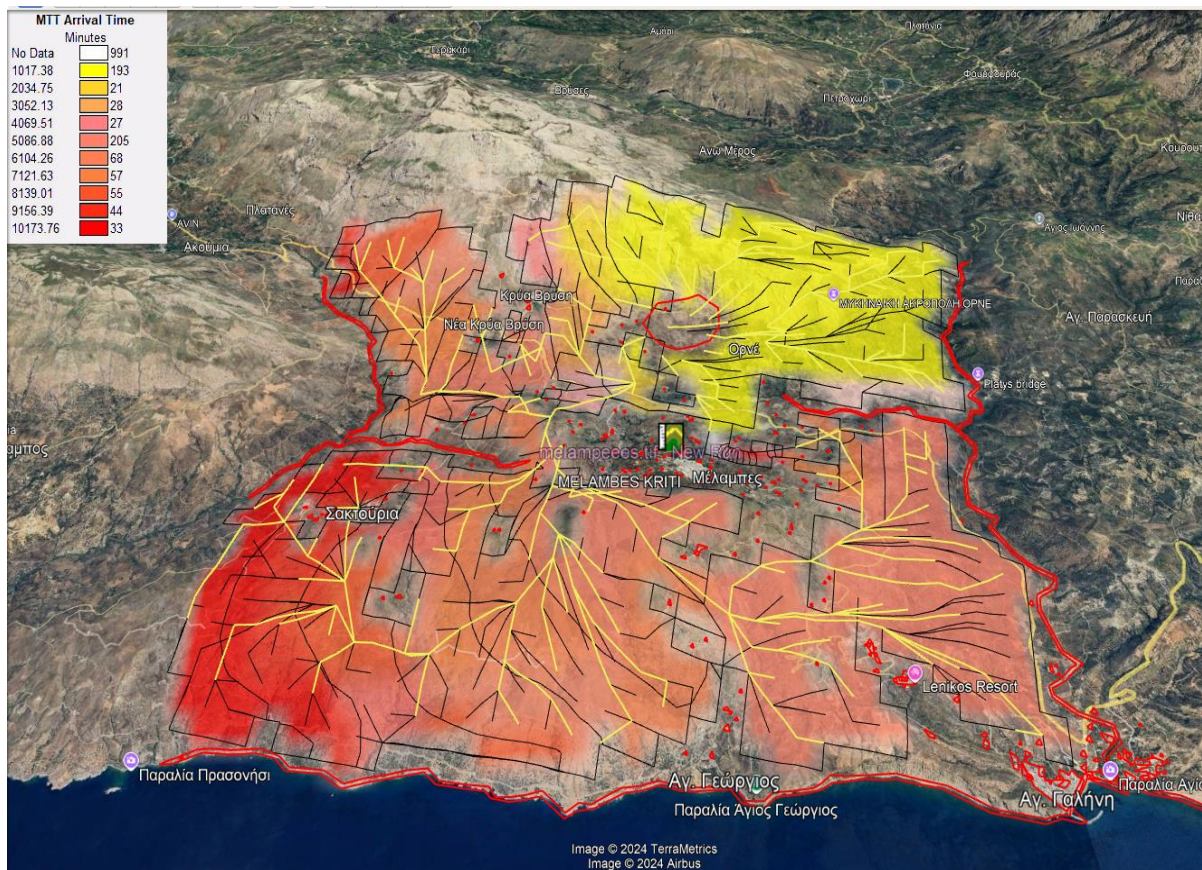
Πίνακας 7.2 Πίνακας Στοιχείων για την 9η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς

Πίνακας Δεδομένων Προσομοίωσης Ημέρας 9ης (23/07/22)	
Minimum Travel Time Inputs	
Resolution of Calculations (m)	250
Maximum Simulation Time (min)	12960
Interval for Minimum Travel Paths (m)	500
Spot Probability (%)	0
Spotting Delay (min)	0
Lateral Search Depths (m)	6
Vertical Search Depths (m)	4
Καιρικά Δεδομένα	
Temperature (°C)	24-28
RH (%)	30-54
Wind Speed (km/h)	10-39
Wind Direction (°)	0-338

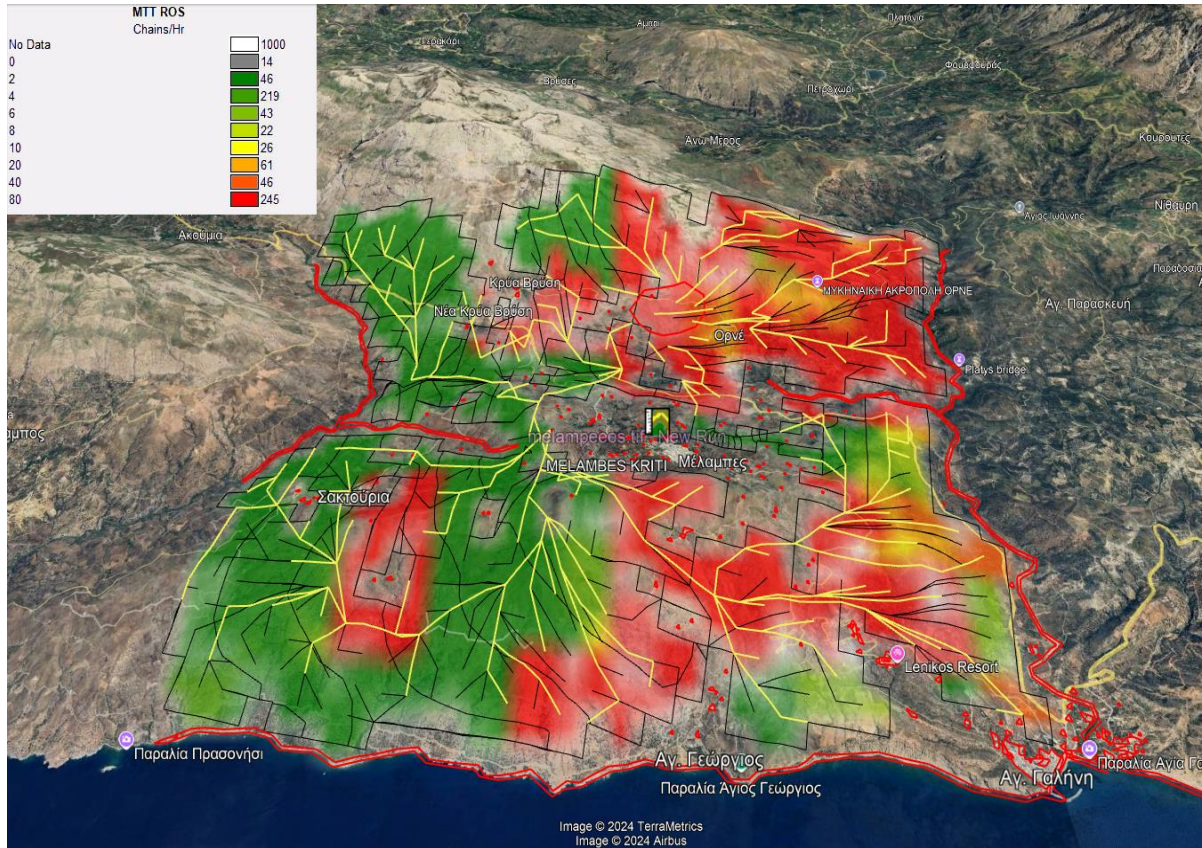
Έκταση Καμένης Γης (Κατά Προσέγγιση)	
Έκταση Καμένης Γης (km ²)	50,9
Περίμετρος Καμένης Γης (km)	64,9

