

# Ανάπτυξη προγνωστικού συστήματος ταχείας απόκρισης για την πρόγνωση της εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών στα πλαίσια του προγράμματος DISARM

**Θοδωρής Μ. Γιάνναρος** (Επιστημονικός συνεργάτης)

**Βασιλική Κοτρώνη** (Δ/ντρια Ερευνών)

**Κωνσταντίνος Λαγουβάρδος** (Δ/ντης Ερευνών)

*Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος & Βιώσιμης Ανάπτυξης*  
<http://disarmfire.eu>

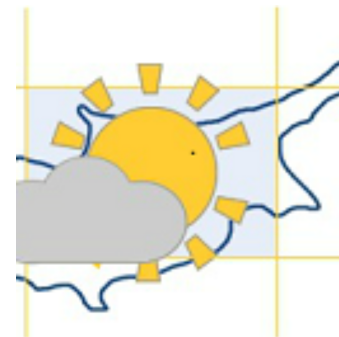
# Επισκόπηση



**Ανάπτυξη και εφαρμογή** εργαλείων για την **παρακολούθηση και πρόγνωση** του **κινδύνου εκδήλωσης**, και την **πρόγνωση εξάπλωσης** δασικών πυρκαγιών, ολοκληρωμένων σε ένα ένα **σύστημα έγκαιρης και έγκυρης προειδοποίησης**.

Διακρατικό πρόγραμμα, χρηματοδοτούμενο από την **Ευρωπαϊκή Ένωση** και **Εθνικούς Πόρους** (2017 - 2019):

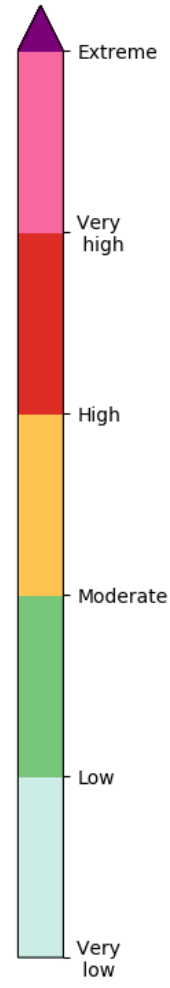
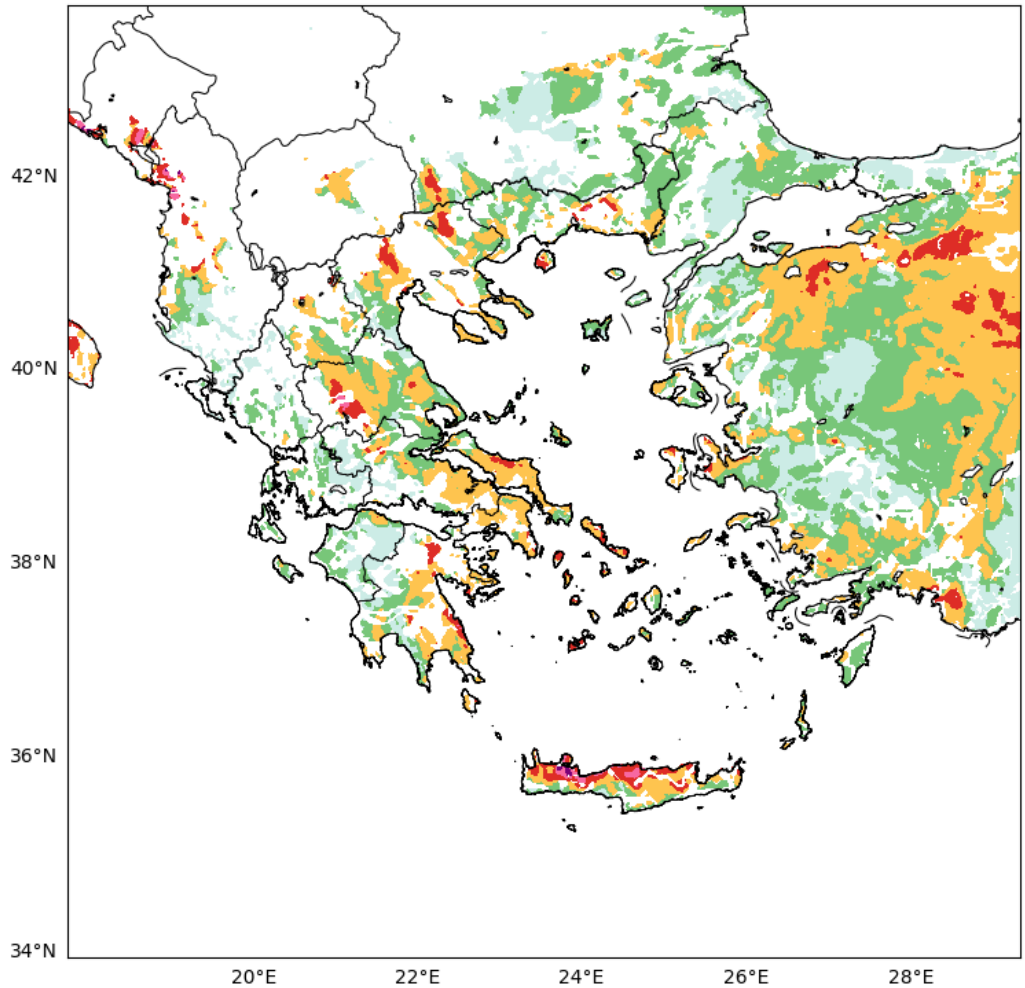
- Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (**συντονιστής**)
- Μετεωρολογική Υπηρεσία Βουλγαρίας
- Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου
- Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
- Ινστιτούτο Κύπρου





Παροχή **3-ήμερων** προγνώσεων **6 δεικτών** για την Ελλάδα, σε υψηλή χωρική ανάλυση (**2 km**)

HERMES/WRF V2.0: Greece - 2km  
GFS Init.: 11/03/2019 12Z  
Fire danger based on Canadian Fire Weather Index  
Valid: 12/03/2019 12Z



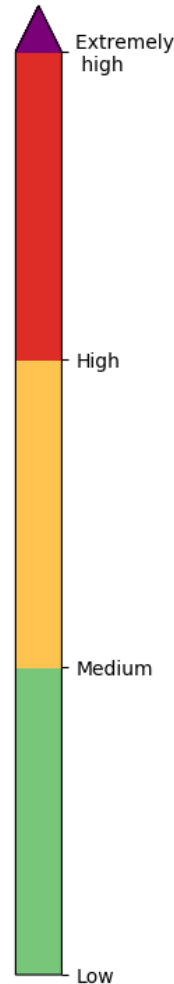
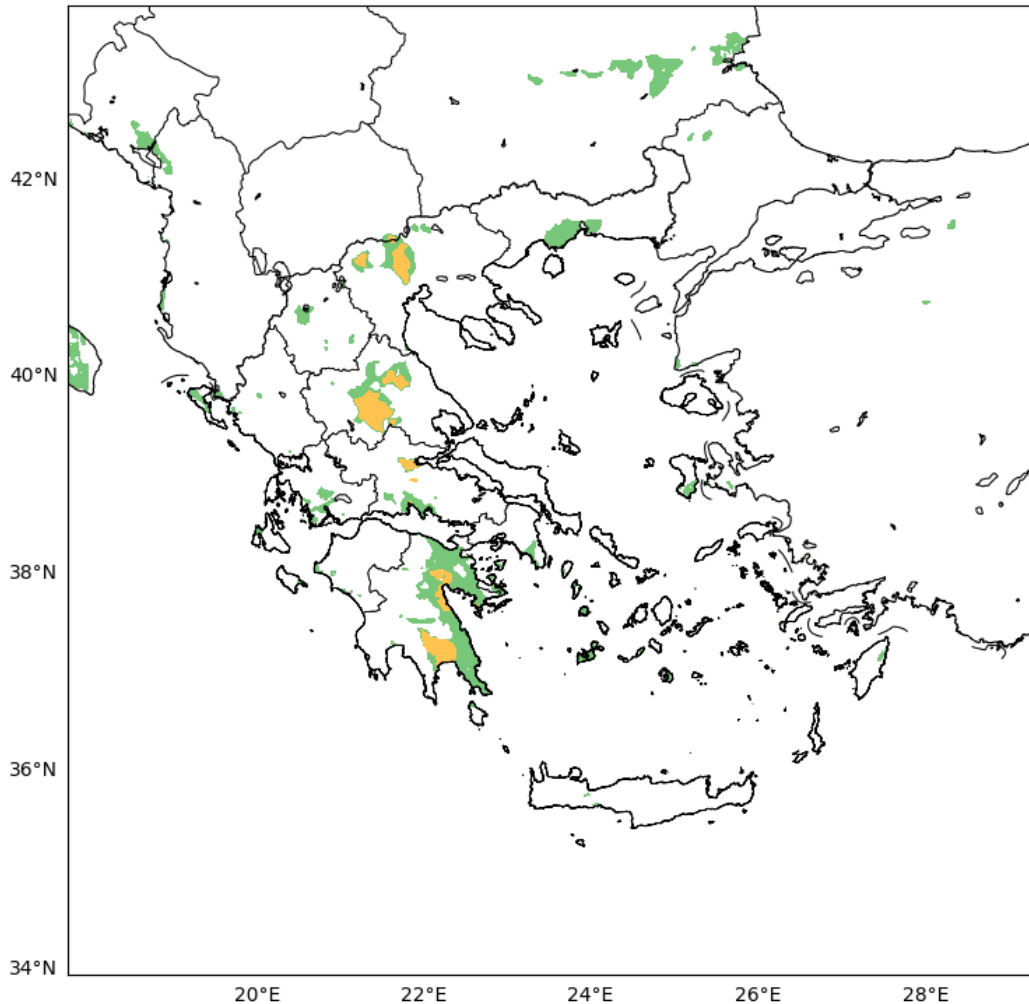
## Canadian Fire Weather Index

Εκτίμηση της επικινδυνότητας πυρκαγιάς, λαμβάνοντας υπόψη τον άνεμο και την κατάσταση της καύσιμης ύλης.



