

Interreg



Co-funded by
the European Union

IPA ADRION

RES2FIRE

Έκθεση εκτίμησης ζημιών από πυρκαγιές μέσω τεχνικών τηλεπισκόπησης (Παράρτημα για το Δ. Μαραθώνος)

Πακέτο Εργασίας 3

Ανάλυση της ανθεκτικότητας των οικοσυστημάτων στην εξάπλωση της πυρκαγιάς
(Παραδοτέο **3.1.1**)

Project full title:	Models and Tools for Enhancing the Resistance and the Resilience to Wildfire in Natural Protected Areas and Wildland-Urban Interfaces
Project acronym:	RES2FIRE
Program priority:	Supporting a greener and climate resilient Adriatic-Ionian region
Specific objective:	SO 2.1: Enhancing resilience to climate change, natural and man-made disasters in the Adriatic-Ionian region

Το παρόν έχει παραχθεί με τη χρηματοδοτική συνδρομή της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το περιεχόμενο του εγγράφου αποτελεί αποκλειστική ευθύνη της AVMap GIS A.E. και σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι αντανακλά τις απόψεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης και/ή των αρχών του Προγράμματος IPA ADRION.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	4
2. Μεθοδολογία	5
3. Ανατολική Αττική – Δήμος Μαραθώνος	7
3.1. Πυρκαγιά της 28/07/2005	7
3.2. Πυρκαγιά της 14/08/2005	8
3.3. Πυρκαγιά της 20/07/2006	9
3.4. Πυρκαγιά της 31/07/2008	11
3.5. Πυρκαγιά της 22/08/2009	12
3.6. Πυρκαγιά της 17/07/2010	14
3.7. Πυρκαγιά της 08/07/2012	15
3.8. Πυρκαγιά της 20/06/2016	17
3.9. Πυρκαγιά της 23/07/2018	18
3.10. Πυρκαγιά της 04/09/2019	20
3.11. Πυρκαγιά της 09/09/2020	22
3.12. Πυρκαγιά της 19/07/2022	23
3.13. Πυρκαγιά της 02/09/2022	25
3.14. Πυρκαγιά της 12/10/2023	26
3.15. Πυρκαγιά της 11/08/2024	28
3.16. Συνολική αποτίμηση Δήμου Μαραθώνος – Ανάλυση Πυρκαγιών 2005–2024	29
4. Βιβλιογραφία	31

Συντομογραφίες

Συντομογραφία	Επεξήγηση στα αγγλικά	Επεξήγηση στα ελληνικά
BAI	<i>Burned Area Index</i>	Δείκτης Καμένων Περιοχών
CLC	<i>CORINE Land Cover</i>	Κάλυψη/Χρήση Γης – Βάση Δεδομένων CORINE
dNBR	<i>Differenced Normalized Burn Ratio</i>	Διαφορικός Κανονικοποιημένος Δείκτης Καύσης
EEA	<i>European Environment Agency</i>	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος
EPSG:3035	<i>European Projection Reference System (ETRS89 / LAEA Europe)</i>	Ευρωπαϊκό Προβολικό Σύστημα Αναφοράς – ETRS89 / LAEA Europe
ESA	<i>European Space Agency</i>	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος
ETRS89	<i>European Terrestrial Reference System 1989</i>	Ευρωπαϊκό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1989
GEE	<i>Google Earth Engine</i>	Πλατφόρμα Επεξεργασίας Γεωχωρικών Δεδομένων Google Earth Engine
LAEA	<i>Lambert Azimuthal Equal Area projection</i>	Ισο-εμβαδική Προβολή Lambert Azimuthal Equal Area
Landsat	<i>NASA / USGS Landsat Programme</i>	Δορυφορικό πρόγραμμα Landsat της NASA/USGS
MIRBI	<i>Mid-Infrared Burn Index</i>	Μεσοϋπέρυθρος Δείκτης Καύσης
MSK_CLDPRB	<i>Mask Cloud Probability band (Sentinel-2)</i>	Μάσκα Πιθανότητας Νεφών
NBR	<i>Normalized Burn Ratio</i>	Κανονικοποιημένος Δείκτης Καύσης
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>	Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης
NIR	<i>Near Infrared</i>	Εγγύς Υπέρυθρο Φάσμα
QA60	<i>Sentinel-2 Cloud Mask band</i>	Κανάλι Ποιότητας Νεφών (παλαιότερη μάσκα Sentinel)
QGIS	<i>Quantum GIS (Geographic Information System)</i>	Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών QGIS
SCL	<i>Scene Classification Layer (Sentinel-2)</i>	Στρώμα Ταξινόμησης Σκηνής
Sentinel-2	<i>Copernicus Sentinel-2 Earth Observation Mission</i>	Δορυφορικό Πρόγραμμα Παρατήρησης Γης Copernicus
SR	<i>Surface Reflectance</i>	Ανακλαστικότητα Επιφάνειας
SWIR	<i>Short-Wave Infrared</i>	Βραχύ Υπέρυθρο Φάσμα

TOA	<i>Top Of Atmosphere</i>	Ανάκλαση Στην Κορυφή Της Ατμόσφαιρας
USGS	<i>United States Geological Survey</i>	Γεωλογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών
WGS84	<i>World Geodetic System 1984</i>	Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα 1984

1. Εισαγωγή

Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει την αναλυτική αποτίμηση της έντασης καύσης (Burn Severity) για τις ελληνικές περιοχές που αποτέλεσαν μελέτες περίπτωσης στο πλαίσιο του έργου **RES2FIRE (Interreg IPA ADRIAN Programme)**. Η ανάλυση καλύπτει το χρονικό διάστημα **2005–2024**, περιλαμβάνοντας συνολικά **δεκαπέντε πυρκαγιές στην Ανατολική Αττική, στο Δήμο Μαραθώνος**.

Στόχος της ενότητας είναι η επιστημονική τεκμηρίωση της χωρικής κατανομής και της έντασης των καμένων εκτάσεων, η σύγκριση μεταξύ περιοχών και η ανάδειξη των διαφορών στη συμπεριφορά των οικοσυστημάτων και της βλάστησης υπό συνθήκες πυρκαγιών.

Η Ελλάδα αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα μεσογειακού οικοσυστήματος, με θερινό θερμομεσογειακό κλίμα, πολυτεμαχισμένο ανάγλυφο και ισχυρή ανθρώπινη πίεση. Οι συνθήκες αυτές οδηγούν στην ανάπτυξη πυρο-προσαρμοσμένων τύπων βλάστησης, αλλά και σε υψηλή ευπάθεια σε ακραία πυρικά φαινόμενα. Η αξιοποίηση δορυφορικών δεδομένων Sentinel-2 και Landsat, μέσω της πλατφόρμας Google Earth Engine (GEE), καθιστά δυνατή την αντικειμενική, χωρικά συνεπή και συγκρίσιμη εκτίμηση της έντασης καύσης σε εθνικό επίπεδο.

Στην παρούσα έκδοση του παραδοτέου γίνεται αναφορά μόνο στο Δήμο Μαραθώνος, στην Ανατολική Αττική στην Ελλάδα.

Για τις λοιπές περιοχές μελέτης που αναφέρονται κάτωθι, βλέπε το συνολικό παραδοτέο D3.1.1 του έργου: <https://res2fire.interreg-ipa-adrion.eu/library/>.

- Appennino Lucano Val d'Agri Lagonegrese National Park, Italy
- Sutjeska National Park, Bosnia and Herzegovina
- Shebenik Jabllanika National Park, Albania
- Velventos Forest, Greece
- Osogovo Mountains, North Macedonia
- Municipality of Potenza, Italy
- City of Kocani, North Macedonia
- Municipality of Loznica, Serbia
- Kozara National Park, Bosnia and Herzegovina

2. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε περιλαμβάνει τέσσερα βασικά στάδια:

Επιλογή δορυφορικών δεδομένων

Για κάθε πυρκαγιά επιλέχθηκαν οι βέλτιστες διαθέσιμες εικόνες από τις σειρές:

- Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI, και
- Sentinel-2 MSI Level-2A (Copernicus Programme).

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε ανάλυση 20–30 m, με γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS84 (EPSG:4326).

Προεπεξεργασία και νεφοκάλυψη

- Για τις εικόνες Landsat εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος Top-of-Atmosphere (TOA strict cloud mask).
- Για τις εικόνες Sentinel-2 χρησιμοποιήθηκαν τα πεδία Scene Classification Layer (SCL) και Cloud Probability Filter (CLDPRB < 40%), ώστε να αποκλειστούν περιοχές με νεφώσεις ή σκιές.

Περίοδοι pre-fire και post-fire

Για κάθε περιστατικό επιλέχθηκε χρονικό παράθυρο ± 30 ημερών:

- Pre-fire: από 30 ημέρες πριν τη φωτιά έως την ημερομηνία εκδήλωσης,
- Post-fire: από την ημερομηνία εκδήλωσης έως 30 ημέρες μετά. Σε κάθε παράθυρο αξιολογήθηκαν πολλαπλές εικόνες (συνήθως 5–6), από τις οποίες επιλέχθηκαν εκείνες με τη μικρότερη νεφοκάλυψη.

Υπολογισμός δείκτη dNBR

Ο δείκτης **Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR)** υπολογίστηκε με βάση τη φασματική αντίθεση μεταξύ των καναλιών **NIR** και **SWIR**, σύμφωνα με τη μεθοδολογία **Key & Benson (2006)**:

$$dNBR = \frac{(NIR_{pre} - SWIR_{pre})}{(NIR_{pre} + SWIR_{pre})} - \frac{(NIR_{post} - SWIR_{post})}{(NIR_{post} + SWIR_{post})}$$

Οι τιμές του dNBR ταξινομήθηκαν σε τέσσερις κλάσεις έντασης καύσης:

1. Low (ήπια επίδραση)
2. Moderate-Low (μερική καύση)
3. Moderate-High (εκτεταμένη θερμική επίδραση)
4. High (ολοκληρωτική καύση κόμης και υπορόφου)

Σύνθεση κάλυψης γης (CLC 2018)

Για κάθε καμένη έκταση υπολογίσθηκε η σύνθεση των τύπων κάλυψης γης βάσει του Corine Land Cover 2018 (CLC2018). Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε στο προβολικό σύστημα ETRS89 / LAEA Europe (EPSG:3035) για ακριβή υπολογισμό επιφανειών. Οι καμένες περιοχές διασταυρώθηκαν με τον θεματικό κάρναβο CLC και υπολογίστηκε η αναλογία (%) κάθε κατηγορίας, επιτρέποντας την ερμηνεία της έντασης καύσης ανά τύπο οικοσυστήματος (δάση, θαμνώνες, αγροτικές εκτάσεις, τεχνημένες επιφάνειες).

3. Ανατολική Αττική – Δήμος Μαραθώνος

Η Ανατολική Αττική αποτελεί μία από τις πλέον ευάλωτες περιοχές της Ελλάδας σε δασικές πυρκαγιές, καθώς συνδυάζει πυκνή περιαστική βλάστηση, συνεχή οικιστική εξάπλωση και μορφολογική ποικιλία με έντονες κλίσεις και εκτεθειμένες νότιες πλαγιές. Οι πυρκαγιές που μελετήθηκαν στο πλαίσιο του RES2FIRE καλύπτουν πολλαπλά επεισόδια τα οποία αποτυπώνουν διαφορετικούς τύπους καύσης, με χαρακτηριστικά υψηλής έντασης και ταχείας εξάπλωσης.

Στην περιοχή του Δήμου Μαραθώνα εντοπίστηκαν 15 πυρκαγιές για την περίοδο 2005–2024, οι οποίες αναλύθηκαν χωρικά και φασματικά με δορυφορικά δεδομένα Landsat και Sentinel-2.