7.3 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 10

Στο σημείο αυτό δίνονται εικόνες για την πορεία της πυρκαγιάς μετά το πέρας 10 ημερών (15-24/07/22).



Εικόνα 7.5 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 10η Ημέρα



Εικόνα 7.6 Απεικόνιση MTT ROS για την 10η Ημέρα

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες σημαντικές πληροφορίες της προσομοίωσης για την ημέρα 10:

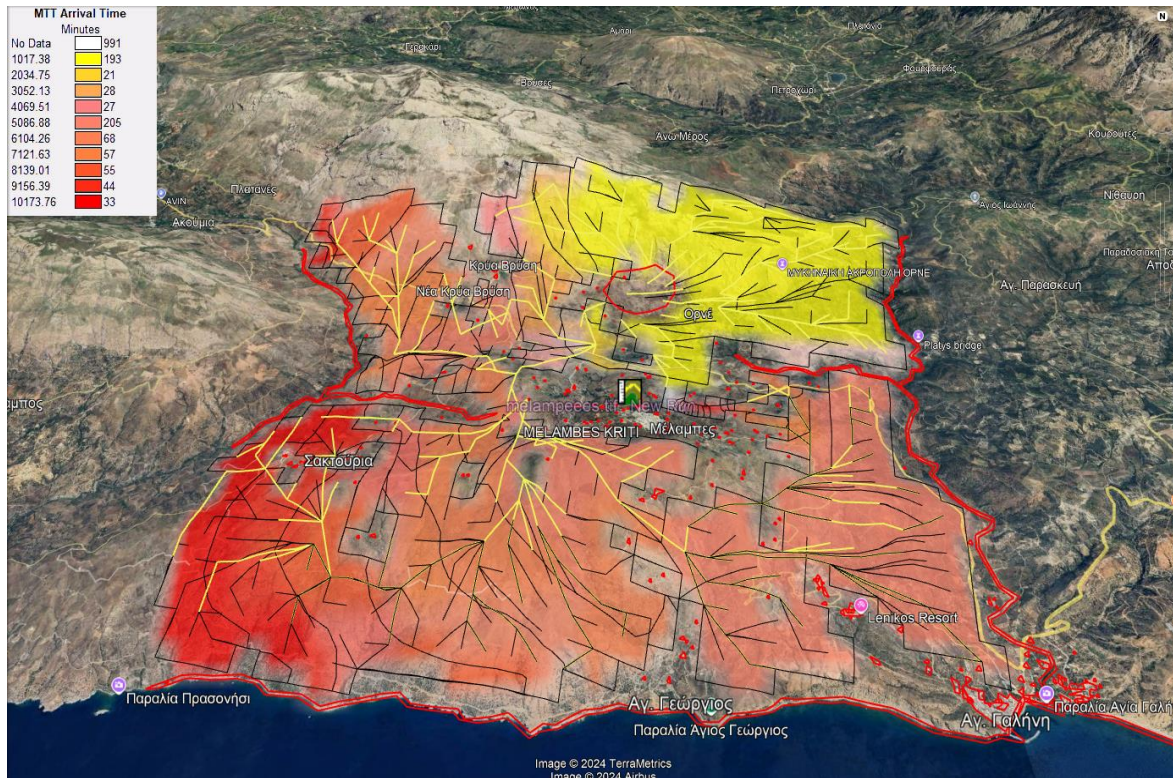
Πίνακας 7.3 Πίνακας Στοιχείων για την 10η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς

Πίνακας Δεδομένων Προσομοίωσης Ημέρας 10ης (24/07/22)	
Minimum Travel Time Inputs	
Resolution of Calculations (m)	250
Maximum Simulation Time (min)	14400
Interval for Minimum Travel Paths (m)	500
Spot Probability (%)	0
Spotting Delay (min)	0
Lateral Search Depths (m)	6
Vertical Search Depths (m)	4
Καιρικά Δεδομένα	
Temperature (°C)	23-33