Παροχή **3-ήμερων** προγνώσεων **6 δεικτών** για την Ελλάδα, σε υψηλή χωρική ανάλυση (**2 km**)

HERMES/WRF V2.0: Greece - 2km  
GFS Init.: 11/03/2019 00Z  
Fire risk based on Nesterov Index  
Valid: 13/03/2019 12Z



## Nesterov Index

Εκτίμηση της επικινδυνότητας εκδήλωσης (ρίσκο) πυρκαγιάς με βάση τον άνεμο, το σημείο δρόσου και τον υετό.

## Modified Nesterov Index

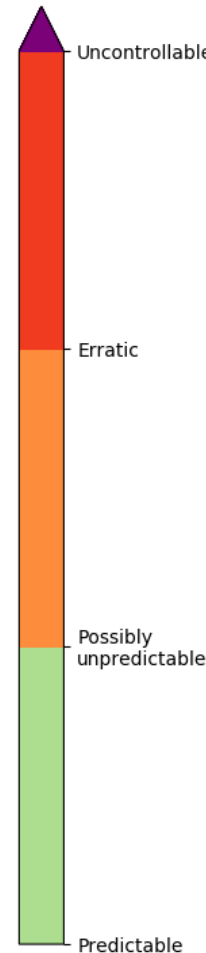
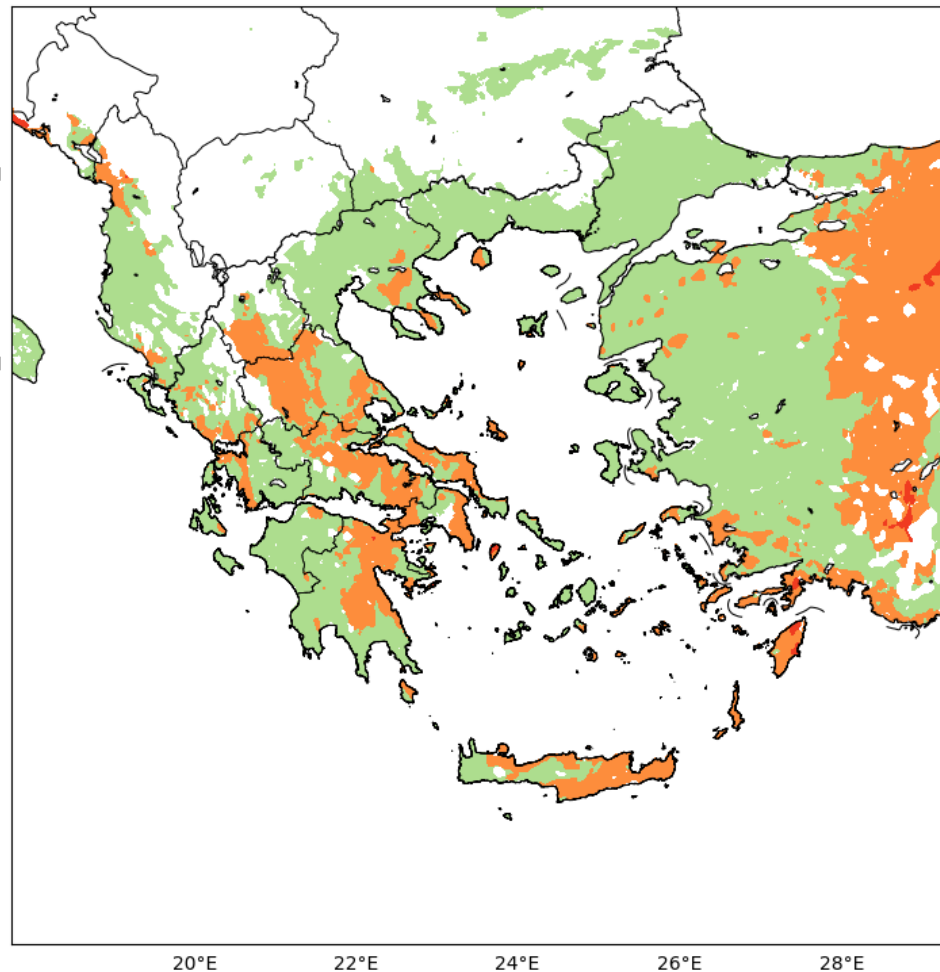
Τροποποιημένος αλγόριθμος υπολογισμού και διαβαθμισμένη κλίμακα, για την πιο λεπτομερή αναπαράσταση της επίδρασης του υετού.





Παροχή **3-ήμερων** προγνώσεων **6 δεικτών** για την Ελλάδα, σε υψηλή χωρική ανάλυση (**2 km**)

HERMES/WRF V2.0: Greece - 2km  
GFS Init.: 11/03/2019 12Z  
Likely fire behavior based on Continuous Haines Index  
Valid: 12/03/2019 12Z



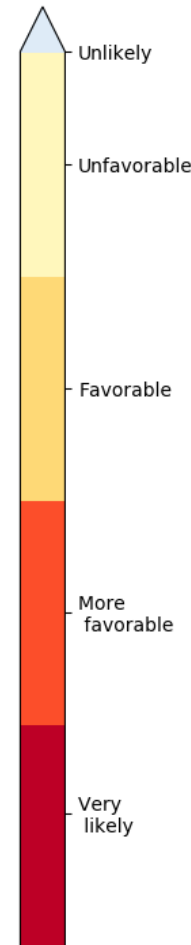
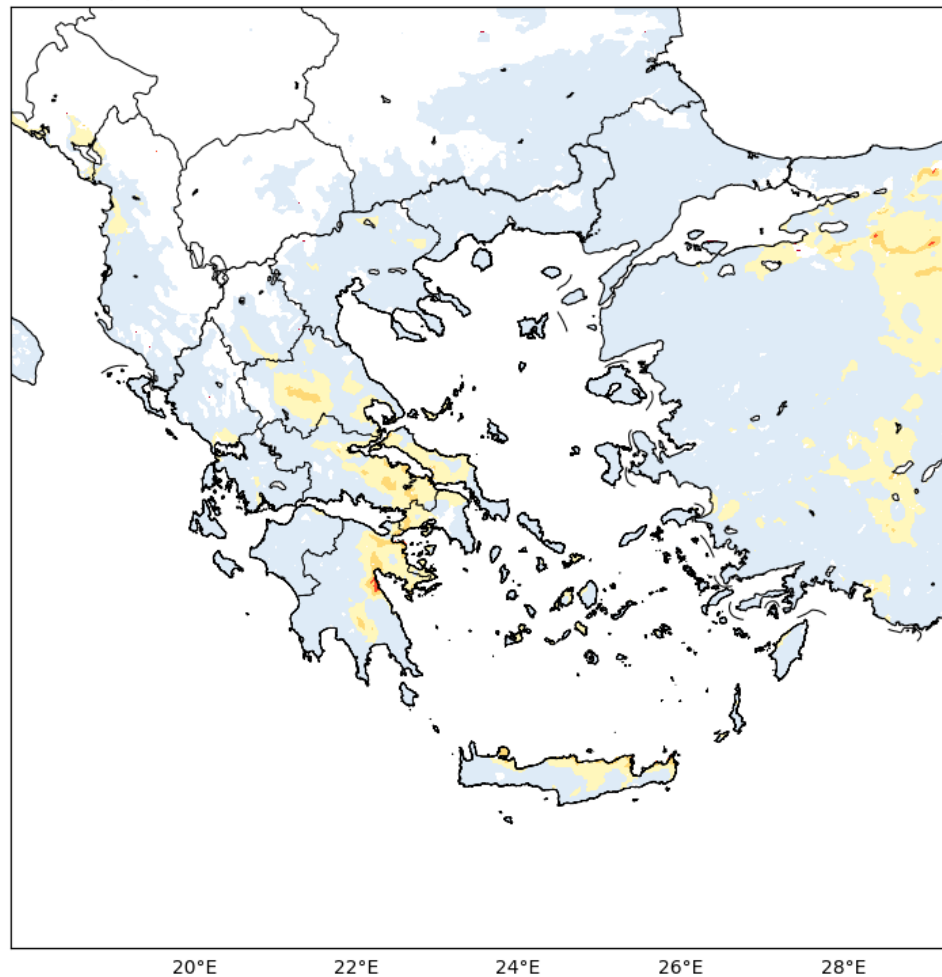
## Continuous Haines Index