3.1. Πυρκαγιά της 28/07/2005

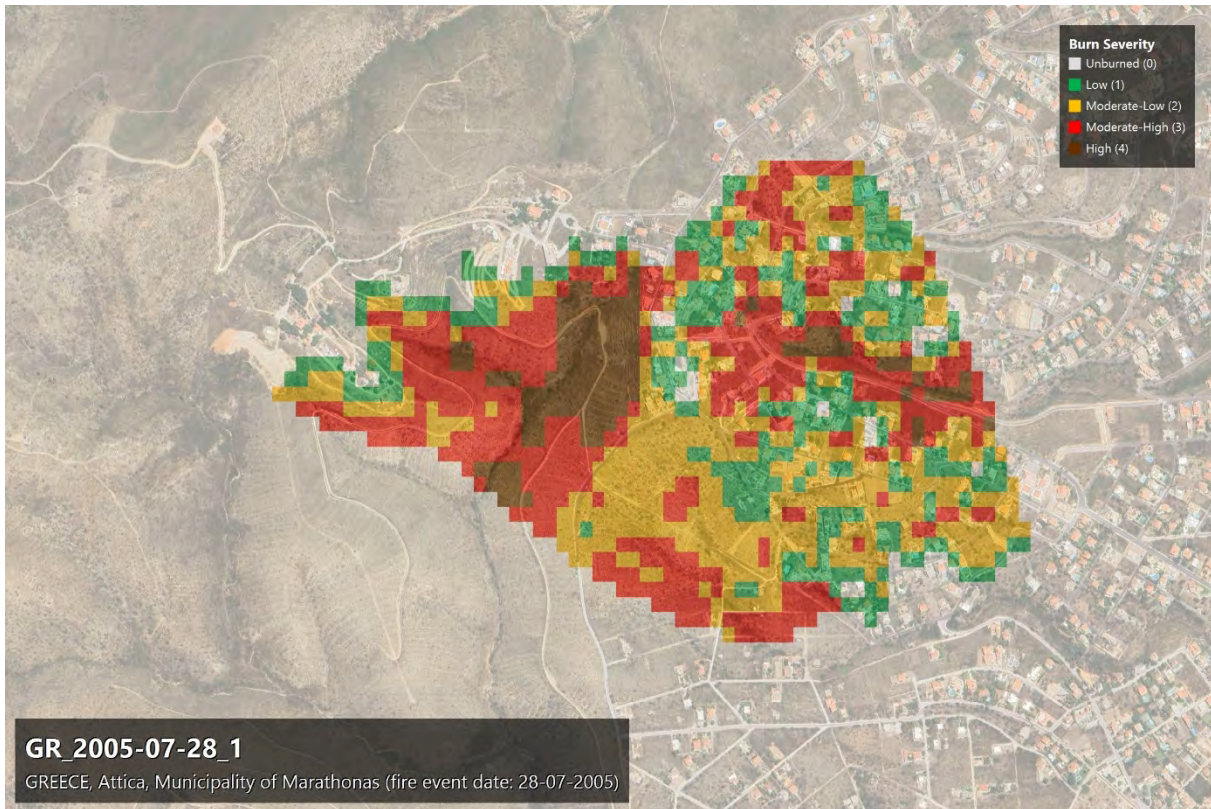
Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 28/07/2005 στον Δήμο Μαραθώνος αναλύθηκε με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Landsat, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 30 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση της μάσκας αυστηρής διόρθωσης ατμόσφαιρας (Landsat Top-of-Atmosphere strict cloud mask).

Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης: (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα). Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 0,82 km², με την ακόλουθη κατανομή:

- 0,18 km² χαμηλής έντασης (21,6%)
- 0,28 km² μέτριας–χαμηλής έντασης (34,5%)
- 0,28 km² μέτριας–υψηλής έντασης (33,9%)
- 0,08 km² υψηλής έντασης (10,0%)

Κατά τη προ-πυρική περίοδο (28/06/2005 έως 28/07/2005), αξιολογήθηκαν 7 υποψήφιες εικόνες, ενώ η τελική επιλεγείσα σκηνή ήταν η Landsat της 28/07/2005. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (28/07/2005 έως 27/08/2005), εξετάστηκαν 4 εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Landsat της 28/07/2005. Εφαρμόστηκε εφεδρική μεθοδολογική προσέγγιση (fallback) με το κριτήριο Landsat Top-of-Atmosphere ±30 ημερών strict.

Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης (βάσει του Corine Land Cover 2018) αποτελείται κατά 64,4% από διάσπαρτο αστικό ιστό (κωδικός 112) και κατά 35,4% από περιοχές αραιής βλάστησης (κωδικός 333). Το περιορισμένο ποσοστό τεχνητών ή αστικών εκτάσεων υποδηλώνει ελάχιστες άμεσες ζημιές στις υποδομές.



Εικόνα 1 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 28/07/2005 – Δήμος Μαραθώνα

3.2. Πυρκαγιά της 14/08/2005

Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 14/08/2005 στον Δήμο Μαραθώνος (Αττική) αναλύθηκε με χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Landsat, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 30 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση της μάσκας αυστηρής διόρθωσης ατμόσφαιρας Landsat Top-of-Atmosphere (TOA strict cloud mask).

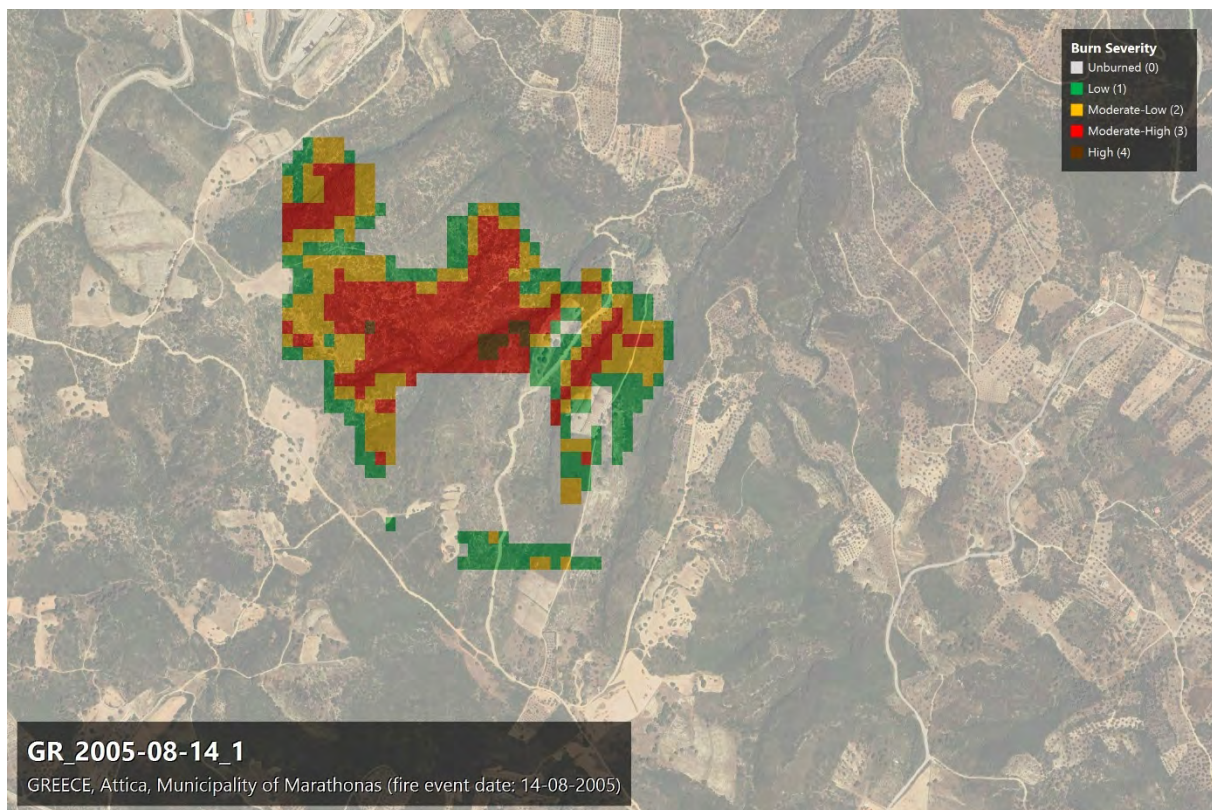
Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα).

Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 0,37 km², με την ακόλουθη κατανομή:

- 0,11 km² χαμηλής έντασης (29,3%)
- 0,12 km² μέτριας–χαμηλής έντασης (31,4%)
- 0,14 km² μέτριας–υψηλής έντασης (37,6%)
- 0,01 km² υψηλής έντασης (1,8%)

Κατά την προ-πυρική περίοδο (15/07/2005 έως 14/08/2005) αξιολογήθηκαν 5 υποψήφιες εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Landsat της 14/08/2005. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (14/08/2005 έως 13/09/2005) εξετάστηκαν 8 εικόνες, με τελική επιλογή την Landsat της 14/08/2005. Εφαρμόστηκε εφεδρική μεθοδολογική προσέγγιση (fallback) με το κριτήριο Landsat Top-of-Atmosphere ± 30 ημερών strict.

Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, αποτελείται κατά 69,2% από σκληρόφυλλη βλάστηση (κωδικός 323) και κατά 30,8% από αγροτικές εκτάσεις με φυσική βλάστηση (κωδικός 243). Η επικράτηση δασικών και ημιφυσικών περιοχών υποδηλώνει ότι η πυρκαγιά επηρέασε κυρίως οικοσυστήματα με υψηλή βιομάζα και πυκνή φυτοκάλυψη, ευάλωτα σε έντονη θερμική απόδοση και μεταπυρική εδαφική διάβρωση.



Εικόνα 2 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 14/08/2005 – Δήμος Μαραθώνα

3.3. Πυρκαγιά της 20/07/2006

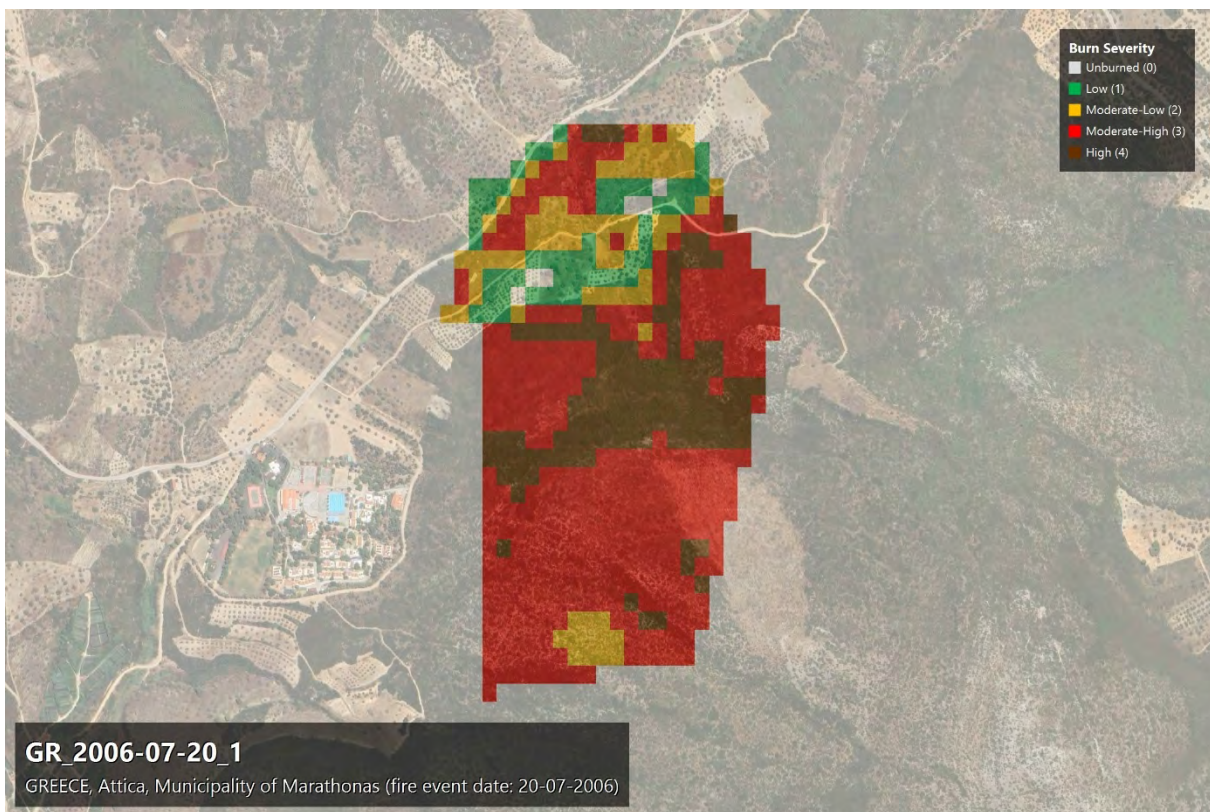
Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 20/07/2006 στον Δήμο Μαραθώνος (Αττική) αναλύθηκε με χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Landsat, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 30 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση της μάσκας αυστηρής διόρθωσης ατμόσφαιρας Landsat Top-of-Atmosphere (TOA strict cloud

mask). Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια-Χαμηλή, 3 = Μέτρια-Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα). Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 0,38 km², με την ακόλουθη κατανομή:

- 0,04 km² χαμηλής έντασης (9,7%)
- 0,05 km² μέτριας-χαμηλής έντασης (13,2%)
- 0,22 km² μέτριας-υψηλής έντασης (56,3%)
- 0,08 km² υψηλής έντασης (20,8%)

Κατά τη προ-πυρική περίοδο (20/06/2006 έως 20/07/2006) αξιολογήθηκαν 14 υποψήφιες εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Landsat της 20/07/2006. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (20/07/2006 έως 19/08/2006) εξετάστηκαν 12 εικόνες, με τελική επιλογή επίσης τη Landsat της 20/07/2006. Εφαρμόστηκε εφεδρική μεθοδολογική προσέγγιση (fallback) με το κριτήριο Landsat Top-of-Atmosphere ± 30 ημερών strict.

Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, αποτελείται κατά 94,9% από σκληρόφυλλη βλάστηση (κωδικός 323) και κατά 5,1% από ελαιώνες (κωδικός 223). Η επικράτηση δασικών και ημιφυσικών περιοχών υποδηλώνει ότι η πυρκαγιά επηρέασε κυρίως οικοσυστήματα με υψηλή βιομάζα και πυκνή φυτοκάλυψη, τα οποία είναι ευάλωτα σε έντονη θερμική απόδοση και πιθανή μεταπυρική εδαφική διάβρωση.



Εικόνα 3 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 20/07/2006 – Δήμος Μαραθώνα

3.4. Πυρκαγιά της 31/07/2008

Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 31/07/2008 στον Δήμο Μαραθώνος αναλύθηκε με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Landsat, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 30 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση της μάσκας αυστηρής διόρθωσης ατμόσφαιρας Landsat Top-of-Atmosphere (TOA strict cloud mask).

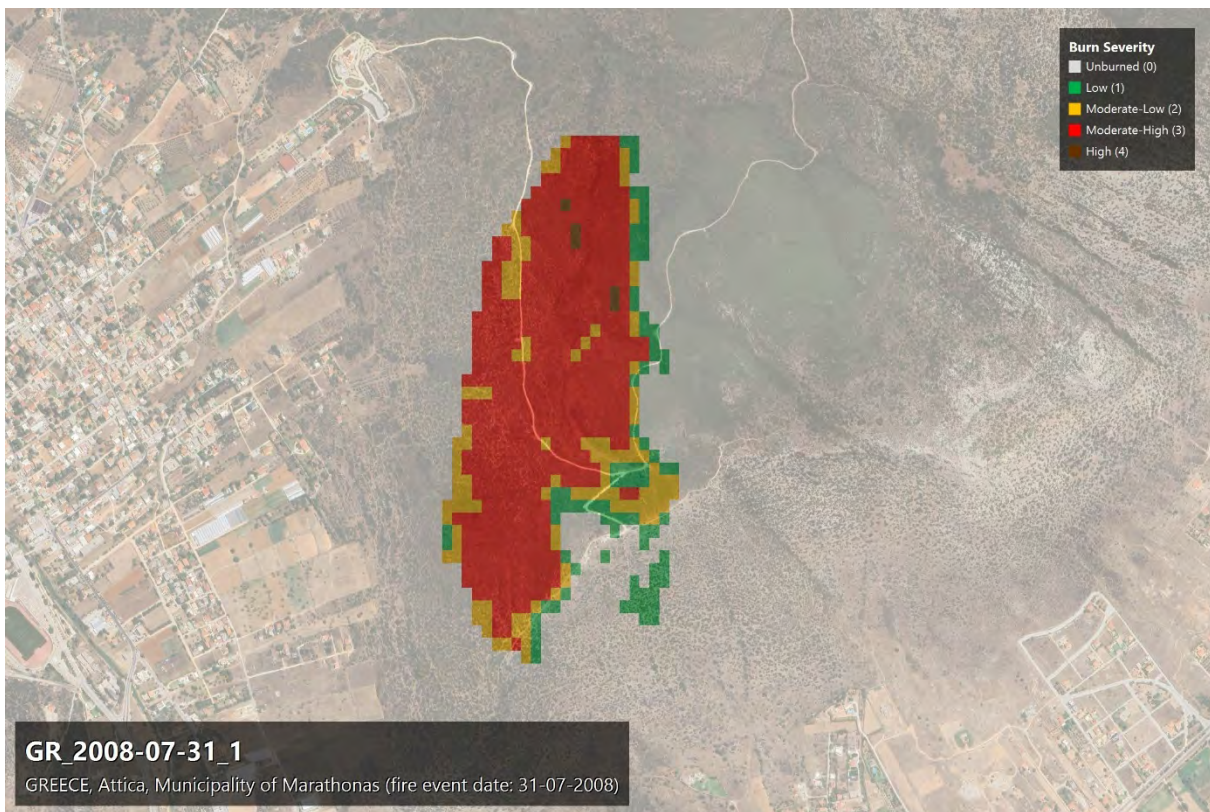
Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα).

Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 0,45 km², με την ακόλουθη κατανομή:

- 0,06 km² χαμηλής έντασης (13,2%)
- 0,08 km² μέτριας–χαμηλής έντασης (17,5%)
- 0,31 km² μέτριας–υψηλής έντασης (68,6%)
- 0,00 km² υψηλής έντασης (0,8%)

Κατά τη προ-πυρική περίοδο (01/07/2008 έως 31/07/2008) αξιολογήθηκαν 8 υποψήφιες εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Landsat της 31/07/2008. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (31/07/2008 έως 30/08/2008) εξετάστηκαν 8 εικόνες, με τελική επιλογή επίσης τη Landsat της 31/07/2008. Εφαρμόστηκε εφεδρική μεθοδολογική προσέγγιση (fallback) με το κριτήριο Landsat Top-of-Atmosphere ±30 ημερών strict.

Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, αποτελείται κατά 96,4% από σκληρόφυλλη βλάστηση (κωδικός 323) και κατά 3,6% από φυσικά λιβάδια (κωδικός 321). Η επικράτηση δασικών και ημιφυσικών περιοχών υποδηλώνει ότι η πυρκαγιά επηρέασε κυρίως οικοσυστήματα υψηλής βιομάζας και πυκνής φυτοκάλυψης, τα οποία είναι ευάλωτα σε έντονη θερμική απόδοση και πιθανή μεταπυρική εδαφική διάβρωση. Η παρουσία λιβαδικών σχηματισμών καταδεικνύει χαμηλότερης έντασης επιφανειακές καύσεις με σχετικά ταχεία φυσική αναγέννηση, ωστόσο η επαναλαμβανόμενη εμφάνιση πυρκαγιών ενδέχεται να προκαλέσει υποβάθμιση της εδαφικής δομής και απώλεια ποώδους βλάστησης.



Εικόνα 4 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 31/07/2008 – Δήμος Μαραθώνα

3.5. Πυρκαγιά της 22/08/2009

Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 22/08/2009 στον Δήμο Μαραθώνος (Περιφέρεια Αττικής) αναλύθηκε με χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Landsat, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 30 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση της μάσκας αυστηρής διόρθωσης ατμόσφαιρας Landsat Top-of-Atmosphere (TOA strict cloud mask).

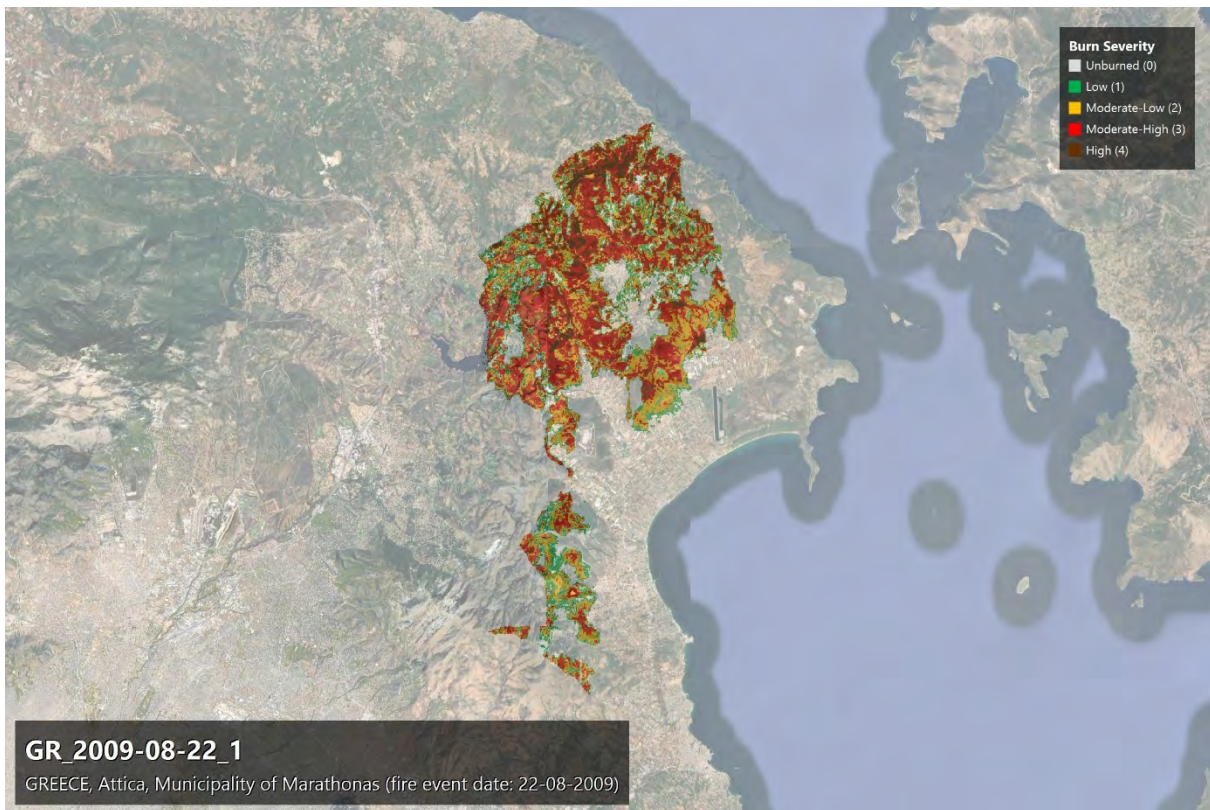
Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα). Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 83,71 km², με την ακόλουθη κατανομή:

- 16,69 km² χαμηλής έντασης (19,9%)
- 25,74 km² μέτριας–χαμηλής έντασης (30,8%)
- 33,81 km² μέτριας–υψηλής έντασης (40,4%)
- 7,47 km² υψηλής έντασης (8,9%)

Κατά τη προ-πυρική περίοδο (23/07/2009 έως 22/08/2009) αξιολογήθηκαν 7 υποψήφιες δορυφορικές εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Landsat της 22/08/2009. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (22/08/2009 έως 21/09/2009) εξετάστηκαν επίσης 7 εικόνες, με τελική επιλογή τη Landsat της 22/08/2009. Εφαρμόστηκε εφεδρική μεθοδολογική προσέγγιση (fallback) με το κριτήριο Landsat Top-of-Atmosphere ± 30 ημερών strict. Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, είναι:

- 45,1% σκληρόφυλλη βλάστηση (κωδικός 323),
- 20,7% μεταβατικές δασώδεις–θαμνώδεις εκτάσεις (κωδικός 324),
- 16,5% αγροτικές εκτάσεις με φυσική βλάστηση (κωδικός 243),
- 5,2% περιοχές αραιής βλάστησης (κωδικός 333),
- 4,5% ελαιώνες (κωδικός 223),
- 2,6% φυσικά λιβάδια (κωδικός 321),
- 2,1% σύνθετα πρότυπα καλλιέργειας (κωδικός 242), ενώ το υπόλοιπο 3,4% κατανέμεται σε λοιπές κατηγορίες κάλυψης γης.

Η επικράτηση δασικών και ημιφυσικών περιοχών καταδεικνύει ότι η πυρκαγιά επηρέασε κυρίως οικοσυστήματα υψηλής βιομάζας και πυκνής φυτοκάλυψης, τα οποία είναι ευάλωτα σε έντονη θερμική απόδοση και μεταπυρική εδαφική διάβρωση. Η παρουσία λιβαδικών σχηματισμών υποδηλώνει χαμηλότερης έντασης επιφανειακές καύσεις με σχετικά ταχεία φυσική αναγέννηση, ωστόσο η επαναλαμβανόμενη εκδήλωση πυρκαγιών μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση της εδαφικής δομής και μείωση της ποώδους κάλυψης.



Εικόνα 5 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 22/08/2009 – Δήμος Μαραθώνα

3.6. Πυρκαγιά της 17/07/2010

Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 17/07/2010 στον Δήμο Μαραθώνος (Περιφέρεια Αττικής) αναλύθηκε με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Landsat, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 30 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση της μάσκας αυστηρής διόρθωσης ατμόσφαιρας Landsat Top-of-Atmosphere (TOA strict cloud mask).

Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα).

Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 6,35 km², με την ακόλουθη κατανομή:

- 1,41 km² χαμηλής έντασης (22,2%)
- 1,49 km² μέτριας–χαμηλής έντασης (23,5%)
- 2,19 km² μέτριας–υψηλής έντασης (34,6%)
- 1,25 km² υψηλής έντασης (19,7%)

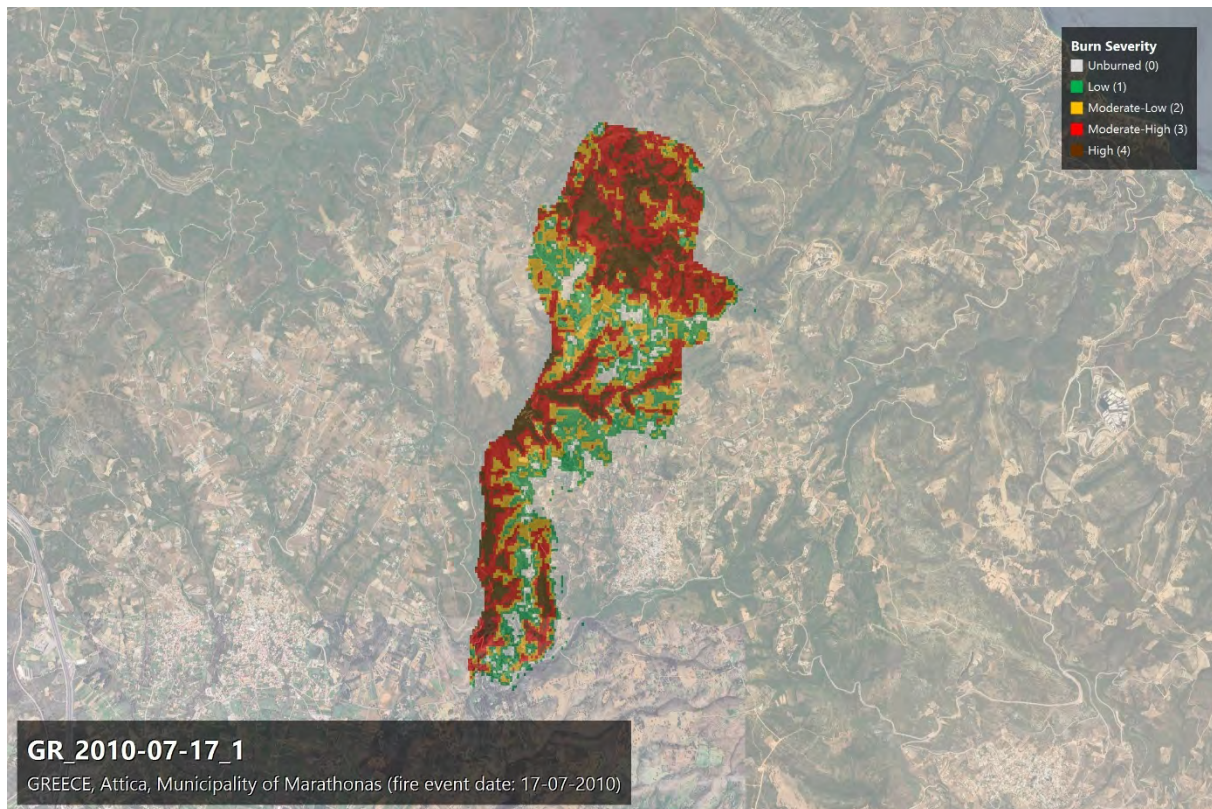
Κατά τη προ-πυρική περίοδο (17/06/2010 έως 17/07/2010) αξιολογήθηκαν 7 υποψήφιες δορυφορικές εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Landsat της 17/07/2010. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (17/07/2010 έως 16/08/2010) εξετάστηκαν 4 εικόνες, με τελική επιλογή επίσης τη Landsat της 17/07/2010. Εφαρμόστηκε εφεδρική μεθοδολογική προσέγγιση (fallback) με το κριτήριο Landsat Top-of-Atmosphere ±30 ημερών strict.

Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, είναι:

- 33,9% καμένες εκτάσεις (κωδικός 334),
- 31,4% μη αρδευόμενες αροτραίες καλλιέργειες (κωδικός 211),
- 29,3% μεταβατικές δασώδεις–θαμνώδεις εκτάσεις (κωδικός 324),
- 4,2% σύνθετα πρότυπα καλλιέργειας (κωδικός 242), ενώ το υπόλοιπο 1,2% κατανέμεται σε λοιπές κατηγορίες κάλυψης γης.

Η επικράτηση δασικών και ημιφυσικών περιοχών, σε συνδυασμό με τις εκτεταμένες γεωργικές εκτάσεις, υποδηλώνει ότι η πυρκαγιά επηρέασε μεικτά αγροδασικά οικοσυστήματα με υψηλό δυναμικό καύσιμης ύλης και μέτρια έως υψηλή ενεργειακή ένταση.

Η ύπαρξη προϋπαρχουσών καμένων εκτάσεων (CLC 334) καταδεικνύει πιθανή επανάληψη πυρκαγιών ή αναζωπυρώσεις, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο υποβάθμισης της εδαφικής γονιμότητας και διάβρωσης.



Εικόνα 6 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 17/07/2010 – Δήμος Μαραθώνα

3.7. Πυρκαγιά της 08/07/2012

Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 08/07/2012 στον Δήμο Μαραθώνος (Περιφέρεια Αττικής) αναλύθηκε με χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Landsat, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 30 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση της μάσκας αυστηρής διόρθωσης ατμόσφαιρας Landsat Top-of-Atmosphere (TOA strict cloud mask).

Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα).

Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 0,66 km², με την ακόλουθη κατανομή:

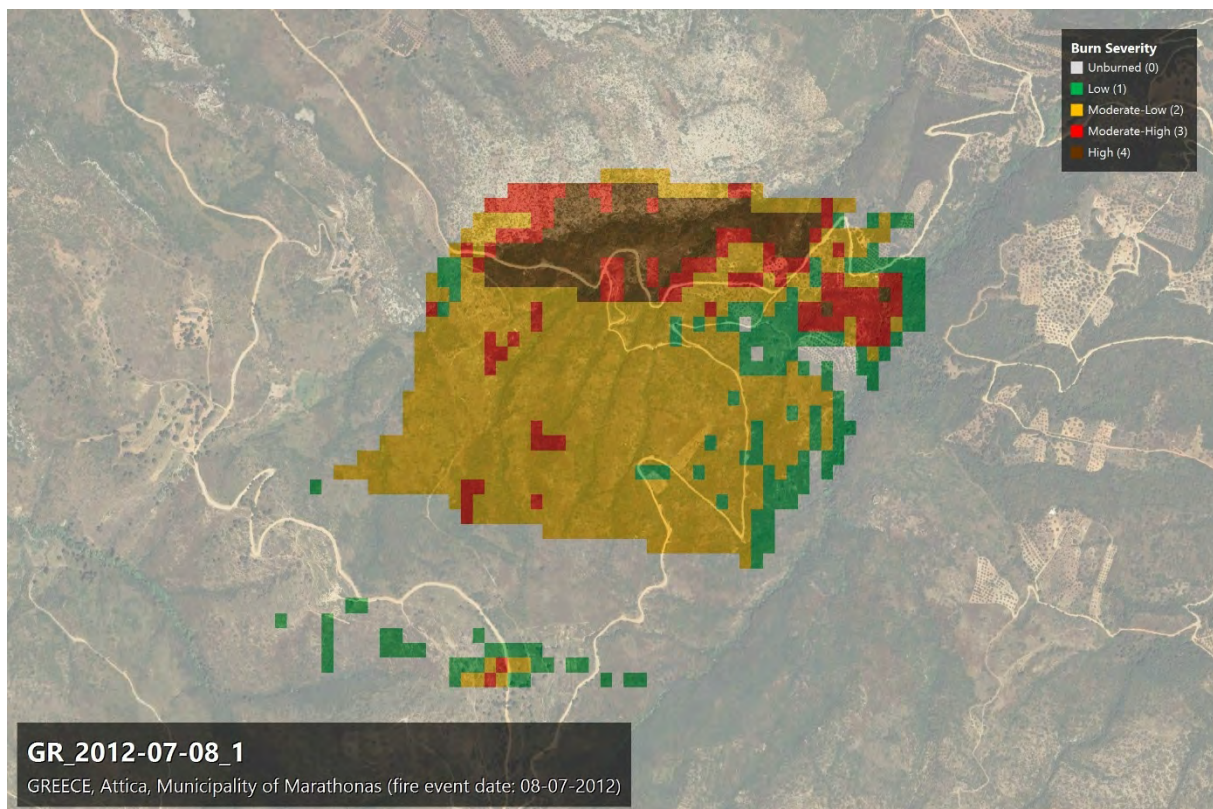
- 0,10 km² χαμηλής έντασης (15,1%)
- 0,40 km² μέτριας–χαμηλής έντασης (60,8%)
- 0,07 km² μέτριας–υψηλής έντασης (11,2%)
- 0,09 km² υψηλής έντασης (12,8%)

Κατά τη προ-πυρική περίοδο (08/06/2012 έως 08/07/2012) αξιολογήθηκαν 2 υποψήφιες δορυφορικές εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Landsat της 08/07/2012. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (08/07/2012 έως 07/08/2012) εξετάστηκαν επίσης 2 εικόνες, με τελική επιλογή τη Landsat της 08/07/2012. Εφαρμόστηκε εφεδρική μεθοδολογική προσέγγιση (fallback) με το κριτήριο Landsat Top-of-Atmosphere ± 30 ημερών strict.

Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, είναι:

- 85,5% καμένες εκτάσεις (κωδικός 334),
- 12,1% αγροτικές εκτάσεις με φυσική βλάστηση (κωδικός 243),
- 2,3% μικτά δάση (κωδικός 313).

Η κυριαρχία των καμένων εκτάσεων (CLC 334) σε συνδυασμό με την παρουσία αγροδασικών περιοχών υποδεικνύει ότι η πυρκαγιά έπληξε ήδη υποβαθμισμένα ή επαναλαμβανόμενα καμένα οικοσυστήματα, με περιορισμένο δυναμικό φυσικής αναγέννησης. Η γειτνίαση μικτών δασών και γεωργικών εκτάσεων πιθανώς συνέβαλε στη γρήγορη εξάπλωση της φωτιάς, ιδίως υπό συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και έντονων ανέμων, αυξάνοντας τον κίνδυνο δευτερογενών διαβρώσεων και απώλειας εδαφικού οργανικού υλικού.



Εικόνα 7 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 08/07/2012 – Δήμος Μαραθώνα

3.8. Πυρκαγιά της 20/06/2016

Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 20/06/2016 στον Δήμο Μαραθώνος (Περιφέρεια Αττικής) αναλύθηκε με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Landsat, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 30 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση της μάσκας αυστηρής διόρθωσης ατμόσφαιρας Landsat Top-of-Atmosphere (TOA strict cloud mask).

Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα).

Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 0,26 km², με την ακόλουθη κατανομή:

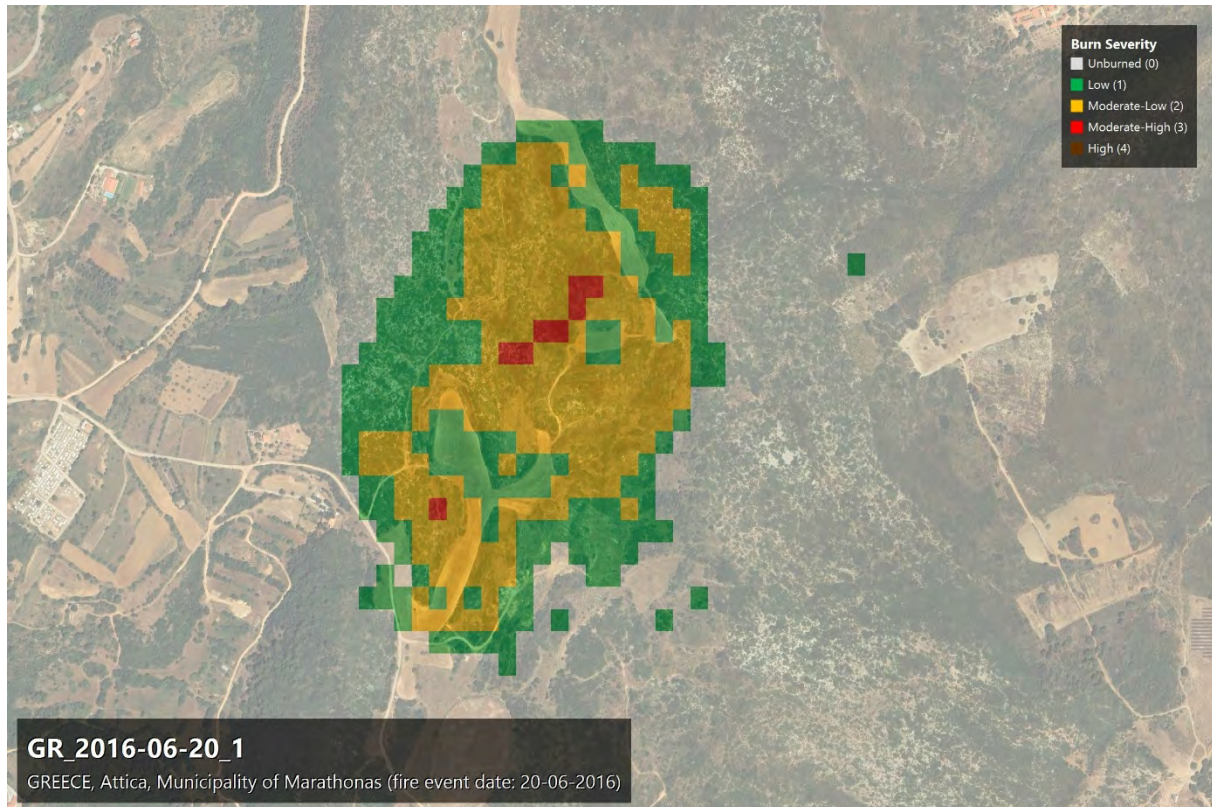
- 0,12 km² χαμηλής έντασης (47,4%)
- 0,13 km² μέτριας–χαμηλής έντασης (50,6%)
- 0,01 km² μέτριας–υψηλής έντασης (2,1%)
- 0,00 km² υψηλής έντασης (0,0%)

Κατά τη προ-πυρική περίοδο (21/05/2016 έως 20/06/2016) αξιολογήθηκαν 16 υποψήφιες δορυφορικές εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Landsat της 20/06/2016. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (20/06/2016 έως 20/07/2016) εξετάστηκαν 14 εικόνες, με τελική επιλογή επίσης τη Landsat της 20/06/2016. Εφαρμόστηκε εφεδρική μεθοδολογική προσέγγιση (fallback) με το κριτήριο Landsat Top-of-Atmosphere ±30 ημερών strict.

Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, είναι:

- 49,7% αγροτικές εκτάσεις με φυσική βλάστηση (κωδικός 243),
- 46,8% σκληρόφυλλη βλάστηση (κωδικός 323),
- 3,5% μεταβατικές δασώδεις–θαμνώδεις εκτάσεις (κωδικός 324).

Η σύνθεση αυτή δείχνει ότι η πυρκαγιά έπληξε κυρίως μικτές αγροδασικές περιοχές με ημιφυσική βλάστηση, χαρακτηριστικές του μεσογειακού τοπίου της Ανατολικής Αττικής. Η κυριαρχία των χαμηλών και μέτριας έντασης καμένων εκτάσεων υποδηλώνει περιορισμένη ενεργειακή απόδοση της φωτιάς, πιθανώς λόγω μωσαϊκού καύσιμης ύλης και προηγούμενων πυρκαγιών που είχαν μειώσει τη διαθέσιμη βιομάζα. Ωστόσο, η παρουσία εκτεταμένων περιοχών σκληρόφυλλης βλάστησης καταδεικνύει σημαντικό οικολογικό ρόλο των καμένων εκτάσεων, καθώς η περιοχή λειτουργεί ως ζώνη αναγέννησης και μετάβασης μεταξύ αστικού και φυσικού περιβάλλοντος, με αυξημένο κίνδυνο επαναλαμβανόμενων πυρκαγιών στο μέλλον.



Εικόνα 8 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 20/06/2016 – Δήμος Μαραθώνα

3.9. Πυρκαγιά της 23/07/2018

Η πυρκαγιά της 23ης Ιουλίου 2018 αποτέλεσε καταστροφικό γεγονός με εκτεταμένες ανθρώπινες και οικολογικές επιπτώσεις. Η καταστροφική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 23/07/2018 αναλύθηκε με χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Sentinel-2 Level-2A, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 20 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση του Sentinel-2 Scene Classification Layer (SCL) και μάσκας πιθανότητας νεφοκάλυψης (cloud-probability masking).

Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα).

Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 6,70 km², με την ακόλουθη κατανομή:

- 1,33 km² χαμηλής έντασης (19,9%)
- 1,59 km² μέτριας–χαμηλής έντασης (23,7%)
- 1,87 km² μέτριας–υψηλής έντασης (27,9%)
- 1,91 km² υψηλής έντασης (28,5%)

Κατά τη προ-πυρική περίοδο (23/06/2018 έως 23/07/2018) αξιολογήθηκαν 12 υποψήφιες δορυφορικές εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Sentinel-2 της 23/07/2018. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (23/07/2018 έως 22/08/2018) εξετάστηκαν επίσης 12 εικόνες, με τελική επιλογή τη Sentinel-2 της 23/07/2018.

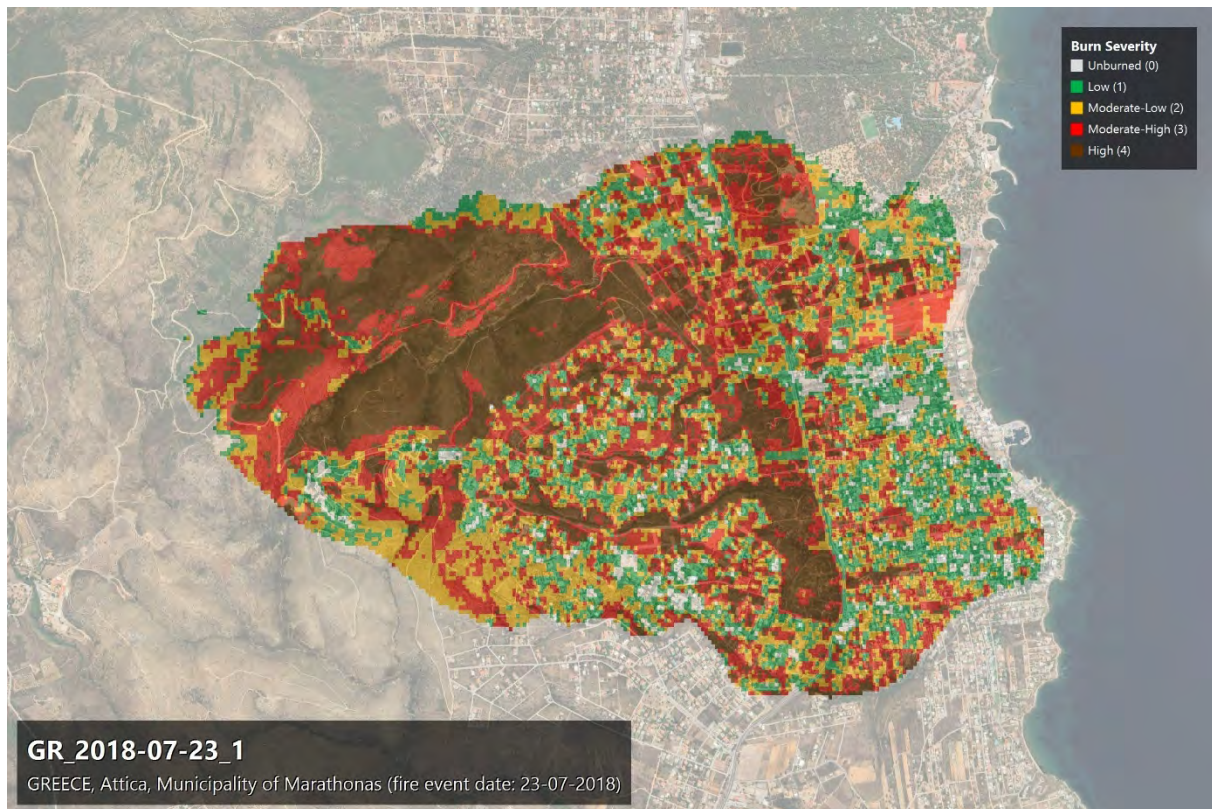
Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, είναι:

- 43,4% ασυνεχούς αστικού ιστού (κωδικός 112),
- 31,4% δασών κωνοφόρων (κωδικός 312),
- 15,7% αθλητικών και χώρων αναψυχής (κωδικός 142),
- 5,2% μεταβατικών δασωδών–θαμνωδών εκτάσεων (κωδικός 324),
- 4,3% περιοχών αραιής βλάστησης (κωδικός 333).

Η συγκεκριμένη πυρκαγιά αποτέλεσε τη σοβαρότερη φυσική καταστροφή της σύγχρονης ιστορίας της Ανατολικής Αττικής, επηρεάζοντας δραματικά το οικιστικό περιβάλλον του Ματιού και του Νέου Βουτζά. Η υψηλή ένταση καύσης (σχεδόν 30%) υποδηλώνει εκτεταμένη απώλεια φυτοκάλυψης και πλήρη θερμική καταστροφή του ανώτερου στρώματος βλάστησης.

Η ταυτόχρονη παρουσία αστικών και δασικών περιοχών στην καμένη ζώνη καθιστά το φαινόμενο τυπικό παράδειγμα αστικοποιημένης δασικής πυρκαγιάς (wildland–urban interface fire), με συνδυασμό οικολογικών και ανθρωπογενών επιπτώσεων.

Η υψηλή συγκέντρωση κατοικημένων περιοχών (CLC 112) στις παρυφές των δασών κωνοφόρων επιδείνωσε τη χωρική αλληλεπίδραση της πυρκαγιάς με τον αστικό ιστό, προκαλώντας τεράστιες ανθρώπινες απώλειες και καταστροφές υποδομών. Παράλληλα, τα μεταπυρικά φαινόμενα (διάβρωση, κατολισθήσεις, απώλεια εδάφους) εντάσσονται στο πλαίσιο της μακροχρόνιας υποβάθμισης των παράκτιων οικοσυστημάτων της Ανατολικής Αττικής, επιβεβαιώνοντας τη μετατόπιση του κινδύνου από τη φωτιά στις επιπτώσεις της



Εικόνα 9 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 23/07/2018 – Δήμος Μαραθώνα

3.10. Πυρκαγιά της 04/09/2019

Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 04/09/2019 στον Δήμο Μαραθώνος (Περιφέρεια Αττικής) αναλύθηκε με χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Sentinel-2 Level-2A, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 20 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση του Sentinel-2 Scene Classification Layer (SCL) και της μάσκας πιθανότητας νεφοκάλυψης (cloud-probability masking).

Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα).

Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 0,16 km², με την ακόλουθη κατανομή:

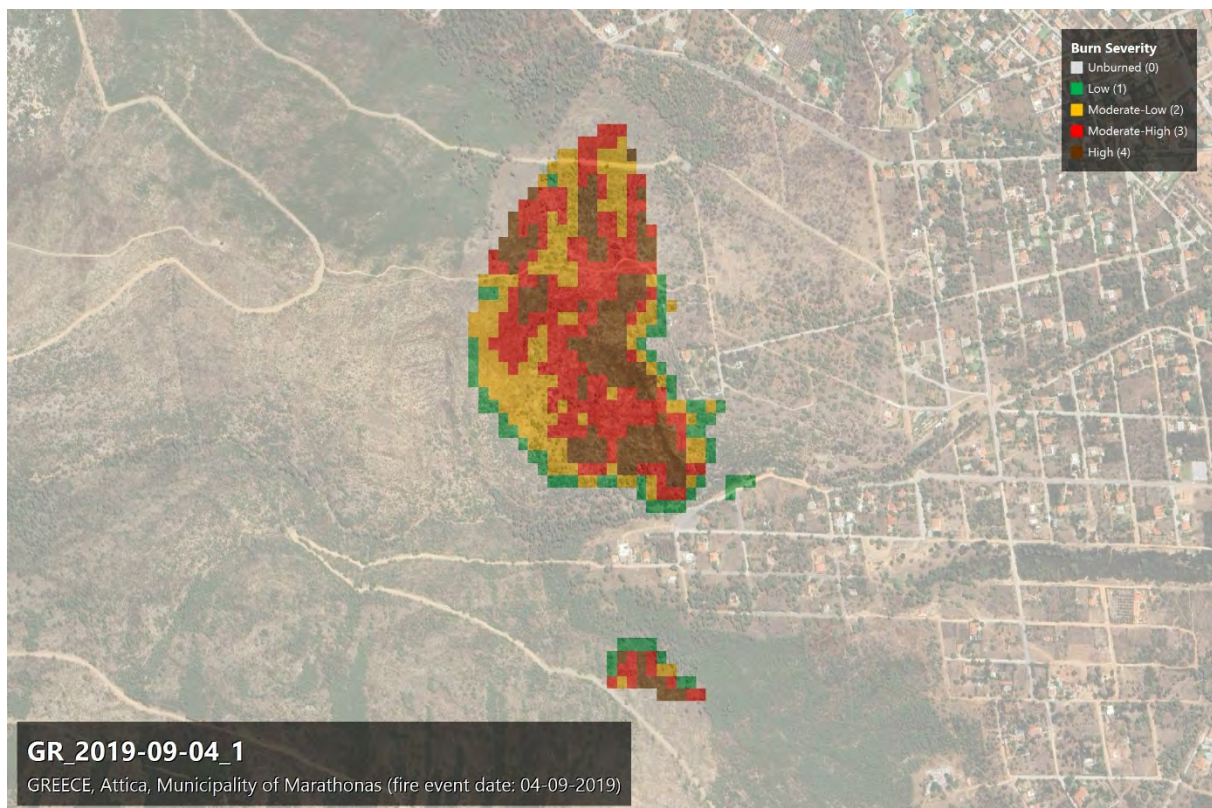
- 0,02 km² χαμηλής έντασης (11,6%)
- 0,04 km² μέτριας–χαμηλής έντασης (27,4%)
- 0,06 km² μέτριας–υψηλής έντασης (36,8%)
- 0,04 km² υψηλής έντασης (24,2%)

Κατά τη προ-πυρική περίοδο (05/08/2019 έως 04/09/2019) αξιολογήθηκαν 12 υποψήφιες δορυφορικές εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Sentinel-2 της 04/09/2019. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (04/09/2019 έως 04/10/2019) εξετάστηκαν 10 εικόνες, με τελική επιλογή επίσης τη Sentinel-2 της 04/09/2019.

Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, είναι:

- 93,0% μεταβατικές δασώδεις–θαμνώδεις εκτάσεις (κωδικός 324),
- 6,1% δάση κωνοφόρων (κωδικός 312), ενώ το υπόλοιπο 0,9% κατανέμεται σε λοιπές κατηγορίες κάλυψης γης.

Η ανάλυση αποκαλύπτει ότι η πυρκαγιά εκδηλώθηκε σε οικοσύστημα κυριαρχούμενο από χαμηλή θαμνώδη βλάστηση και αναγεννώμενα δασικά είδη, χαρακτηριστικά περιοχών που έχουν καεί στο παρελθόν και βρίσκονται σε διαδοχικό στάδιο φυσικής αναγέννησης. Η υψηλή αναλογία μέτριας και υψηλής έντασης καύσεων (περίπου 61%) καταδεικνύει ισχυρή θερμική απόδοση σε τοπικό επίπεδο, πιθανώς ενισχυμένη από ξηρές κλιματολογικές συνθήκες και χαμηλή εδαφική υγρασία κατά την έναρξη της φωτιάς. Οι περιοχές μεταβατικής θαμνώδους και δασικής βλάστησης (CLC 324), που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό, χαρακτηρίζονται από ταχεία αναγέννηση, ωστόσο η συχνότητα εμφάνισης πυρκαγιών στην περιοχή του Μαραθώνα μπορεί να οδηγήσει σε σταδιακή αποδάσωση και υποβάθμιση του φυσικού οικοτόπου.



Εικόνα 10 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 04/09/2019 – Δήμος Μαραθώνα

3.11. Πυρκαγιά της 09/09/2020

Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 09/09/2020 στον Δήμο Μαραθώνος (Περιφέρεια Αττικής) αναλύθηκε με χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Sentinel-2 Level-2A, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 20 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση του Sentinel-2 Scene Classification Layer (SCL) και της μάσκας πιθανότητας νεφοκάλυψης (cloud-probability masking).

Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα).

Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 0,27 km², με την ακόλουθη κατανομή:

- 0,06 km² χαμηλής έντασης (24,1%)
- 0,10 km² μέτριας–χαμηλής έντασης (37,4%)
- 0,08 km² μέτριας–υψηλής έντασης (31,6%)
- 0,02 km² υψηλής έντασης (6,9%)

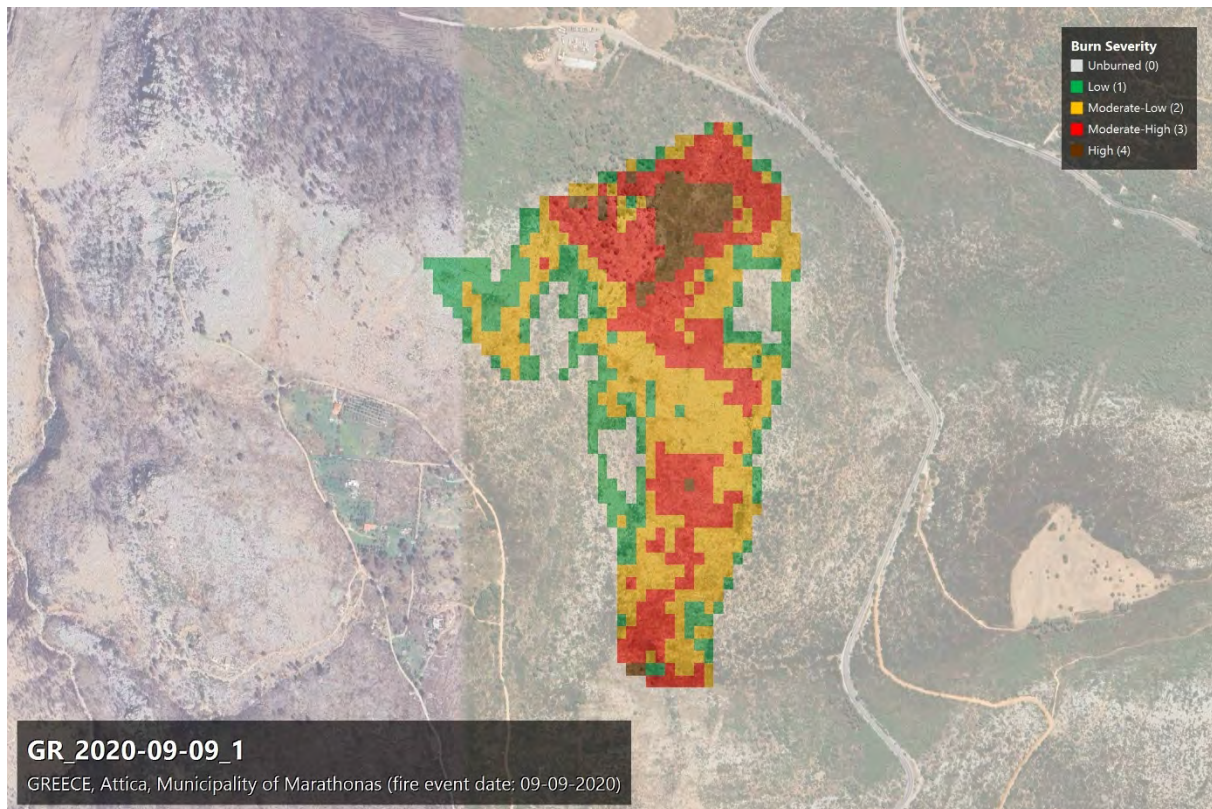
Κατά τη προ-πυρική περίοδο (10/08/2020 έως 09/09/2020) αξιολογήθηκαν 12 υποψήφιες δορυφορικές εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Sentinel-2 της 09/09/2020. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (09/09/2020 έως 09/10/2020) εξετάστηκαν 14 εικόνες, με τελική επιλογή επίσης τη Sentinel-2 της 09/09/2020.

Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, είναι:

- 68,8% περιοχές αραιής βλάστησης (κωδικός 333),
- 31,2% μεταβατικές δασώδεις–θαμνώδεις εκτάσεις (κωδικός 324).

Η πυρκαγιά εκδηλώθηκε σε περιοχή με χαμηλή και ημιφυσική βλάστηση, τυπική των ξηροθερμικών μεσογειακών οικοσυστημάτων της Ανατολικής Αττικής. Η επικράτηση αραιής βλάστησης (CLC 333) υποδηλώνει ότι το επεισόδιο είχε σχετικά περιορισμένη ενεργειακή ένταση και πιθανώς αποτέλεσε δευτερεύουσα ή επαναλαμβανόμενη φωτιά σε ήδη καμένες εκτάσεις. Η παρουσία μεταβατικών θαμνωδών περιοχών (CLC 324) επιβεβαιώνει ότι η ζώνη βρίσκεται σε στάδιο φυσικής αναγέννησης μετά από προηγούμενα περιστατικά καύσης, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο επαναλαμβανόμενων πυρκαγιών λόγω συσσώρευσης καύσιμης ύλης.

Παρά το μικρό της μέγεθος, η συγκεκριμένη πυρκαγιά είναι χαρακτηριστική του νέου προτύπου “μικρών, ταχέων και επαναλαμβανόμενων” πυρκαγιών που παρατηρούνται μεταγενέστερα της περιόδου 2018–2019 στην Ανατολική Αττική, όπου η πίεση από την οικιστική ανάπτυξη και η περιορισμένη διαχείριση καύσιμης ύλης επιτείνουν τη μακροχρόνια υποβάθμιση του τοπίου.



Εικόνα 11 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 09/09/2020 – Δήμος Μαραθώνα

3.12. Πυρκαγιά της 19/07/2022

Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 19/07/2022 στον Δήμο Πεντέλης (Περιφέρεια Αττικής) αναλύθηκε με χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Sentinel-2 Level-2A, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 20 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση του Sentinel-2 Scene Classification Layer (SCL) και της μάσκας πιθανότητας νεφοκάλυψης (cloud-probability masking).

Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα).

Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 0,01 km², με την ακόλουθη κατανομή:

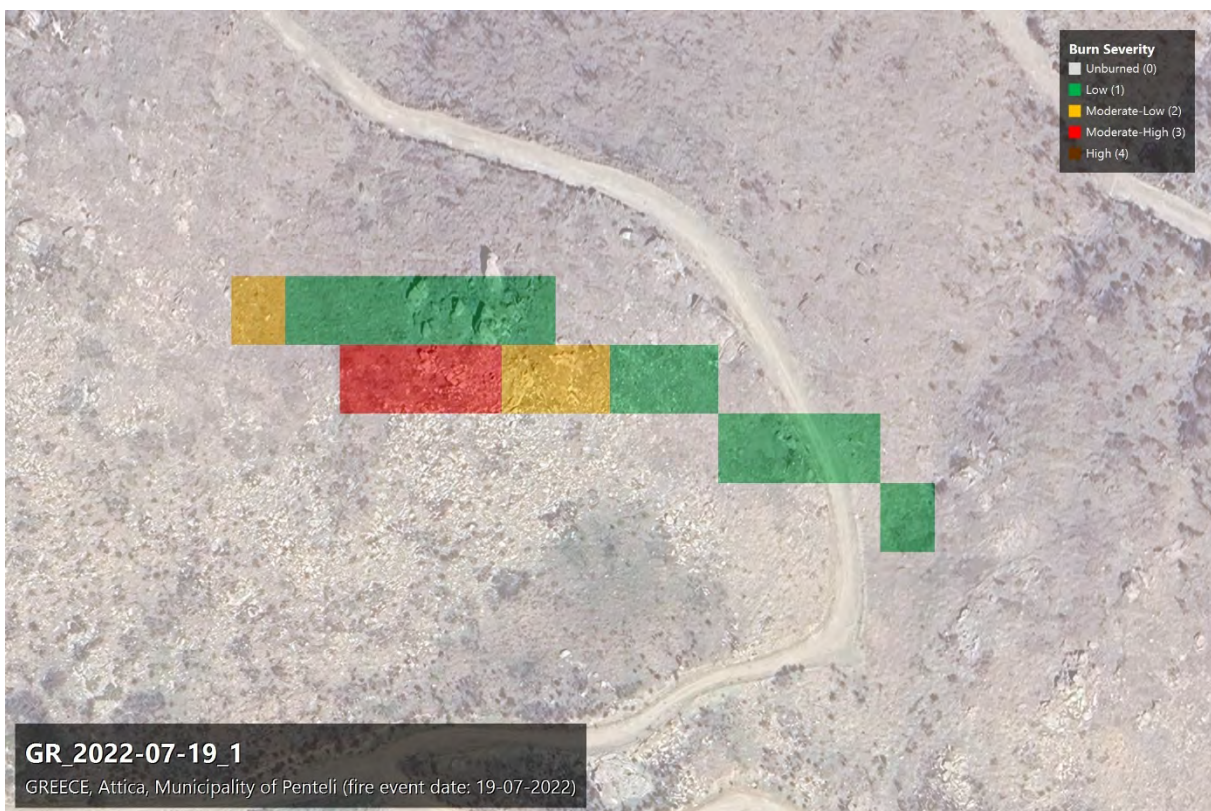
- 63,5% χαμηλής έντασης,
- 19,2% μέτριας–χαμηλής έντασης,
- 17,3% μέτριας–υψηλής έντασης,
- 0,0% υψηλής έντασης.

Κατά τη προ-πυρική περίοδο (19/06/2022 έως 19/07/2022) αξιολογήθηκαν 12 υποψήφιες δορυφορικές εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Sentinel-2 της 19/07/2022. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (19/07/2022 έως 18/08/2022) εξετάστηκαν επίσης 12 εικόνες, με τελική επιλογή τη Sentinel-2 της 19/07/2022.

Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, αποτελείται κατά 100% από σκληρόφυλλη βλάστηση (κωδικός 323).

Η συγκεκριμένη πυρκαγιά, παρότι πολύ μικρής έκτασης, εκδηλώθηκε σε ευαίσθητο δασικό σύστημα υψηλής καύσιμης ύλης που περιλαμβάνει σκληρόφυλλα είδη μεσογειακής μακίας (π.χ. κουμαριές, πουρνάρια, σχίνα). Η παρουσία υψηλής περιεκτικότητας σε αιθέρια έλαια και ρητίνες στα συγκεκριμένα είδη βλάστησης καθιστά τις περιοχές αυτές ιδιαίτερα ευάλωτες σε ανάφλεξη και ταχεία εξάπλωση, ακόμη και υπό συνθήκες μέτριας θερμοκρασίας και ανέμου.