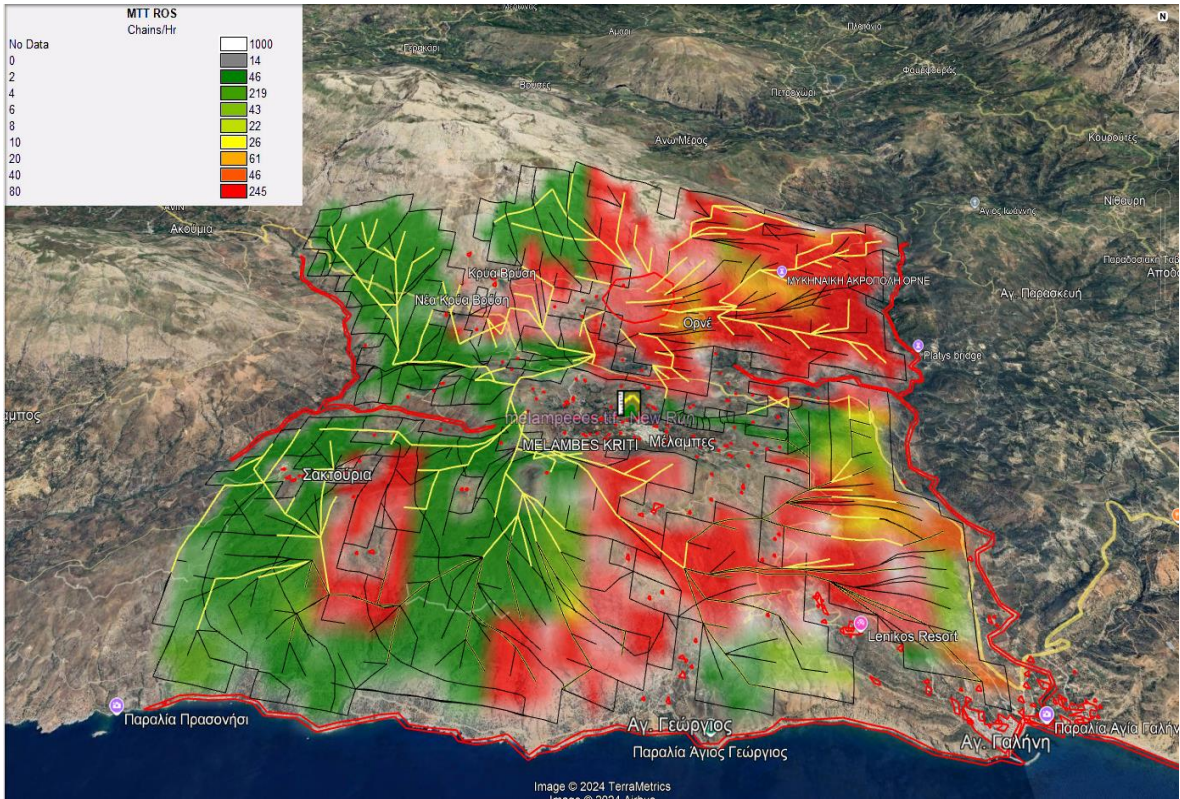
RH (%)	9-54
Wind Speed (km/h)	19-42
Wind Direction (°)	0-338
Έκταση Καμένης Γης (Κατά Προσέγγιση)	
Έκταση Καμένης Γης (km²)	50,9
Περίμετρος Καμένης Γης (km)	64,9

7.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 11

Παρακάτω φαίνεται πώς έχει εξελιχτεί η πυρκαγιά μετά από έντεκα ημέρες που καίει ακατάπαυστα (15-25/07/22).



Εικόνα 7.7 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 11η Ημέρα



Εικόνα 7.8 Απεικόνιση MTT ROS για την 11η Ημέρα

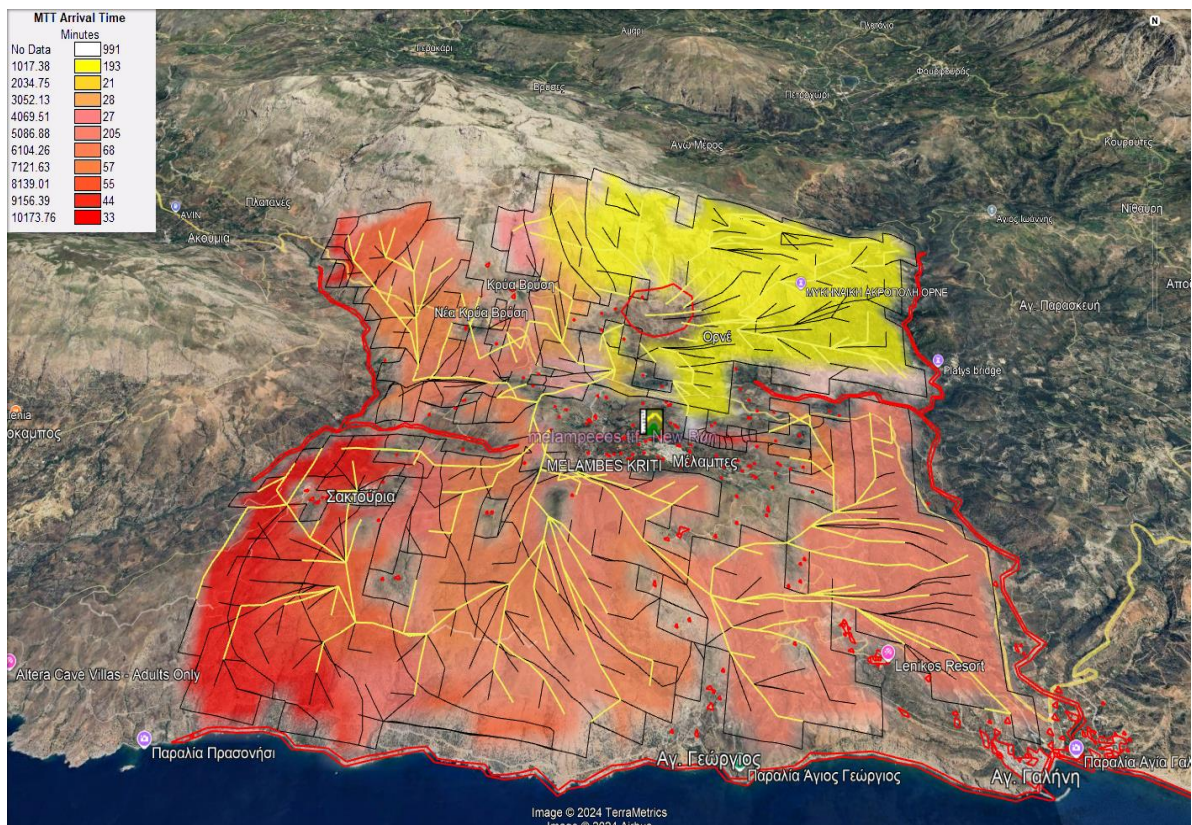
Πίνακας 7.4 Πίνακας Στοιχείων για την 11η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς

Πίνακας Δεδομένων Προσομοίωσης Ημέρας 11ης (25/07/22)	
Minimum Travel Time Inputs	
Resolution of Calculations (m)	250
Maximum Simulation Time (min)	15840
Interval for Minimum Travel Paths (m)	500
Spot Probability (%)	0
Spotting Delay (min)	0
Lateral Search Depths (m)	6
Vertical Search Depths (m)	4
Καιρικά Δεδομένα	
Temperature (°C)	28-33
RH (%)	16-42
Wind Speed (km/h)	15-37
Wind Direction (°)	0-68

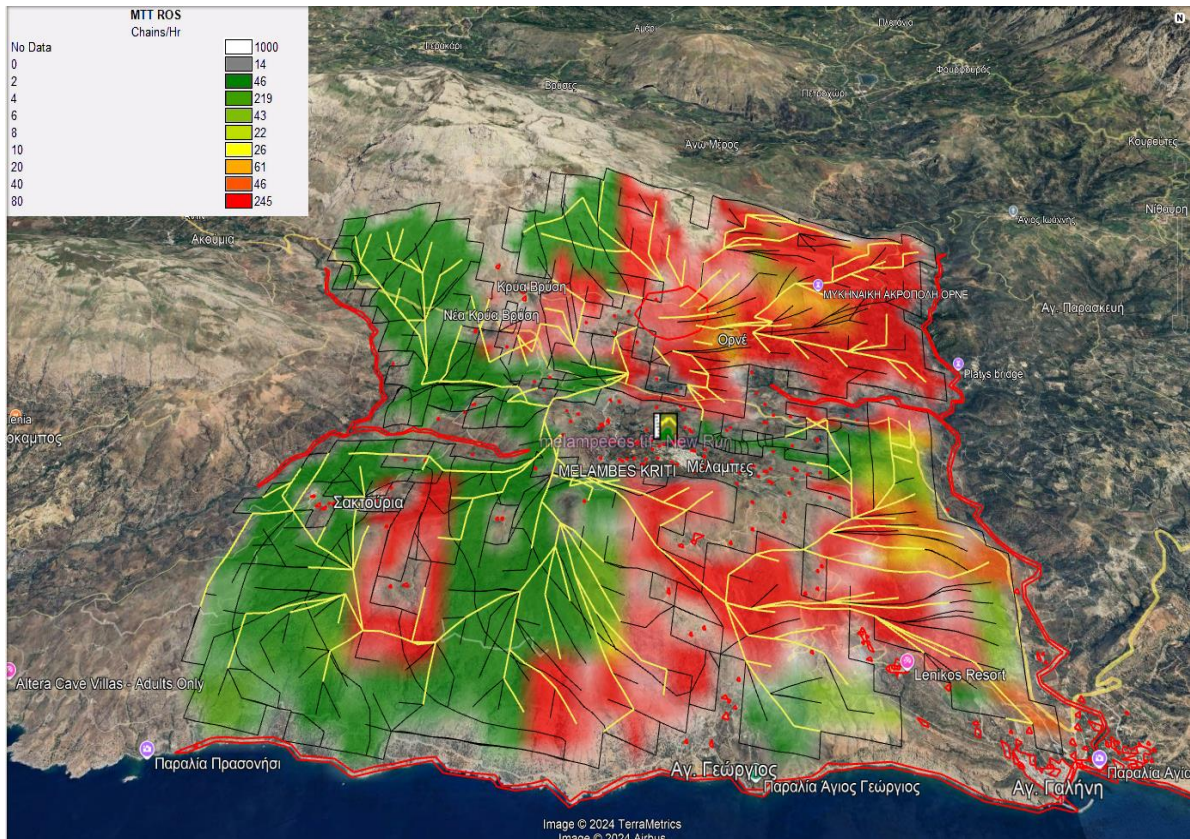
Έκταση Καμένης Γης (Κατά Προσέγγιση)	
Έκταση Καμένης Γης (km ²)	50,9
Περίμετρος Καμένης Γης (km)	64,9

7.5 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 12

Η δωδέκατη ημέρα της πυρκαγιάς (15-26/07/2022) καταγράφεται και παρουσιάζεται στις δύο παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 7.9 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 12η Ημέρα



Εικόνα 7.10 Απεικόνιση MTT ROS για την 12η Ημέρα

Εδώ, παρουσιάζονται χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την διεξαγωγή και την πορεία της πυρκαγιάς μετά από δώδεκα ημέρες .