*Εκτίμηση της πιθανής συμπεριφοράς πυρκαγιάς με βάση τις συνθήκες αστάθειας της ατμόσφαιρας.*



Παροχή **3-ήμερων** προγνώσεων **6 δεικτών** για την Ελλάδα, σε υψηλή χωρική ανάλυση (**2 km**)

HERMES/WRF V2.0: Greece - 2km  
GFS Init.: 11/03/2019 12Z  
Risk of fire occurrence based on Swedish Angstrom Index  
Valid: 12/03/2019 12Z



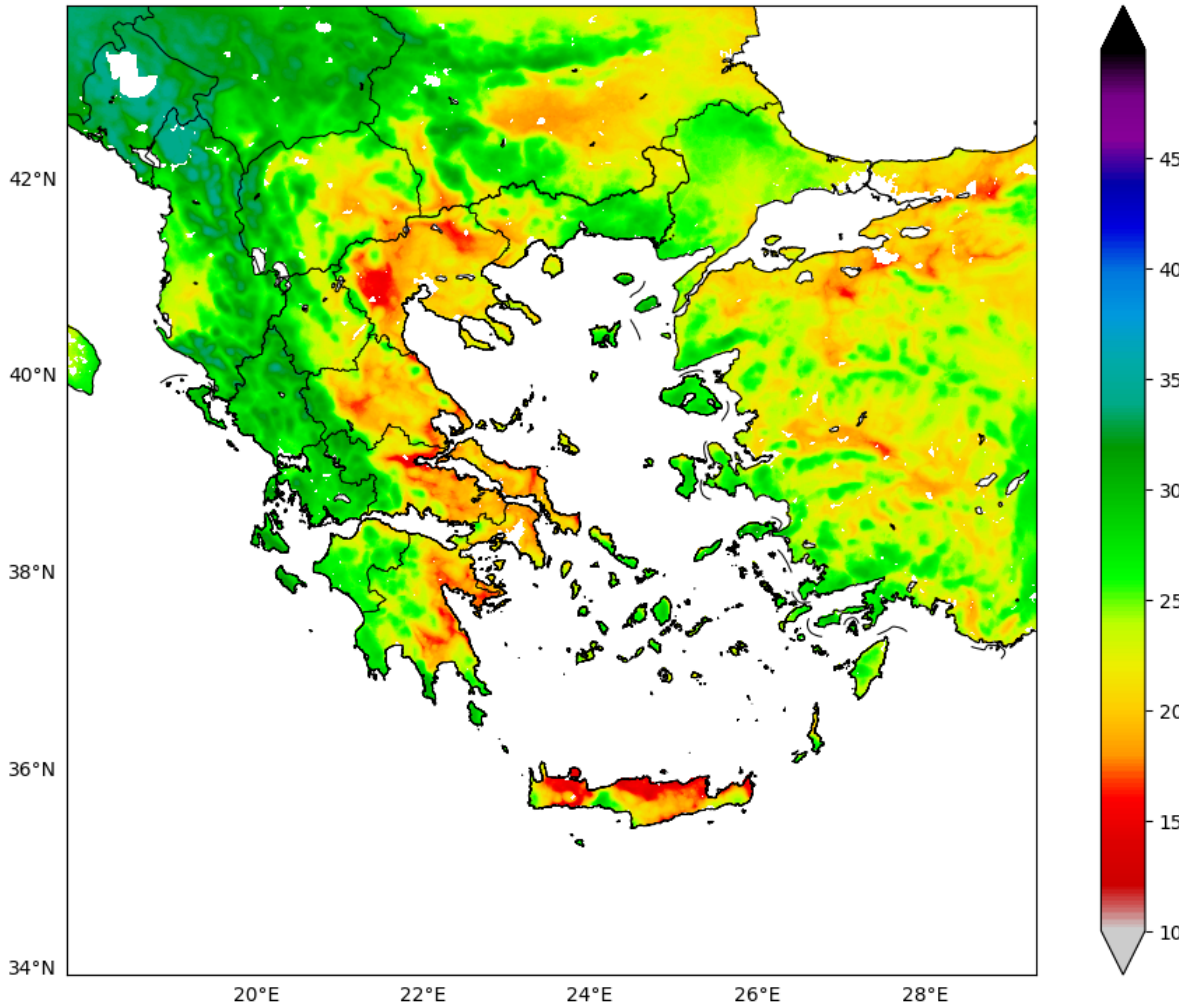
## Swedish Angstrom Index

Εκτίμηση της επικινδυνότητας εκδήλωσης (ρίσκο) πυρκαγιάς με βάση τη θερμοκρασία και την υγρασία.



Παροχή **3-ήμερων** προγνώσεων **6 δεικτών** για την Ελλάδα, σε υψηλή χωρική ανάλυση (**2 km**)

HERMES/WRF V2.0: Greece - 2km  
GFS Init.: 11/03/2019 00Z  
Fuel moisture (% , estimated from vapor pressure deficit)  
Valid: 11/03/2019



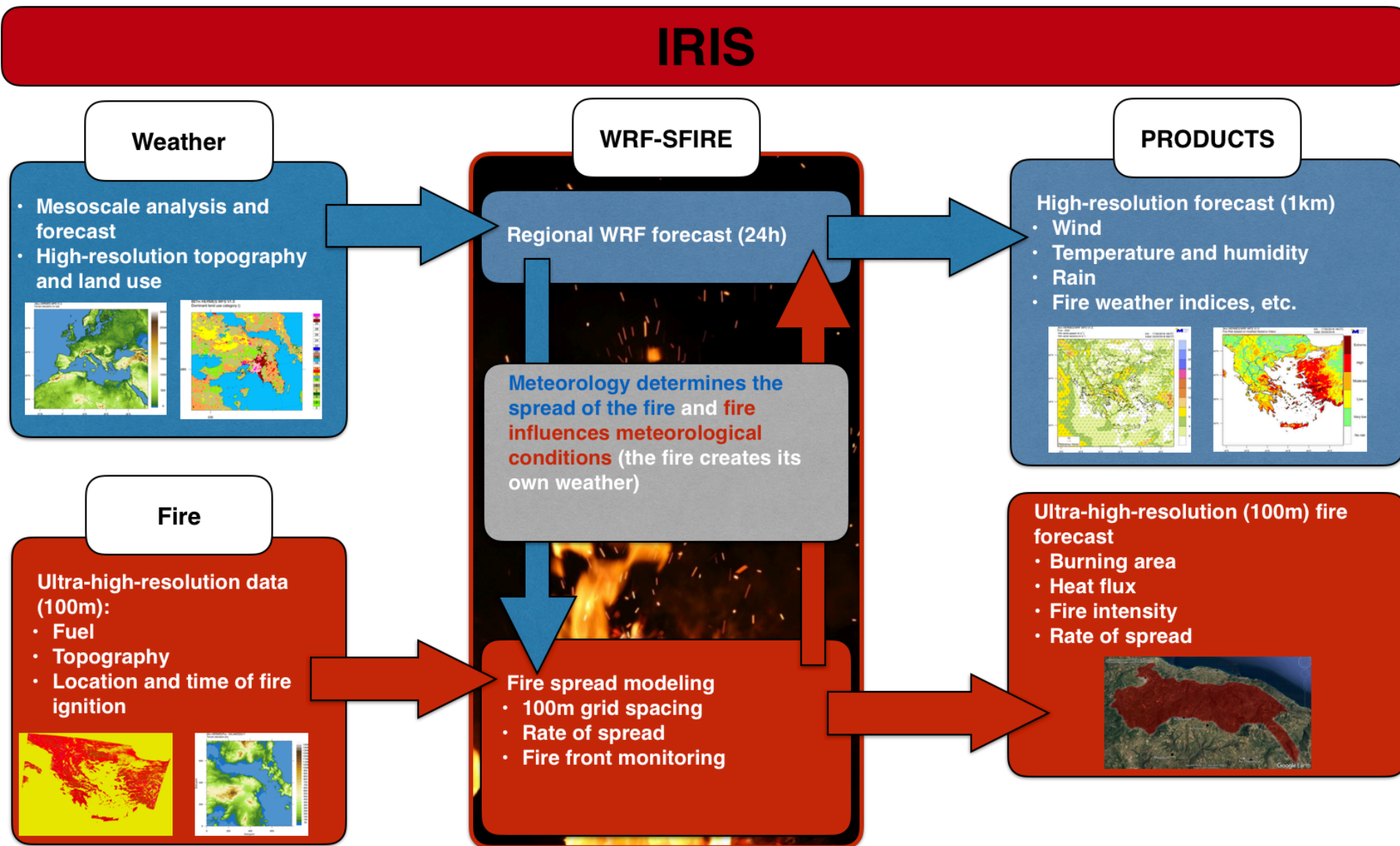
## Fuel Moisture

Εκτίμηση της υγρασίας της καύσιμης ύλης (αναφλεξιμότητα) με βάση το έλλειμμα τάσης υδρατμών.