Η ανάλυση υποδηλώνει χαμηλής έως μέτριας έντασης καύση, πιθανότατα αποτέλεσμα ταχείας κατάσβεσης ή φυσικών φραγμών καύσης, όπως αντιπυρικές ζώνες και οδικά δίκτυα. Ωστόσο, η περιοχή της Πεντέλης αποτελεί ζώνη υψηλού κινδύνου λόγω του συνδυασμού πυκνής δασικής βλάστησης, έντονου ανάγλυφου και οικιστικής διασποράς, γεγονός που αυξάνει τη πιθανότητα επαναλαμβανόμενων πυρκαγιών και περιβαλλοντικής υποβάθμισης.



Εικόνα 12 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 19/07/2022 – Δήμος Μαραθώνα

3.13. Πυρκαγιά της 02/09/2022

Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 02/09/2022 στον Δήμο Μαραθώνος (Περιφέρεια Αττικής) αναλύθηκε με χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Sentinel-2 Level-2A, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 20 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση του Sentinel-2 Scene Classification Layer (SCL) και της μάσκας πιθανότητας νεφοκάλυψης (cloud-probability masking).

Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα).

Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 0,05 km², με την ακόλουθη κατανομή:

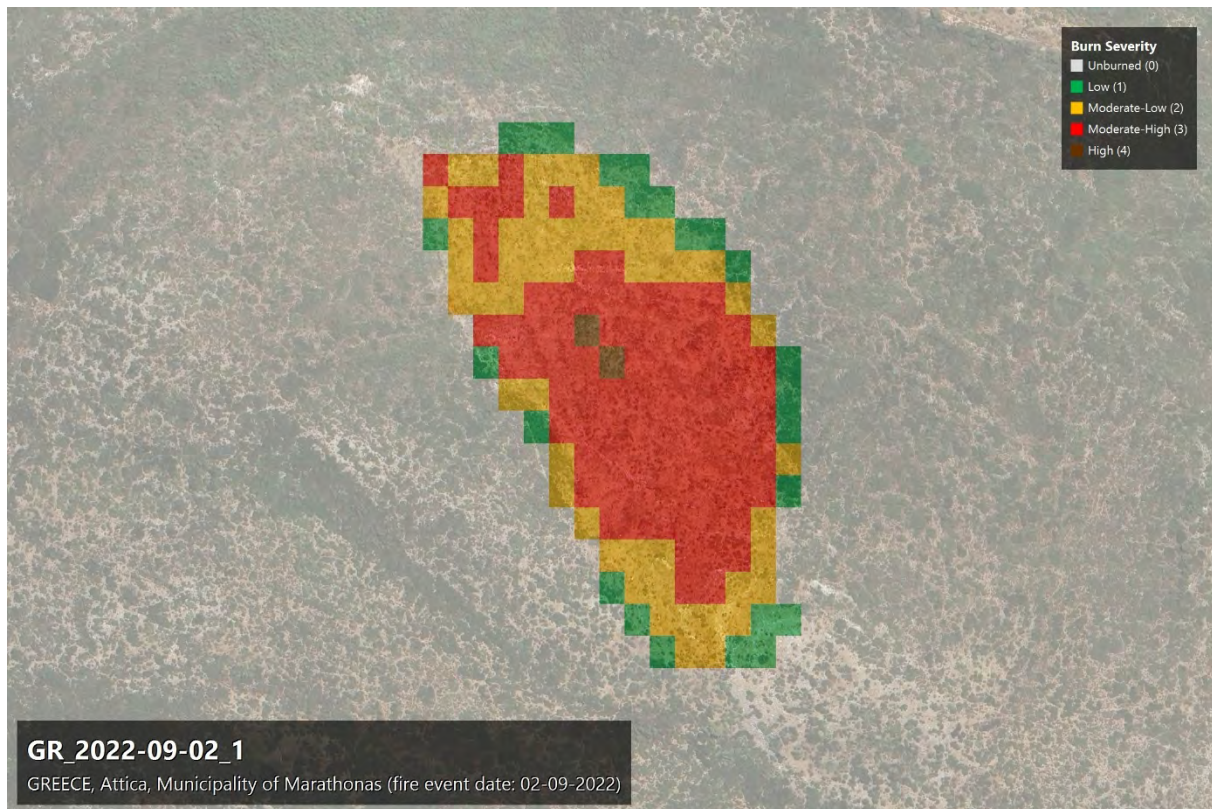
- 0,01 km² χαμηλής έντασης (15,0%)
- 0,02 km² μέτριας–χαμηλής έντασης (31,3%)
- 0,03 km² μέτριας–υψηλής έντασης (52,5%)
- 0,00 km² υψηλής έντασης (1,2%)

Κατά τη προ-πυρική περίοδο (03/08/2022 έως 02/09/2022) αξιολογήθηκαν 12 υποψήφιες δορυφορικές εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Sentinel-2 της 02/09/2022. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (02/09/2022 έως 02/10/2022) εξετάστηκαν επίσης 12 εικόνες, με τελική επιλογή τη Sentinel-2 της 02/09/2022.

Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, αποτελείται εξ ολοκλήρου (100%) από σκληρόφυλλη βλάστηση (κωδικός 323).

Η πυρκαγιά χαρακτηρίζεται ως μικρής έκτασης, τοπικού χαρακτήρα, και εκδηλώθηκε σε ζώνη μεσογειακής μακίας με πυκνή σκληρόφυλλη βλάστηση, κυρίως πουρνάρια (*Quercus coccifera*), κουμαριές (*Arbutus unedo*) και σχίνα (*Pistacia lentiscus*). Η επικράτηση της μέτριας–υψηλής έντασης καύσης (άνω του 50%) καταδεικνύει ισχυρή θερμική απόδοση σε μικρή επιφάνεια, πιθανώς λόγω ξηρής καύσιμης ύλης και τοπογραφικών παραγόντων (π.χ. κλίσεις και εκθέσεις νοτιοδυτικής κατεύθυνσης).

Η αποκλειστική παρουσία σκληρόφυλλης βλάστησης (CLC 323) καταδεικνύει ένα οικολογικά ομοιογενές καμένο σύστημα, ευάλωτο όμως σε επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές. Παρά το μικρό μέγεθός της, η πυρκαγιά του Σεπτεμβρίου 2022 εντάσσεται στο μοτίβο συχνών, τοπικών αναζωπυρώσεων στην ευρύτερη περιοχή του Μαραθώνα, γεγονός που υπογραμμίζει την ανάγκη παρακολούθησης των μεταπυρικών σταδίων φυσικής αναγέννησης και την εφαρμογή πρόληψης με βάση τη διαχείριση καύσιμης ύλης.



Εικόνα 13 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 02/09/2022 – Δήμος Μαραθώνα

3.14. Πυρκαγιά της 12/10/2023

Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 12/10/2023 στον Δήμο Μαραθώνος (Περιφέρεια Αττικής) αναλύθηκε με χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Sentinel-2 Level-2A, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 20 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση του Sentinel-2 Scene Classification Layer (SCL) και της μάσκας πιθανότητας νεφοκάλυψης (cloud-probability masking).

Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα). Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 0,56 km², με την ακόλουθη κατανομή:

- 0,03 km² χαμηλής έντασης (4,9%)
- 0,06 km² μέτριας–χαμηλής έντασης (10,6%)
- 0,31 km² μέτριας–υψηλής έντασης (55,7%)
- 0,16 km² υψηλής έντασης (28,8%)

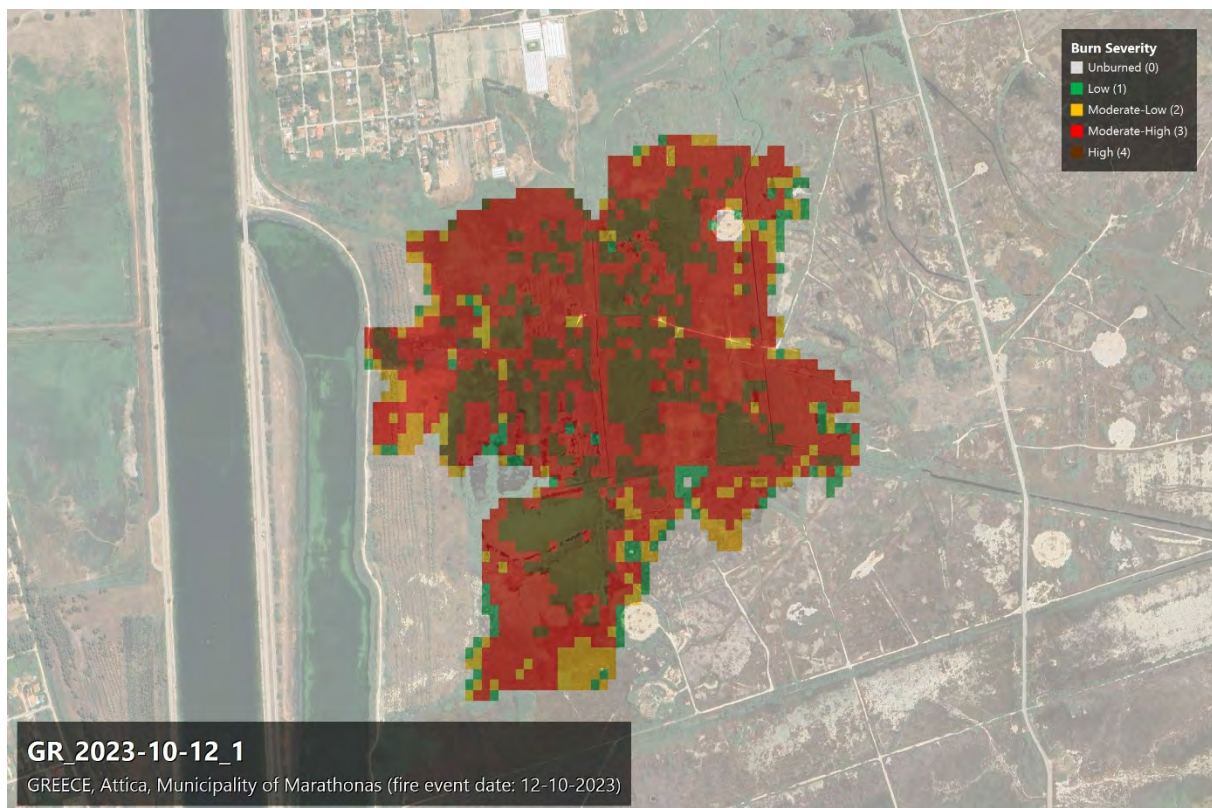
Κατά τη προ-πυρική περίοδο (12/09/2023 έως 12/10/2023) αξιολογήθηκαν 12 υποψήφιες δορυφορικές εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Sentinel-2 της 12/10/2023. Κατά τη μετα-

πυρική περίοδο (12/10/2023 έως 11/11/2023) εξετάστηκαν επίσης 12 εικόνες, με τελική επιλογή τη Sentinel-2 της 12/10/2023. Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, είναι:

- 95,1% εσωτερικοί υγρότοποι (κωδικός 411),
- 4,9% αθλητικοί και χώροι αναψυχής (κωδικός 142).

Η πυρκαγιά του Οκτωβρίου 2023 αποτελεί ιδιαίτερη περίπτωση για τον Δήμο Μαραθώνος, καθώς εκδηλώθηκε σε υγροτοπική περιοχή κοντά στις εκβολές του ποταμού και στην παράκτια ζώνη της λίμνης Μαραθώνα. Η παρουσία εσωτερικών υγροτόπων (CLC 411) υποδηλώνει υψηλή περιβαλλοντική ευαισθησία, ενώ το γεγονός ότι το 84,5% της έκτασης κάηκε με μέτρια έως υψηλή ένταση καταδεικνύει ότι ακόμη και οι υδρομορφικές ζώνες μπορούν να γίνουν εστίες έντονης καύσης υπό συνθήκες παρατεταμένης ξηρασίας και αυξημένων θερμοκρασιών.

Η μικρή συμμετοχή των τεχνητών επιφανειών (CLC 142) αντικατοπτρίζει την παρουσία ανθρωπογενούς δραστηριότητας κοντά στον υγρότοπο, ενδεχομένως σχετιζόμενης με αναψυχή ή υποδομές. Η συνύπαρξη φυσικών και ανθρωπογενών στοιχείων στο τοπίο δημιουργεί πολύπλοκα μοτίβα διάδοσης πυρκαγιών, ενώ οι επιπτώσεις σε οικοσυστήματα υψηλής οικολογικής αξίας καθιστούν το συμβάν αυτό ιδιαίτερης σημασίας για τη μελλοντική παρακολούθηση και αποκατάσταση της περιοχής.



Εικόνα 14 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 12/10/2023 – Δήμος Μαραθώνα

3.15. Πυρκαγιά της 11/08/2024

Η δασική πυρκαγιά που εκδηλώθηκε στις 11/08/2024 στον Δήμο Μαραθώνος (Περιφέρεια Αττικής) αναλύθηκε με χρήση δορυφορικών δεδομένων επιφανειακής ανάκλασης Sentinel-2 Level-2A, τα οποία παρέχονται από τα προγράμματα Copernicus και USGS. Η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα επιφανειακής ανάκλασης με χωρική ανάλυση 20 μέτρων, προβαλλόμενα στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς WGS 84 (EPSG:4326). Τα νέφη και οι σκιές απομακρύνθηκαν με τη χρήση του Sentinel-2 Scene Classification Layer (SCL) και της μάσκας πιθανότητας νεφοκάλυψης (cloud-probability masking).