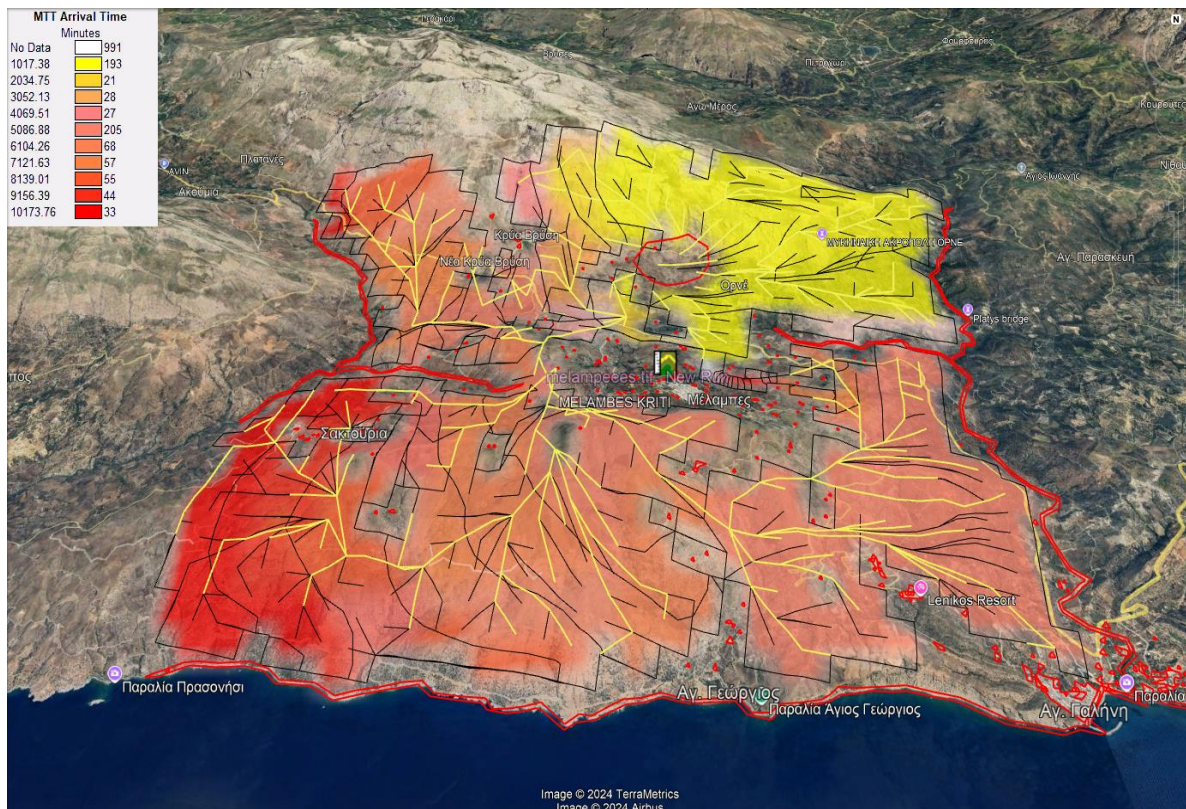
Πίνακας 7.5 Πίνακας Στοιχείων για την 12η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς

Πίνακας Δεδομένων Προσομοίωσης Ημέρας 12ης (26/07/22)	
Minimum Travel Time Inputs	
Resolution of Calculations (m)	250
Maximum Simulation Time (min)	17280
Interval for Minimum Travel Paths (m)	500
Spot Probability (%)	0
Spotting Delay (min)	0
Lateral Search Depths (m)	6
Vertical Search Depths (m)	4
Καιρικά Δεδομένα	
Temperature (°C)	26-32
RH (%)	28-58

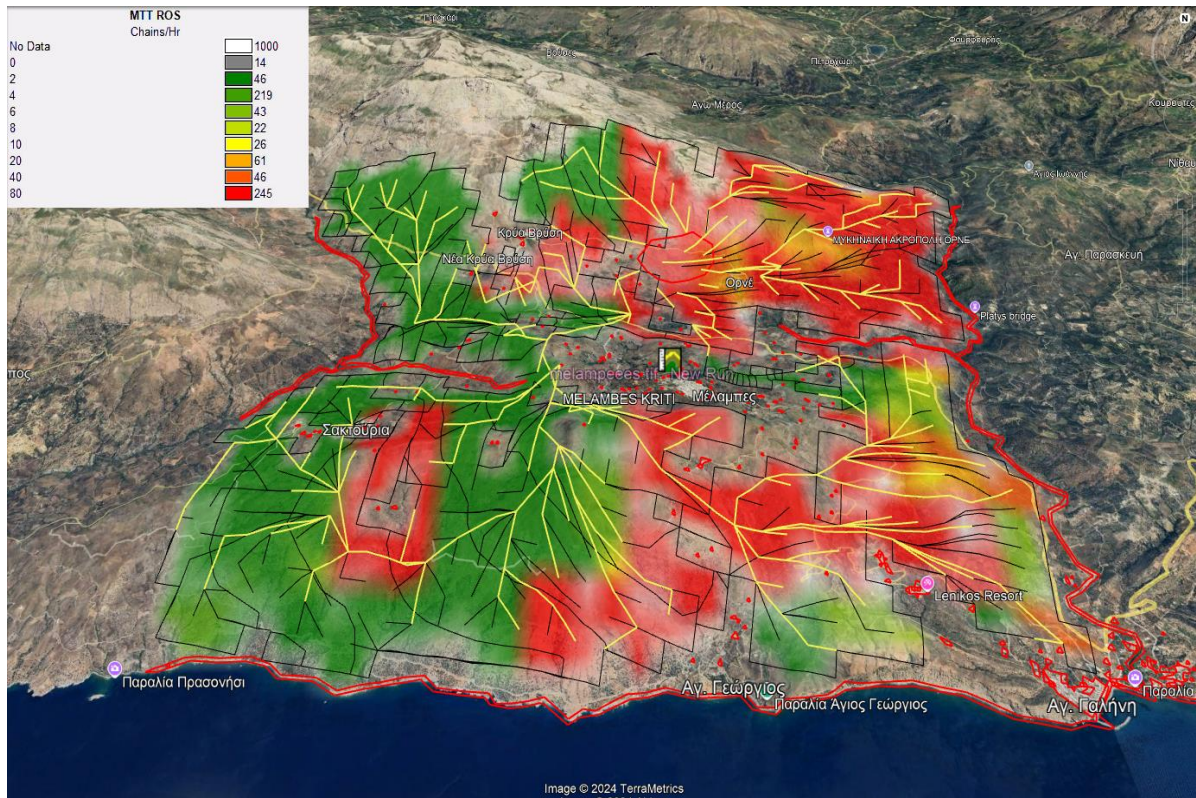
Wind Speed (km/h)	15-37
Wind Direction (°)	0-338
Έκταση Καμένης Γης (Κατά Προσέγγιση)	
Έκταση Καμένης Γης (km ²)	50,9
Περίμετρος Καμένης Γης (km)	64,9

7.6 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 13

Σε αυτό το χρονικό διάστημα των δεκατριών ημερών από το ξεκίνημα της φωτιάς, η κατάσταση της πορείας δίνεται παρακάτω (15-27/07/22).