## RapId-Response Fire Spread Forecasting System - IRIS

Προγνωστικό σύστημα ταχείας απόκρισης για την εξάπλωση πυρκαγιών





## Συζευγμένο μοντέλο φωτιάς-ατμόσφαιρας:

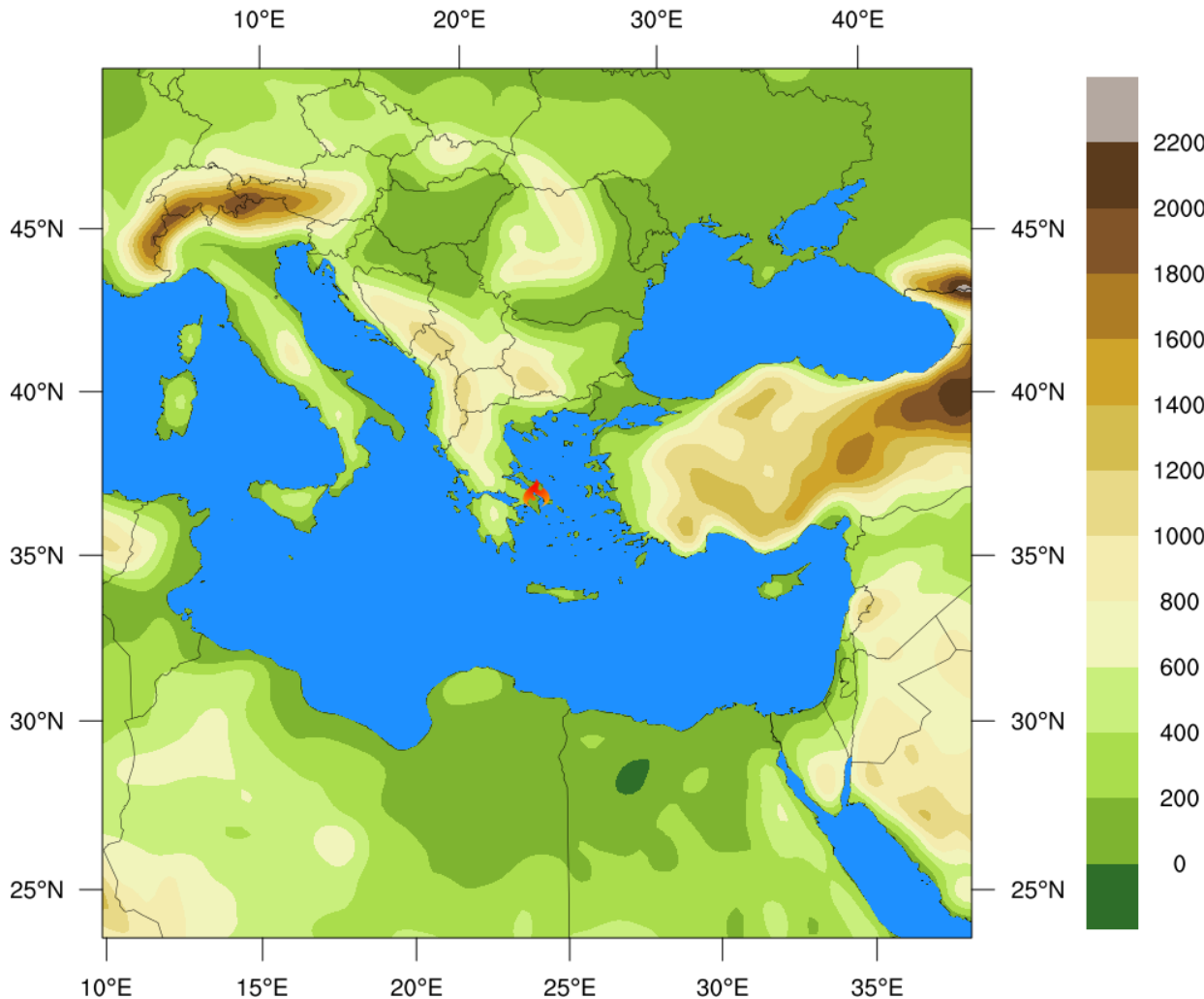
- **Ημι-φυσικό** μοντέλο (επιλύει τη **φυσική** των **αλληλεπιδράσεων** μεταξύ της φωτιάς και της ατμόσφαιρας, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τη χημεία)
- Βασισμένο στον **ημι-εμπειρικό αλγόριθμο εξάπλωσης του Rothermel (1972)**, ο οποίος λαμβάνει υπόψη τον **τύπο** και τα **χαρακτηριστικά** της καύσιμης ύλης, την **τοπογραφία** (κλίσεις) και την **μετεωρολογία** (άνεμος)
- **Αμφίδρομη αλληλεπίδραση** μεταξύ της φωτιάς και της ατμόσφαιρας, μέσω των ρών **αισθητής** και **λανθάνουσας** θερμότητας



## Πεδία προσομοίωσης

Τηλεσκοπικά, **25 - 5 - 1 km**, με την πυρκαγιά στο κέντρο

(a) 25 km IRIS - Mati 2018 wildfire  
Terrain elevation (m)



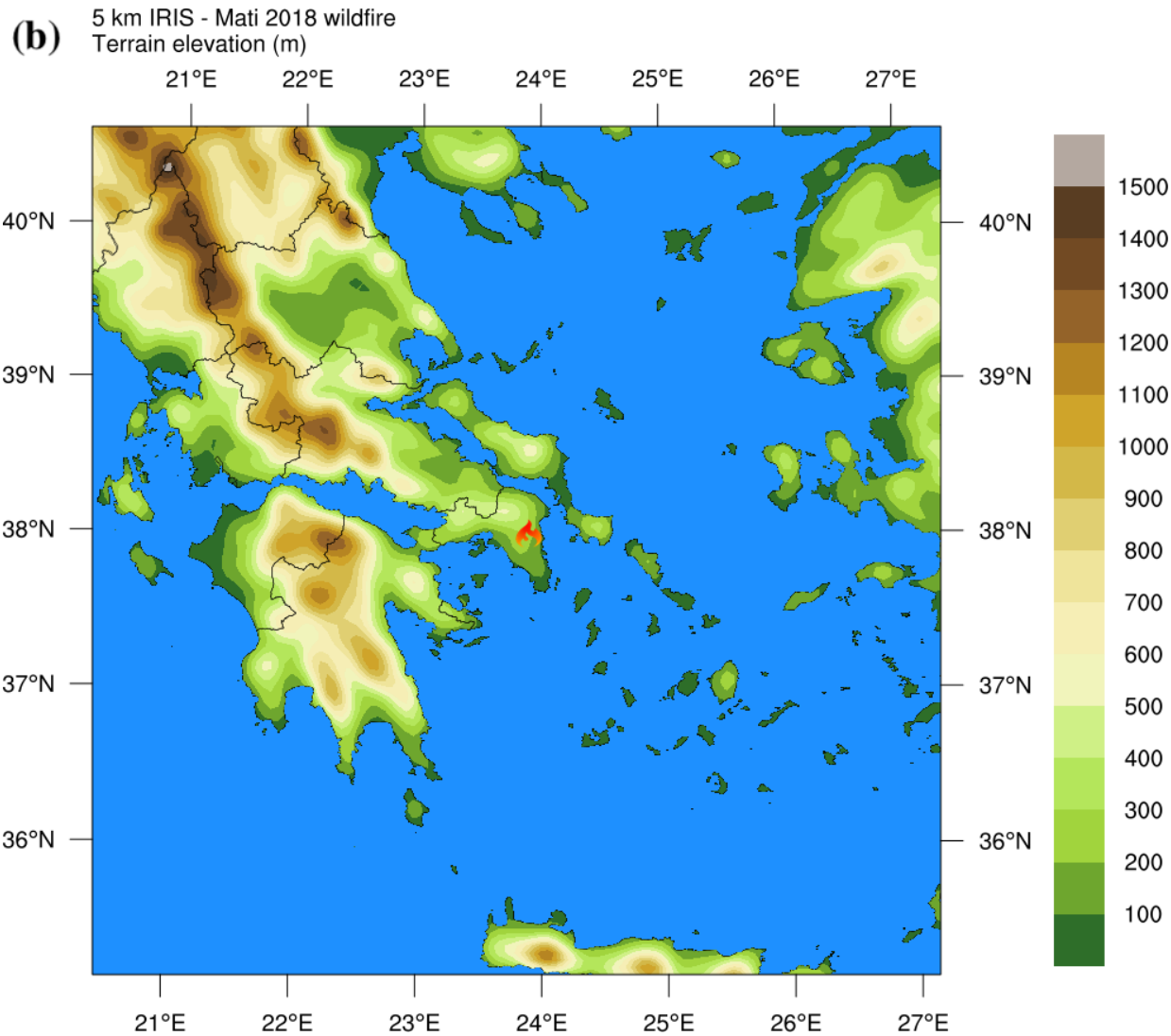
## Πυρκαγιά Ματιού, 2018

Πεδίο προσομοίωσης **25 km**, για την πρόγνωση της **συνοπτικής κλίμακας** κυκλοφορίας.