Ο διαφορικός δείκτης καύσης (dNBR) υπολογίστηκε στο περιβάλλον του Google Earth Engine (GEE) και ταξινομήθηκε σε τέσσερις βαθμίδες έντασης καύσης (1 = Χαμηλή, 2 = Μέτρια–Χαμηλή, 3 = Μέτρια–Υψηλή, 4 = Υψηλή), εξαιρουμένης της κλάσης 0 (μη καμένη/χωρίς δεδομένα).

Η συνολική καμένη έκταση εκτιμήθηκε σε 15,32 km², με την ακόλουθη κατανομή:

- 1,66 km² χαμηλής έντασης (10,8%)
- 4,76 km² μέτριας–χαμηλής έντασης (31,1%)
- 7,20 km² μέτριας–υψηλής έντασης (47,0%)
- 1,70 km² υψηλής έντασης (11,1%)

Κατά τη προ-πυρική περίοδο (12/07/2024 έως 11/08/2024) αξιολογήθηκαν 12 υποψήφιες δορυφορικές εικόνες, με τελικά επιλεγείσα τη Sentinel-2 της 11/08/2024. Κατά τη μετα-πυρική περίοδο (11/08/2024 έως 10/09/2024) εξετάστηκαν επίσης 12 εικόνες, με τελική επιλογή τη Sentinel-2 της 11/08/2024.

Η σύνθεση της καμένης κάλυψης γης, σύμφωνα με το Corine Land Cover 2018, είναι:

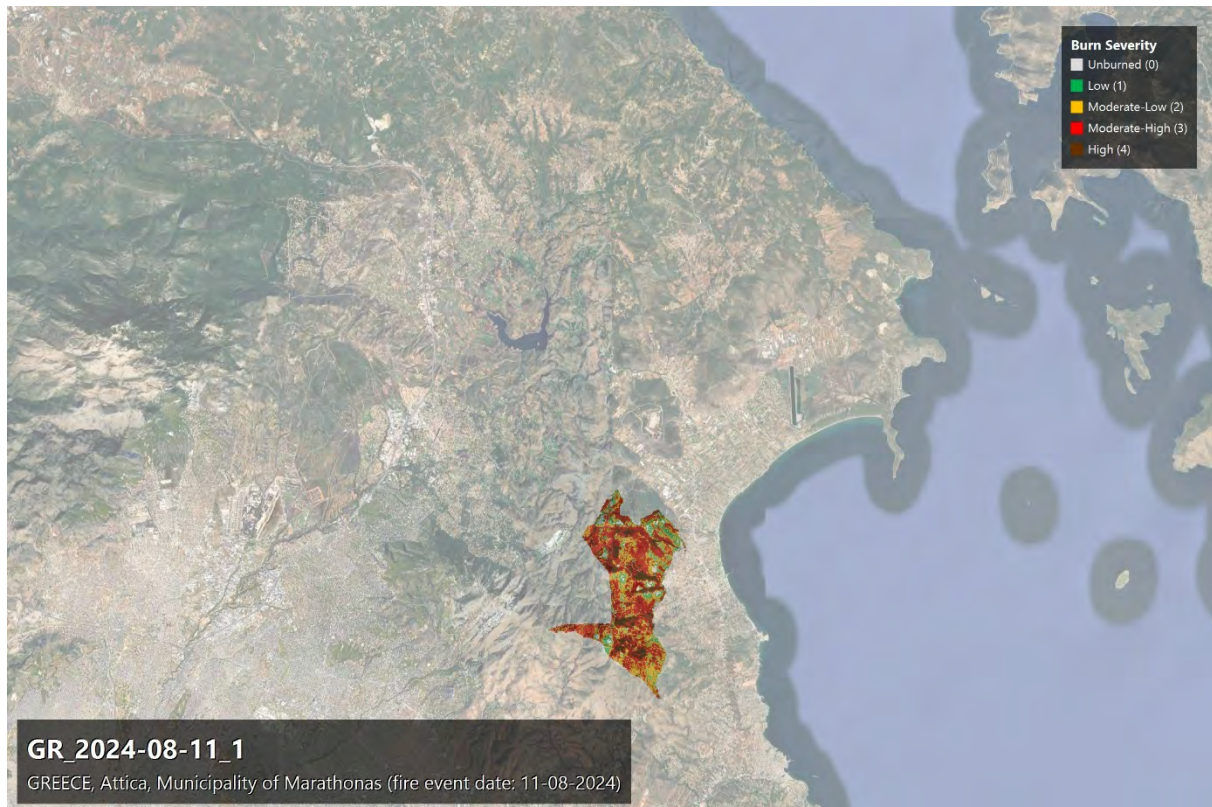
- 49,7% περιοχές αραιής βλάστησης (κωδικός 333),
- 46,5% μεταβατικές δασώδεις–θαμνώδεις εκτάσεις (κωδικός 324), ενώ το υπόλοιπο 3,8% κατανέμεται σε λοιπές κατηγορίες κάλυψης γης.

Η πυρκαγιά του Αυγούστου 2024 αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα πρόσφατα περιστατικά στην περιοχή του Μαραθώνα, επηρεάζοντας σημαντικές εκτάσεις φυσικής και ημιφυσικής βλάστησης.

Η επικράτηση μέτριας και μέτριας–υψηλής έντασης καύσεων (συνολικά 78%) αποκαλύπτει έντονη θερμική συμπεριφορά και πιθανή εξάντληση της καύσιμης ύλης σε περιοχές με προηγούμενη ιστορικότητα πυρκαγιών.

Η μεγάλη συμμετοχή εκτάσεων αραιής βλάστησης (CLC 333) και μεταβατικών θαμνωδών περιοχών (CLC 324) καταδεικνύει ότι η φωτιά έπληξε οικοσυστήματα σε στάδιο φυσικής αναγέννησης, τα οποία χαρακτηρίζονται από αυξημένη ευφλεκτότητα λόγω της συσσώρευσης ξηρής βιομάζας. Η φωτιά αυτή πιθανώς αναζωπύρωσε περιοχές που είχαν καεί στο παρελθόν, συμβάλλοντας στη μακροχρόνια υποβάθμιση του εδάφους και στην απώλεια οικολογικής σταθερότητας του τοπίου.

Η χωρική εγγύτητα της καμένης περιοχής σε οικισμούς και αγροτεμάχια υπογραμμίζει την ανάγκη για ενίσχυση των ζωνών αντιπυρικής προστασίας, καθώς και για συνδυασμένα μέτρα πρόληψης που θα βασίζονται στη διαχείριση της καύσιμης ύλης και στην ανασύσταση φυσικών φραγμών με είδη ανθεκτικά στη φωτιά.



Εικόνα 15 Χάρτης έντασης καύσης πυρκαγιάς 11/08/2024 – Δήμος Μαραθώνα

3.16. Συνολική αποτίμηση Δήμου Μαραθώνος – Ανάλυση Πυρκαγιών 2005–2024

Η ανάλυση των πυρκαγιών της περιόδου 2005–2024 στον Δήμο Μαραθώνος αποκαλύπτει ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο έντονης πυρικής δραστηριότητας, με αυξανόμενη συχνότητα μικρότερων επεισοδίων και διαρκή πίεση στα φυσικά και ημιφυσικά οικοσυστήματα της Ανατολικής Αττικής.

Συνολικά καταγράφηκαν 15 πυρκαγιές, με μεγαλύτερες εκείνες του 2009 (83,7 km²), του 2018 (6,7 km²) και του 2024 (15,3 km²), οι οποίες επηρέασαν εκτεταμένα δασικά και αγροδασικά συστήματα, αλλά και περιοχές αστικού–δασικού μωσαϊκού. Η ένταση των καύσεων παρουσίασε ευρύ φάσμα — από χαμηλή έως εξαιρετικά υψηλή — αντικατοπτρίζοντας την πολυπλοκότητα των καυσίμων και του αναγλύφου.

Οι δορυφορικές αναλύσεις Sentinel-2 και Landsat κατέδειξαν ότι:

- Οι δασικές και ημιφυσικές εκτάσεις (CLC 323, 324, 333) αποτελούν τον κορμό των καμένων περιοχών (άνω του 80% κατά μέσο όρο).
- Οι ελαιώνες και οι αγροτικές ζώνες (CLC 223, 243) καταγράφονται ως περιφερειακές ζώνες ανάφλεξης και μετάδοσης της φωτιάς.
- Οι τεχνημένες επιφάνειες και ο ασυνεχής αστικός ιστός (CLC 112) συμμετείχαν ενεργά μόνο στην καταστροφική πυρκαγιά του 2018, υποδηλώνοντας την κρισιμότητα των περιοχών μετάβασης μεταξύ οικισμών και δασών (WUI).

Η ένταση καύσης στα επεισόδια του Μαραθώνα ποικίλλει αλλά κυριαρχείται από μέτρια έως μέτρια-υψηλή κατηγορία (κατά μέσο όρο 60–70% των εκτάσεων). Οι περιοχές υψηλής έντασης εντοπίζονται κυρίως σε πυκνές θαμνώδεις και κωνοφόρες βλάστησεις, όπου η συσσώρευση ρητινωδών ειδών και η έλλειψη διαχείρισης καύσιμης ύλης οδηγούν σε θερμική υπερφόρτωση.

Η ανθεκτικότητα των οικοσυστημάτων εμφανίζεται μειούμενη με την πάροδο του χρόνου. Οι διαδοχικές πυρκαγιές έχουν δημιουργήσει μωσαϊκό δευτερογενών θαμνώνων, περιοχών αραιής βλάστησης και καμένων εκτάσεων (CLC 333, 334), με αυξανόμενο κίνδυνο ερημοποίησης και περιορισμένο δυναμικό φυσικής αναγέννησης.

Ιδιαίτερη σημασία παρουσιάζει το γεγονός ότι από το 2018 και μετά, το προφίλ των πυρκαγιών αλλάζει: παρατηρείται αύξηση της συχνότητας, αλλά μείωση της μέσης έκτασης. Οι φωτιές εκδηλώνονται πλέον συχνά σε μικρές εστίες τοπικού χαρακτήρα, υποδηλώνοντας την ύπαρξη χρόνιου, διαρθρωτικού κινδύνου στο τοπίο, όπου το φυσικό περιβάλλον παραμένει σε μόνιμη κατάσταση ημι-ανάκαμψης και υψηλής ευφλεκτότητας.

Η οικολογική αποκατάσταση των πληγείσων περιοχών είναι εξαιρετικά κρίσιμη, ιδιαίτερα στις παράκτιες και περιαστικές ζώνες που λειτουργούν ως φυσικά αναχώματα για τη διάδοση των πυρκαγιών. Η ενίσχυση της φυσικής βλάστησης με είδη ανθεκτικά στη φωτιά, η δημιουργία αντιπυρικών ζωνών και η συστηματική παρακολούθηση μέσω Τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ συνιστούν βασικές στρατηγικές για την αποκατάσταση της ανθεκτικότητας του τοπίου.

4. Βιβλιογραφία

Chuvieco, E., Martín, M. P., & Palacios, A. (2002). Assessment of different spectral indices in the red–near-infrared spectral domain for burned land discrimination. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23), 5103–5110. <https://doi.org/10.1080/01431160210153129>

European Space Agency (ESA). (2022). Sentinel-2 User Handbook. *ESA Standard Document*.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

Key, C. H., & Benson, N. C. (2006). Landscape assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio. In *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. *General Technical Report RMRS-GTR-164-CD*.

Miller, J. D., & Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, 109(1), 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006>

Pausas, J. G., & Keeley, J. E. (2014). Evolutionary ecology of resprouting and seeding in fire-prone ecosystems. *New Phytologist*, 204(1), 55–65. <https://doi.org/10.1111/nph.12921>

Roy, D. P., Li, J., Zhang, H. K., Yan, L., Huang, H., & Li, Z. (2021). Characterization of Sentinel-2A and 2B Surface Reflectance Products for Burned Area Mapping. *Remote Sensing of Environment*, 259, 112393. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112393>

San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Libertà, G., Branco, A., de Rigo, D., Ferrari, D., & Artes Vivancos, T. (2023). Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2022. Publications Office of the European Union, Luxembourg. <https://doi.org/10.2760/093753>

U.S. Geological Survey (USGS). (2021). Landsat Surface Reflectance Product Guide (Version 5.0). Reston, VA.

Van Wagendonk, J. W., Root, R. R., & Key, C. H. (2004). Comparison of AVIRIS and Landsat ETM+ detection capabilities for burn severity. *Remote Sensing of Environment*, 92(3), 397–408. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.12.015>