Εικόνα 7.11 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 13η Ημέρα



Εικόνα 7.12 Απεικόνιση MTT ROS για την 13η Ημέρα

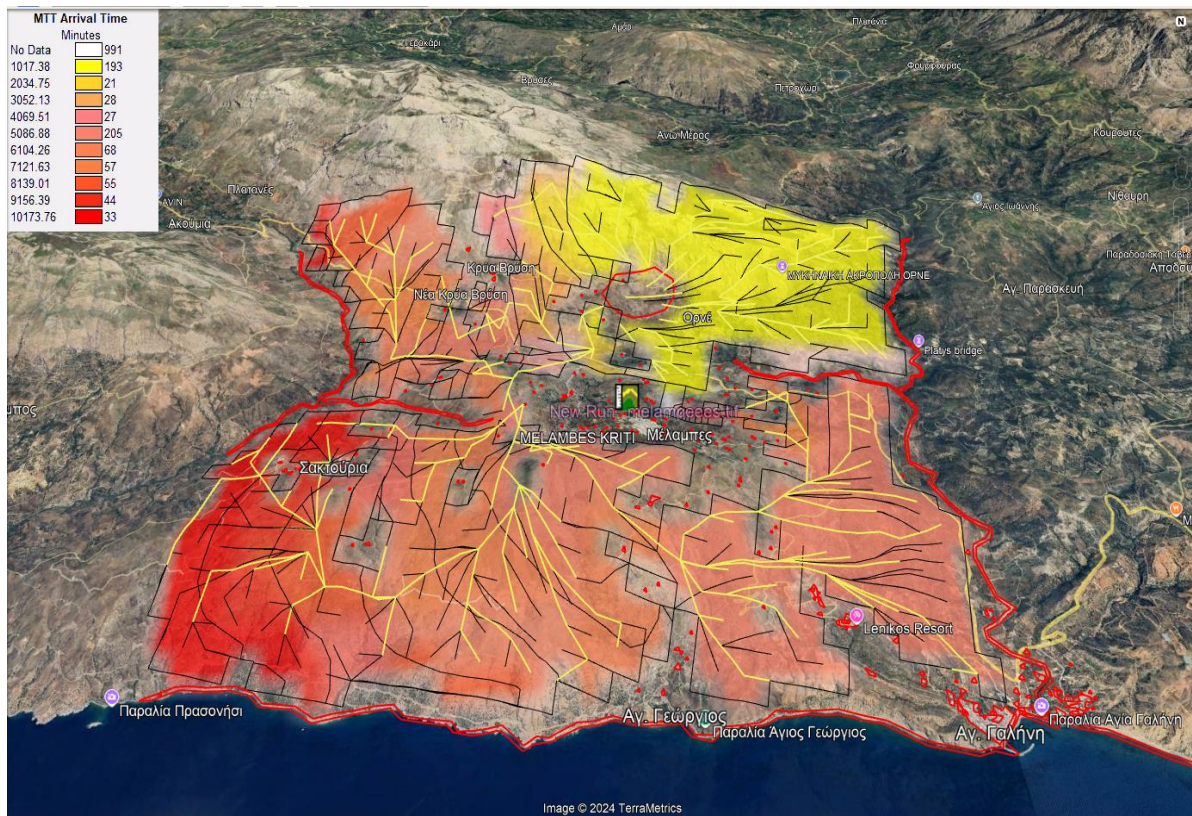
Πίνακας 7.6 Πίνακας Στοιχείων για την 13η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς

Πίνακας Δεδομένων Προσομοίωσης Ημέρας 13ης (27/07/22)	
Minimum Travel Time Inputs	
Resolution of Calculations (m)	250
Maximum Simulation Time (min)	18720
Interval for Minimum Travel Paths (m)	500
Spot Probability (%)	0
Spotting Delay (min)	0
Lateral Search Depths (m)	6
Vertical Search Depths (m)	4
Καιρικά Δεδομένα	
Temperature (°C)	24-30
RH (%)	12-43
Wind Speed (km/h)	11-29
Wind Direction (°)	0-338