## Πεδία προσομοίωσης

Τηλεσκοπικά, **25 - 5 - 1 km**, με την πυρκαγιά στο κέντρο

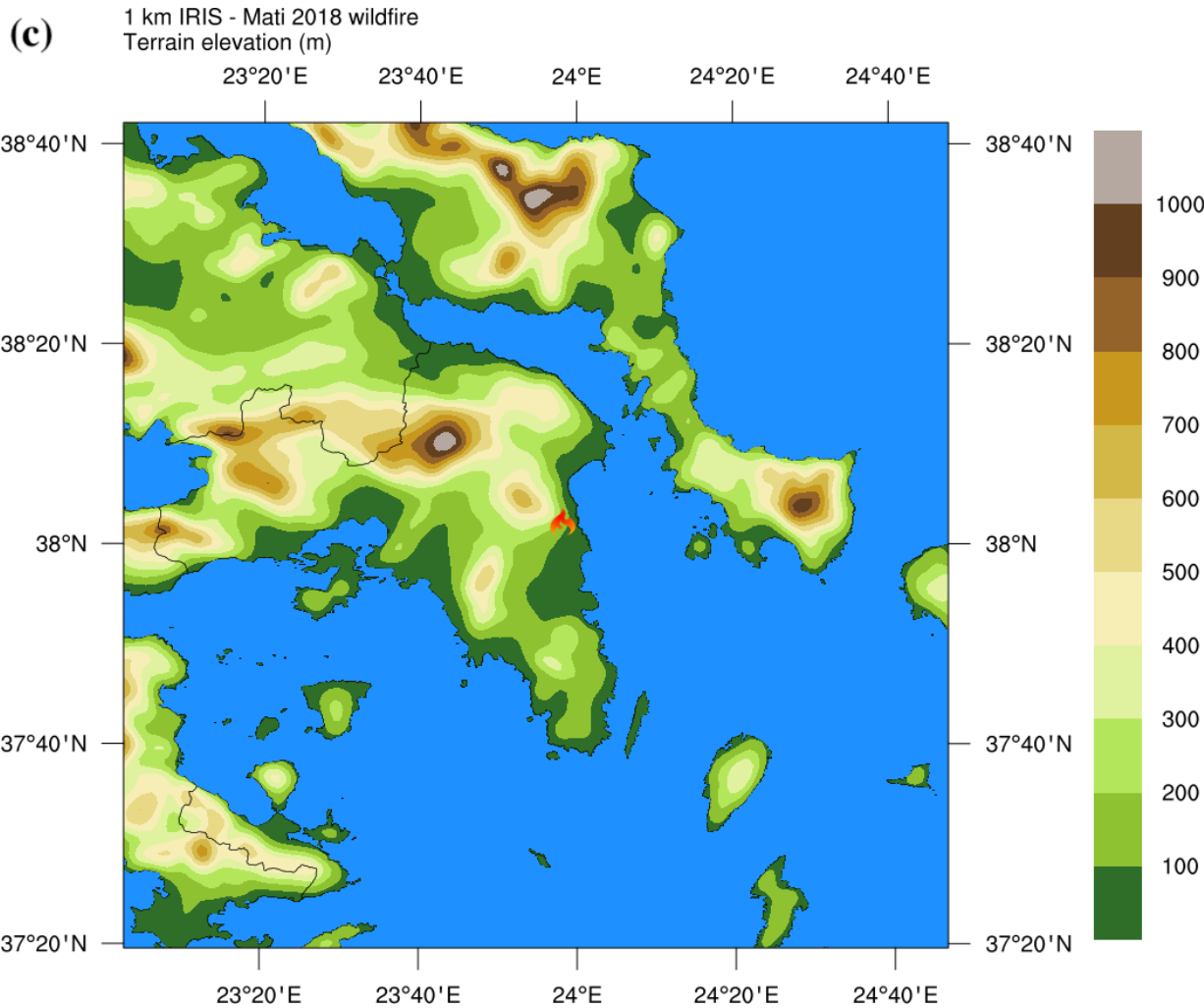


## Πυρκαγιά Ματιού, 2018

Πεδίο προσομοίωσης **5 km**, για την πρόγνωση της **περιοχικής κλίμακας** κυκλοφορίας.

## Πεδία προσομοίωσης

Τηλεσκοπικά, **25 - 5 - 1 km**, με την πυρκαγιά στο κέντρο

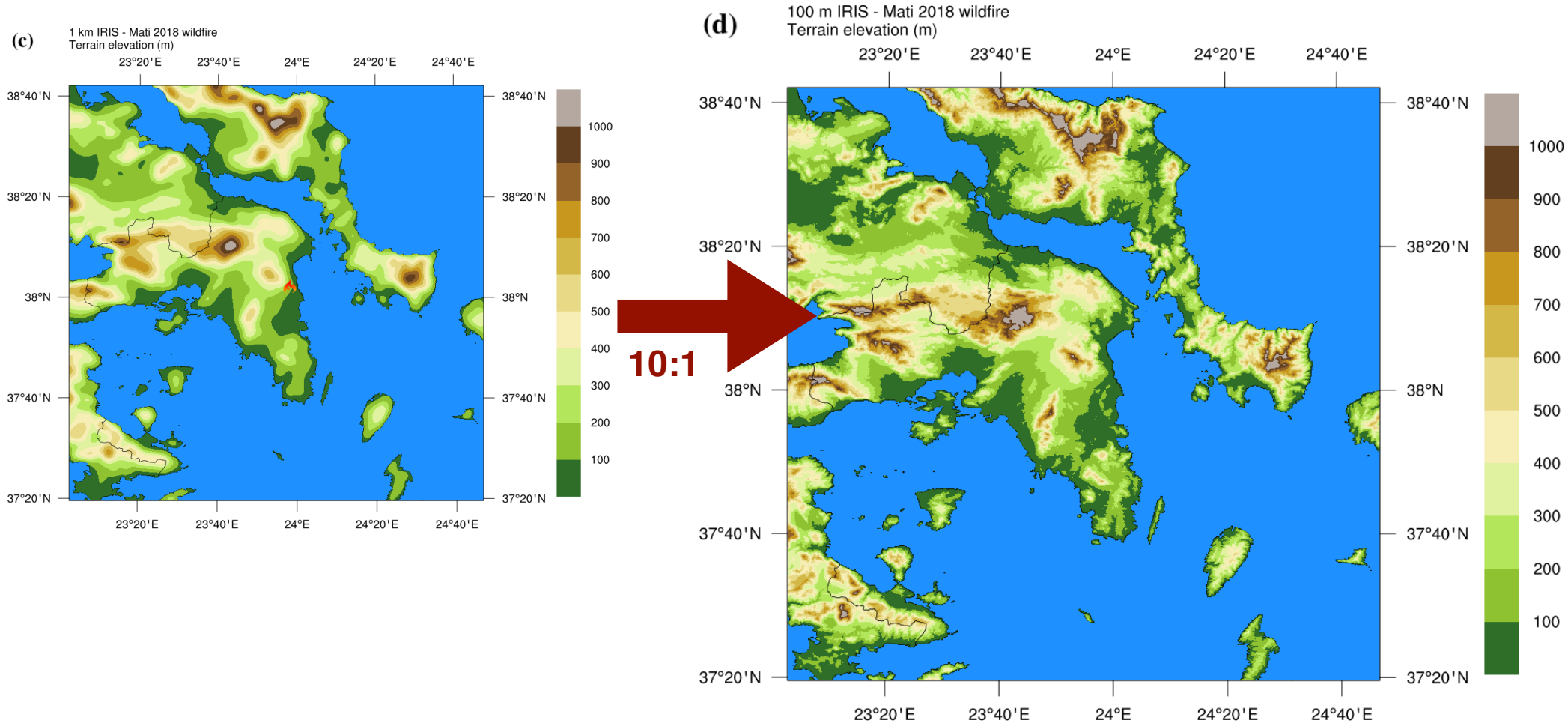


## Πυρκαγιά Ματιού, 2018

Πεδίο προσομοίωσης **1 km**, για την πρόγνωση της **τοπικής κλίμακας** κυκλοφορίας.

## Πεδία προσομοίωσης

Τηλεσκοπικά, **25 - 5 - 1 km**, με την πυρκαγιά στο κέντρο



## Πυρκαγιά Ματιού, 2018

Πεδίο προσομοίωσης **100 m**, για την πρόγνωση της **εξάπλωσης** πυρκαγιάς, ορισμένο ως **υπό-πλέγμα** του 1 km πεδίου προσομοίωσης.

# IRIS: Τύποι καύσιμης ύλης

**15 τύποι** καύσιμης ύλης: **πρότυποι** (*Scott and Burgan, 2005*) και **εξειδικευμένοι** (*Dimitrakopoulos et al., 2002; Kalabokidis et al., 2013; Salis et al., 2016*)

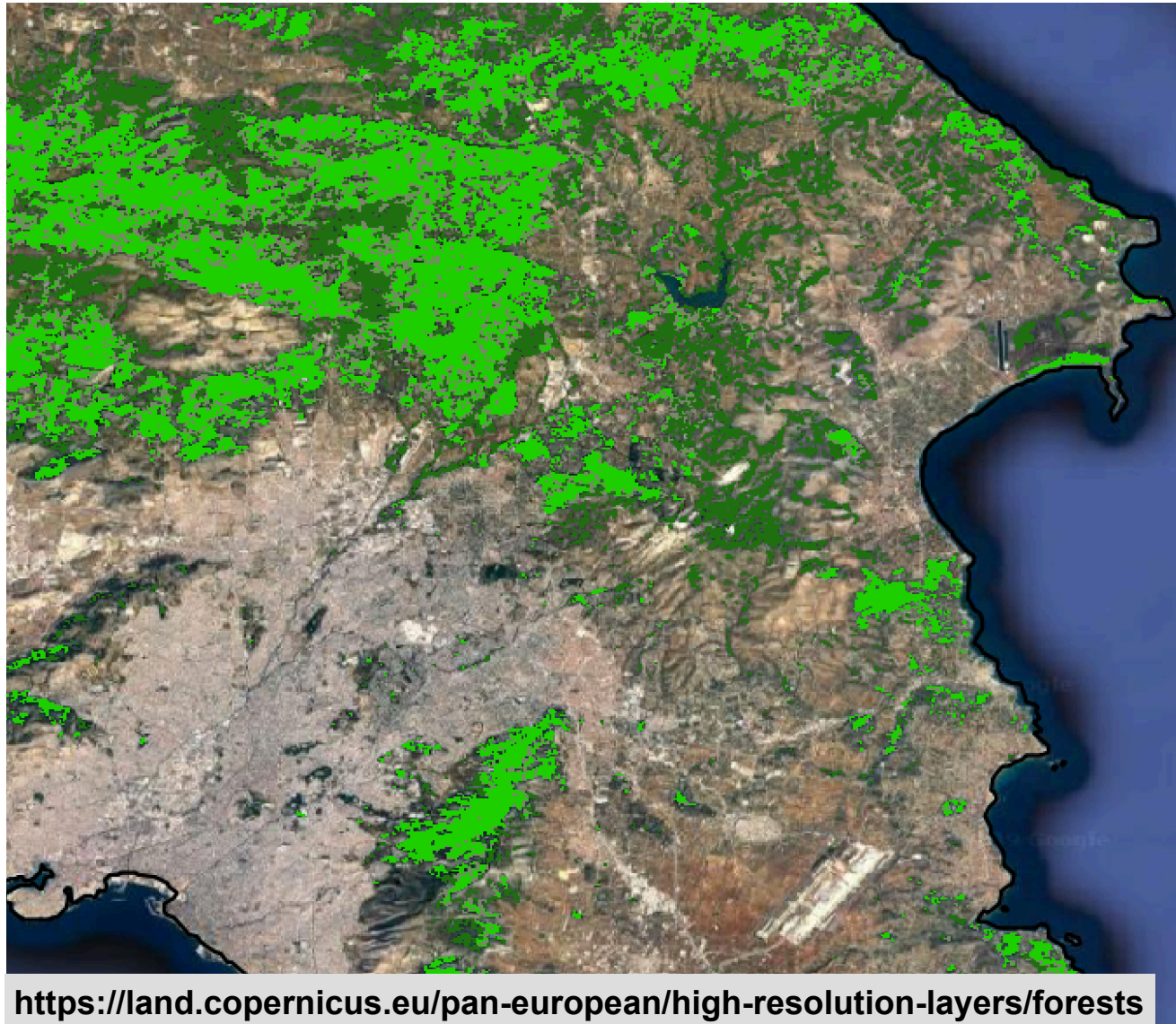
Fuel model	Description	Total load (t ac <sup>-2</sup> )	Depth (ft)	Surface-area-to-volume ratio (ft <sup>-1</sup> )	Moisture of extinction (%)
GR1 <sup>1</sup>	Short, sparse dry climate grass	0.40	0.40	2200	15
GR2 <sup>1</sup>	Low load, dry climate grass	1.10	1.00	2000	15
GS1 <sup>1</sup>	Low load, dry climate grass-shrub	1.40	0.90	2000	15
GS2 <sup>1</sup>	Moderate load, dry climate grass-shrub	2.60	1.50	2000	15
SH5 <sup>1</sup>	High load, dry climate shrub	8.60	6.00	750	15
TU5 <sup>1</sup>	Very high load, dry climate timber-shrub	14.00	1.00	1500	25
TL1 <sup>1</sup>	Load load conifer litter	6.80	0.20	2000	30
TL9 <sup>1</sup>	Very high load broadleaf litter	14.10	0.60	1800	35
XO01 <sup>2</sup>	Mediterranean grasslands	2.25	0.98	2000	14
FM02 <sup>2</sup>	Mediterranean pine forests	6.97	0.82	1500	25
AS01 <sup>2</sup>	Phrygana	2.30	1.31	2000	14
SC01 <sup>2</sup>	Sparse maquis	10.30	3.67	750	14
SC02 <sup>2</sup>	Dense maquis	18.95	7.15	750	14
WUI <sup>3</sup>	Wildland-urban interface zone	4	1	3000	15
NB <sup>1</sup>	Non-burnable	0	0	0	0

Η επιλογή έγινε μετά από πολυάριθμα αριθμητικά πειράματα που κατέδειξαν πως οι συγκεκριμένοι τύποι καύσιμης ύλης επιτρέπουν την ορθή αναπαράσταση της εξάπλωσης.

<sup>1</sup>Fuel properties from *Scott and Burgan (2005)*. <sup>2</sup>Fuel properties from *Kalabokidis et al. (2013)*. <sup>3</sup>Fuel properties defined empirically based on *Anderson (1982)*.



**Ημι-εμπειρική χαρτογράφηση** με βάση υψηλής ανάλυσης (**100 m**) γεωχωρικά δεδομένα του **Copernicus Land Monitoring Service** (<https://land.copernicus.eu>).



Γεωχωρική βάση δεδομένων για τους τύπους δασών:

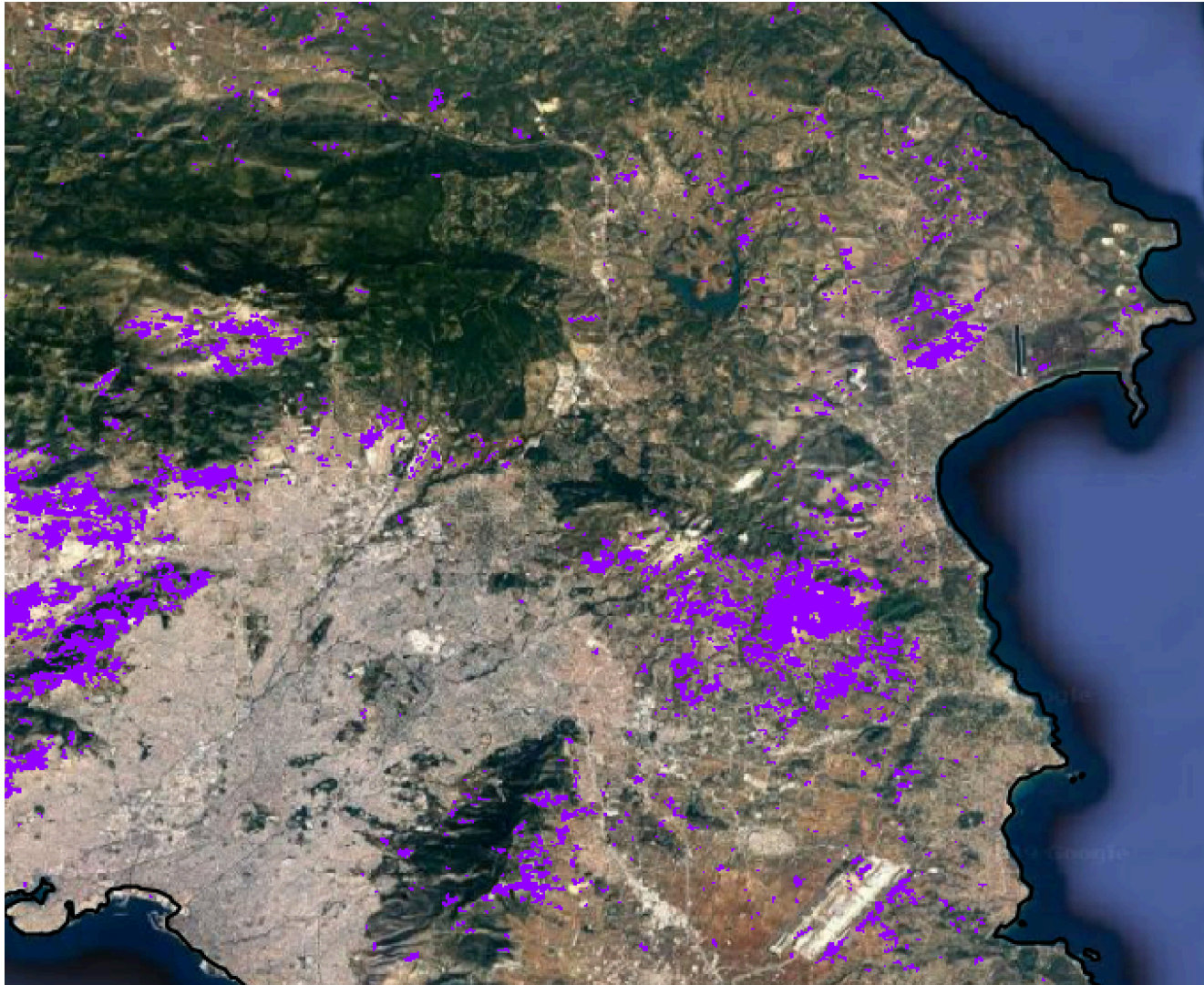
**Κωνοφόρα: FM02**

**Πλατύφυλλα: TL9**

**Μικτά: TU5**

<https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/forests>

**Ημι-εμπειρική χαρτογράφηση** με βάση υψηλής ανάλυσης (**100 m**) γεωχωρικά δεδομένα του **Copernicus Land Monitoring Service** (<https://land.copernicus.eu>).