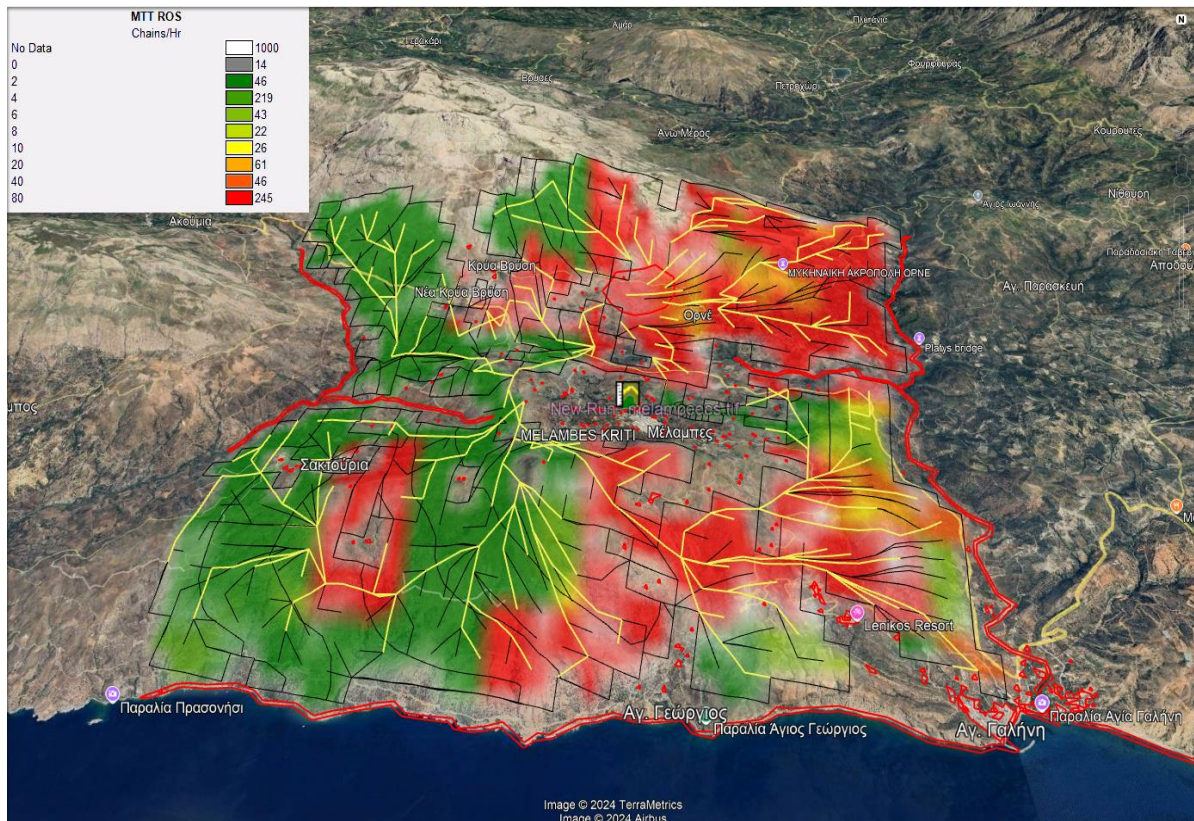
Έκταση Καμένης Γης (Κατά Προσέγγιση)	
Έκταση Καμένης Γης (km ²)	50,9
Περίμετρος Καμένης Γης (km)	64,9

7.7 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 14

Με την προσομοίωση να πλησιάζει προς το τέλος της, παρουσιάζεται η κατάσταση της πυρκαγιάς σχεδόν μία ημέρα πριν την ολοκλήρωσή της. Στις παρακάτω εικόνες (15-28/07/2022), αποτυπώνεται η πορεία και η εξέλιξη της φωτιάς, δίνοντας μια ξεκάθαρη εικόνα για το μέγεθος της καταστροφής έως αυτό το σημείο.



Εικόνα 7.13 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 14η Ημέρα



Εικόνα 7.14 Απεικόνιση MTT ROS για την 14η Ημέρα

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες σημαντικά δεδομένα και αποτελέσματα της προσομοίωσης για την ημέρα 14:

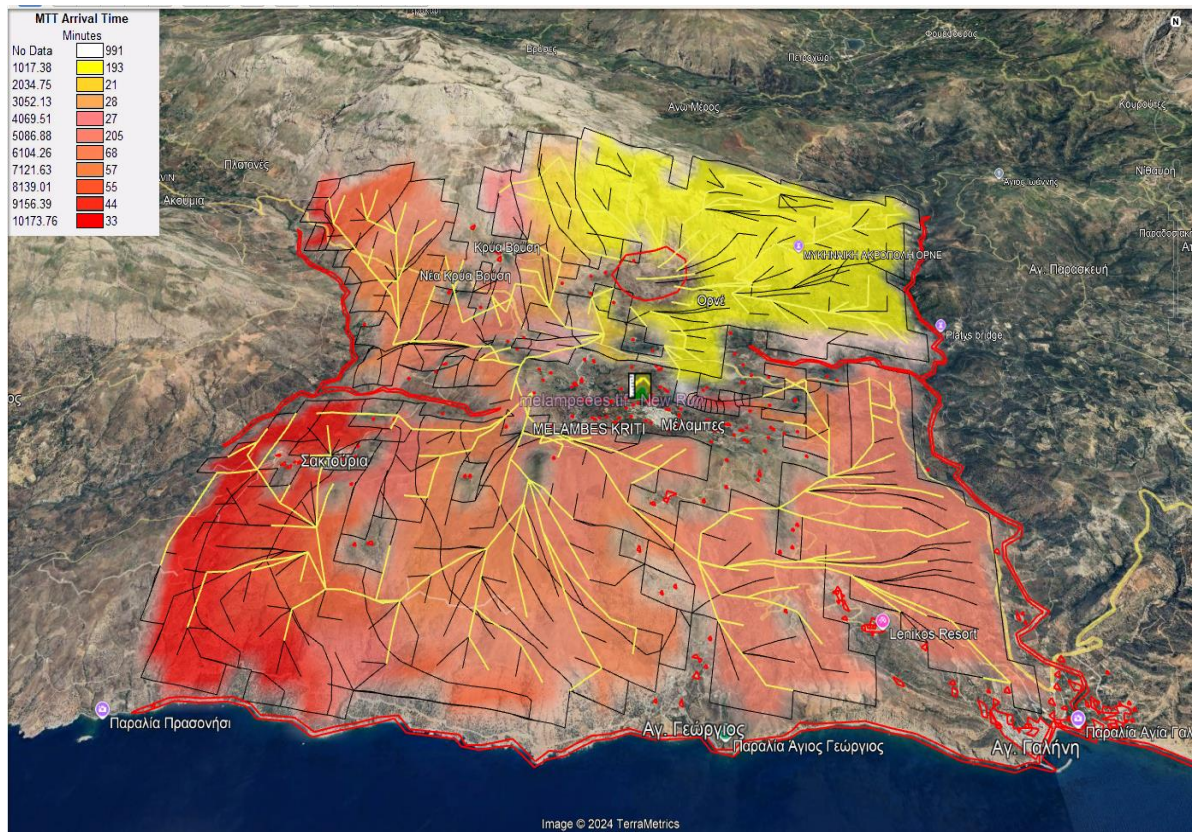
Πίνακας 7.7 Πίνακας Στοιχείων για την 14η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς

Πίνακας Δεδομένων Προσομοίωσης Ημέρας 14ης (28/07/22)	
Minimum Travel Time Inputs	
Resolution of Calculations (m)	250
Maximum Simulation Time (min)	20160
Interval for Minimum Travel Paths (m)	500
Spot Probability (%)	0
Spotting Delay (min)	0
Lateral Search Depths (m)	6
Vertical Search Depths (m)	4
Καιρικά Δεδομένα	
Temperature (°C)	23-30

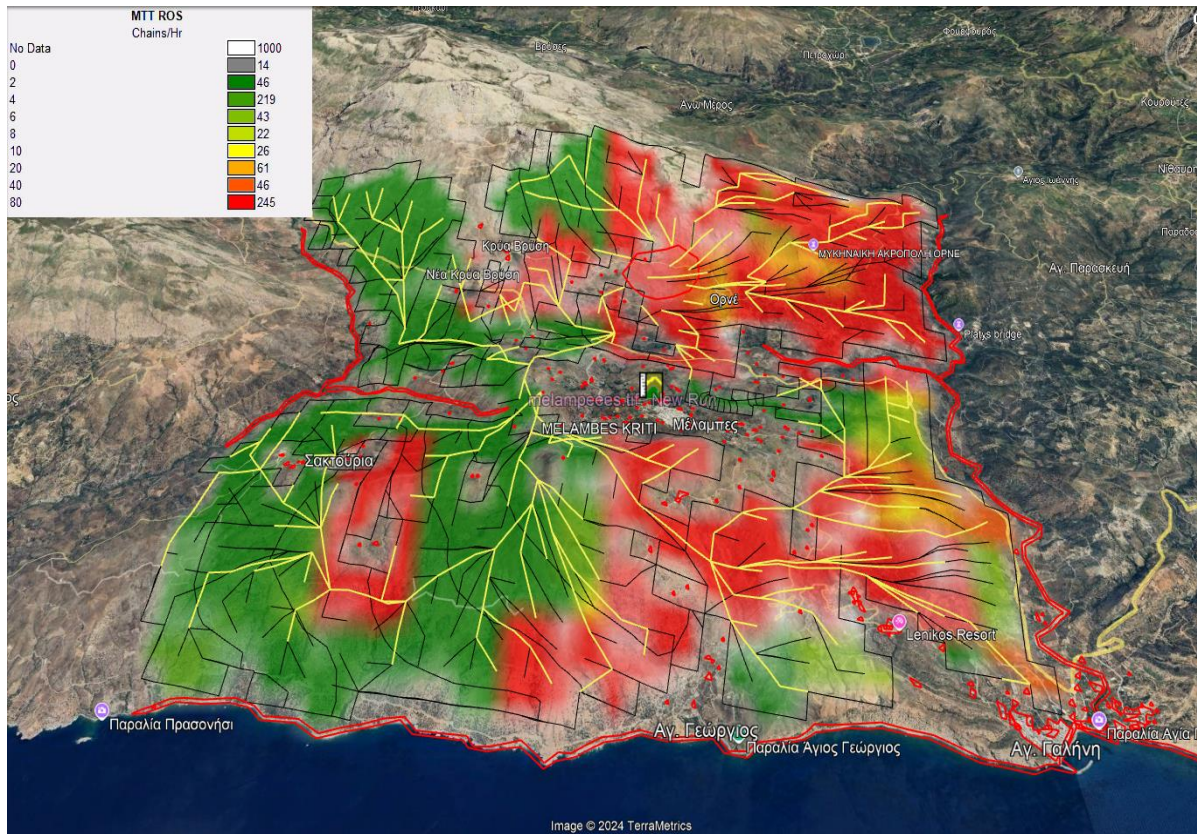
RH (%)	33-52
Wind Speed (km/h)	6-26
Wind Direction (°)	0-315
Έκταση Καμένης Γης (Κατά Προσέγγιση)	
Έκταση Καμένης Γης (km ²)	50,9
Περίμετρος Καμένης Γης (km)	64,9

7.8 Αποτελέσματα Προσομοίωσης - Ημέρα 15

Καταλήγοντας, στην τελευταία ημέρα της πυρκαγιάς, που ολοκληρώθηκε μετά από 15 ημέρες (15-29/07/2022), αποτυπώνεται η πορεία της φωτιάς όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 7.15 Απεικόνιση MTT Arrival Time για την 15η Ημέρα



Εικόνα 7.16 Απεικόνιση MTT ROS για την 15η Ημέρα

Και παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τις χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της φωτιάς την τελευταία ημέρα της προσομοίωσης.

Πίνακας 7.8 Πίνακας Στοιχείων για την 15η Ημέρα Προσομοίωσης Πυρκαγιάς

Πίνακας Δεδομένων Προσομοίωσης Ημέρας 15ης (29/07/22)	
Minimum Travel Time Inputs	
Resolution of Calculations (m)	250
Maximum Simulation Time (min)	21600
Interval for Minimum Travel Paths (m)	500
Spot Probability (%)	0
Spotting Delay (min)	0
Lateral Search Depths (m)	6
Vertical Search Depths (m)	4
Καιρικά Δεδομένα	
Temperature (°C)	22-28
RH (%)	33-67

Wind Speed (km/h)	8-27
Wind Direction (°)	0-338
Έκταση Καμένης Γης (Κατά Προσέγγιση)	
Έκταση Καμένης Γης (km²)	50,9
Περίμετρος Καμένης Γης (km)	64,9