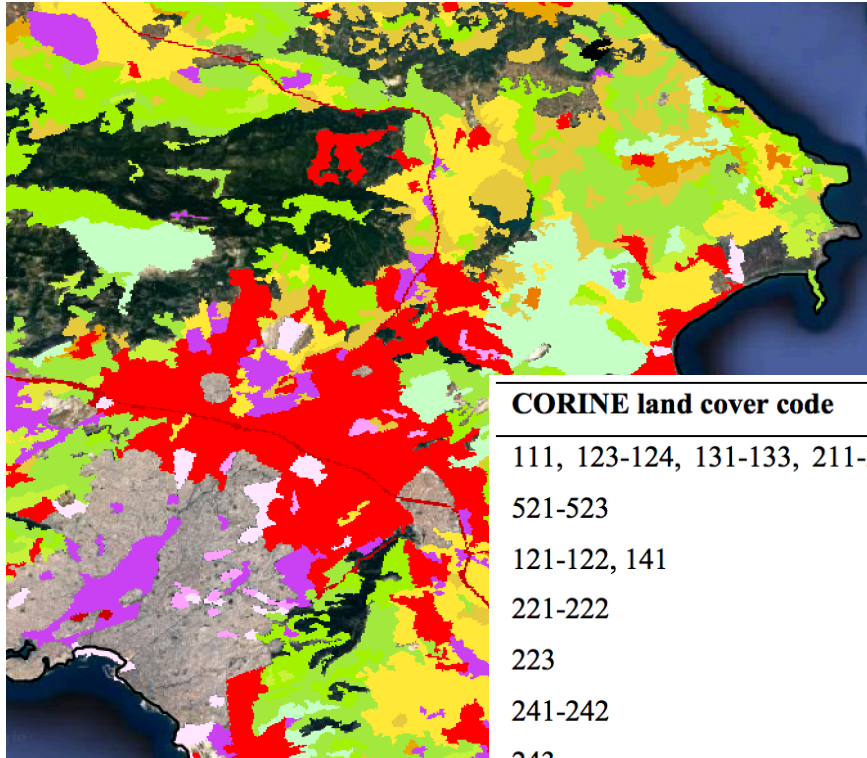


Γεωχωρική βάση δεδομένων για λιβάδια/βοσκοτόπια:  
**Λιβάδια/βοσκοτόπια: Χ002**

<https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/grassland>



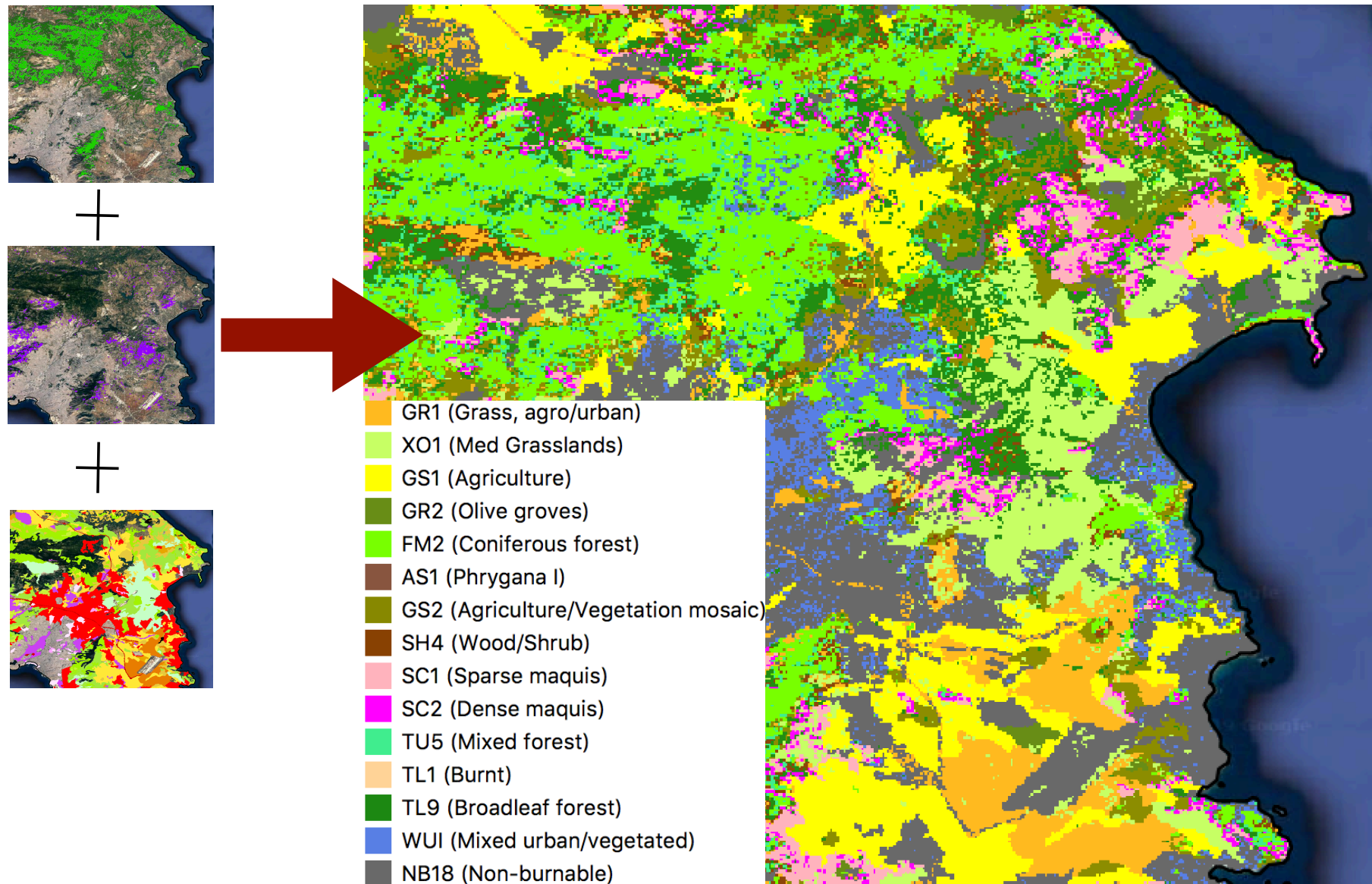
**Ημι-εμπειρική χαρτογράφηση** με βάση υψηλής ανάλυσης (**100 m**) γεωχωρικά δεδομένα του **Copernicus Land Monitoring Service** (<https://land.copernicus.eu>).



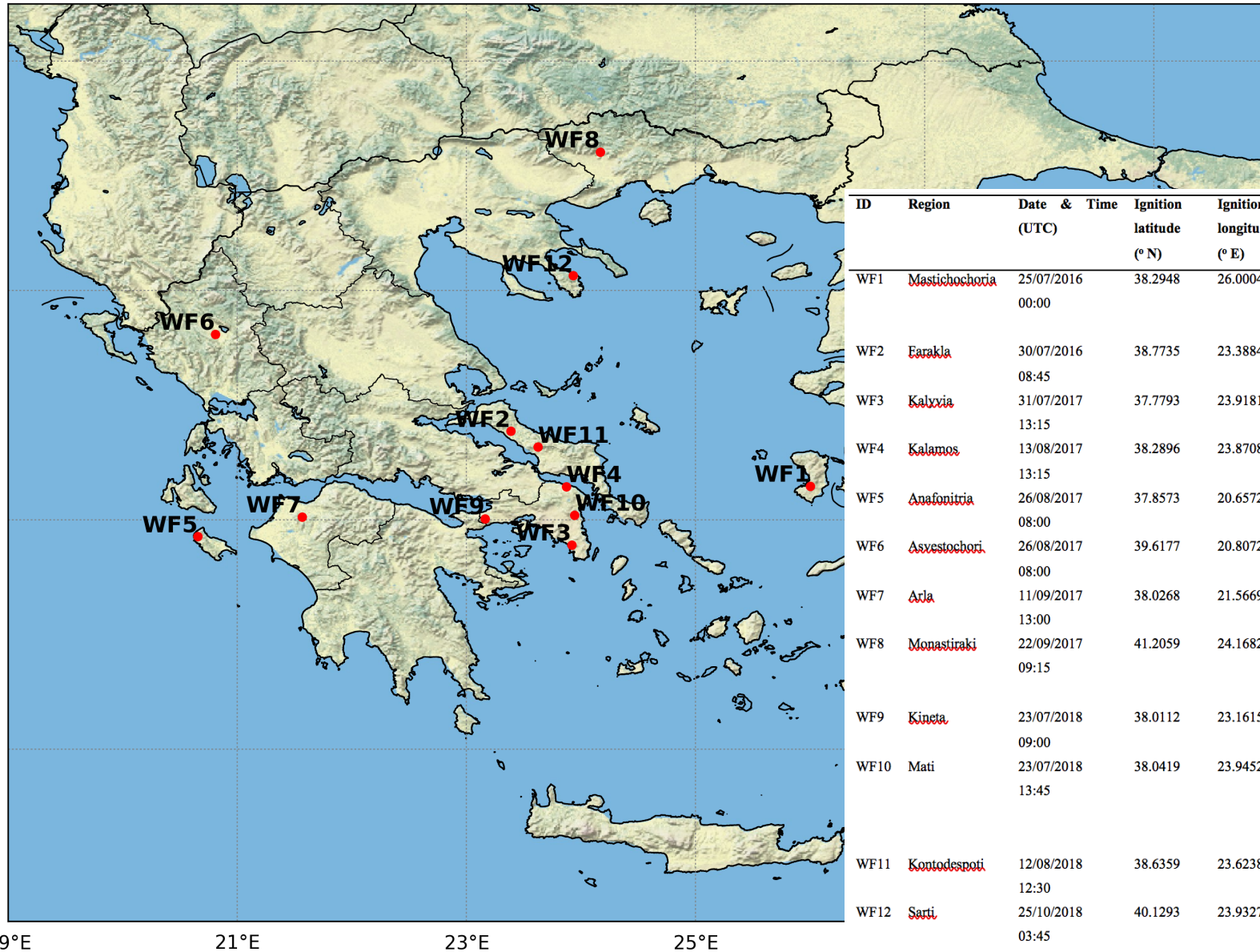
Γεωχωρική βάση δεδομένων χρήσεων γης (CORINE)

CORINE land cover code	Criteria	Fuel model
111, 123-124, 131-133, 211-213, 331-335, 411-412, 421-423, 511-512, 521-523	-	FM14
121-122, 141	Tree cover density above 10%	GR1
221-222	-	GR1
223	-	GR2
241-242	-	GS1
243	-	GS2
324	-	SH5
334	-	TL1
231, 321, 333	-	XO01
322	-	AS01
323	Tree cover density below 10%	SC01
323	Tree cover density above 10%	SC02
112	Tree cover density above 50%	WUI

**Ημι-εμπειρική χαρτογράφηση** με βάση υψηλής ανάλυσης (**100 m**) γεωχωρικά δεδομένα του **Copernicus Land Monitoring Service** (<https://land.copernicus.eu>).



8 πυρκαγιές για **βαθμονόμηση** (2016-2017) & 4 πυρκαγιές για **ανεξάρτητο έλεγχο** (2018)



ID	Region	Date & Time (UTC)	Ignition latitude (° N)	Ignition longitude (° E)	Duration (h)	Burnt area (ha)	Main vegetation types
WF1	Mastichochoria	25/07/2016 00:00	38.2948	26.0004	33	4,343	Mediterranean maquis, olive groves, pine forest
WF2	Earakla	30/07/2016 08:45	38.7735	23.3884	59	2,565	Pine forest
WF3	Kalxvia	31/07/2017 13:15	37.7793	23.9181	14	485	Mediterranean grassland
WF4	Kalamos	13/08/2017 13:15	38.2896	23.8708	54	2,889	Pine and mixed forest, wooded areas
WF5	Anafonitria	26/08/2017 08:00	37.8573	20.6572	48	1,387	Broadleaf forest, agricultural areas
WF6	Asvestochori	26/08/2017 08:00	39.6177	20.8072	19	610	Mediterranean grasslands
WF7	Arla	11/09/2017 13:00	38.0268	21.5669	17	1,910	Broadleaf forest
WF8	Monastiraki	22/09/2017 09:15	41.2059	24.1682	15	256	Broadleaf forest, Mediterranean grassland
WF9	Kineta	23/07/2018 09:00	38.0112	23.1615	69	5,428	Pine and broadleaf forest, wooded areas
WF10	Mati	23/07/2018 13:45	38.0419	23.9452	16	1,276	Mediterranean grassland, pine forest, wildland-urban interface
WF11	Kontodespoti	12/08/2018 12:30	38.6359	23.6238	14	557	Pine forest, olive groves
WF12	Sarti	25/10/2018 03:45	40.1293	23.9327	29	675	Pine forest



## Βαθμονόμηση

- Εφαρμογή του IRIS για την **πρόγνωση της εξάπλωσης** των 8 πυρκαγιών.
- **Σύγκριση πραγματικών και προβλεπόμενων** τελικών περιμέτρων.
- Εισαγωγή **συντελεστών προσαρμογής της ταχύτητας εξάπλωσης** ανά τύπο καύσιμης ύλης.
- **Επανάληψη** της εφαρμογής του IRIS.

**Στόχος:** Η όσο το δυνατό **πιο ακριβής πρόγνωση της τελικής περιμέτρου** κάθε πυρκαγιάς.

ID	Uncalibrated						Calibrated					
	KC	SC	OI	BAA <sup>1</sup>	BAO <sup>2</sup>	BAU <sup>3</sup>	KC	SC	OI	BAA <sup>1</sup>	BAO <sup>2</sup>	BAU <sup>3</sup>
WF1	0.59**	0.64	0.85	3981	4145	326	0.65***	0.71	-0.21	2886	919	1421
WF2	0.48**	0.53	0.93	2361	3976	139	0.69***	0.73	0.76	2304	1470	196
WF3	0.47*	0.54	0.88	428	685	42	0.48***	0.54	0.52	335	428	135
WF4	0.18**	0.22	0.98	2651	18853	229	0.59***	0.64	0.82	2621	2679	259
WF5	0.27*	0.32	0.96	1367	5776	112	0.51***	0.56	0.71	1208	1624	271
WF6	0.37*	0.42	0.98	575	1547	19	0.48***	0.54	0.88	537	871	57
WF7	0.62*	0.65	0.73	1532	1417	224	0.62***	0.65	-0.62	943	188	812
WF8	0.24*	0.27	0.99	242	1307	7	0.29***	0.34	0.59	139	425	110

<sup>1</sup>Burnt area agreement (ha). <sup>2</sup>Burnt area overestimation (ha). <sup>3</sup>Burnt area underestimation (ha).

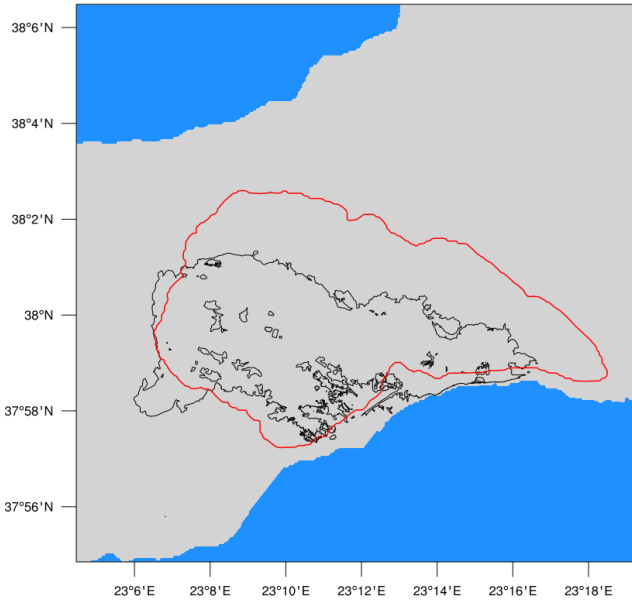
## Έλεγχος

- Εφαρμογή του IRIS για την **πρόγνωση της εξάπλωσης** των 4 πυρκαγιών του 2018, χρησιμοποιώντας τους συντελεστές βαθμονόμησης.
- **Σύγκριση πραγματικών και προβλεπόμενων** τελικών **περιμέτρων**.

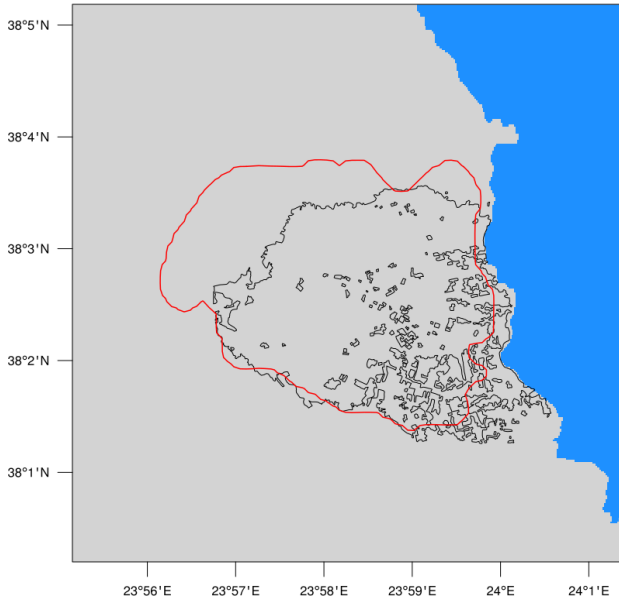
**Στόχος:** Ο έλεγχος της **αξιοπιστίας** της βαθμονόμησης.

<b>Wildfire</b>	<b>KC</b>	<b>SC</b>	<b>OI</b>	<b>BAA<sup>1</sup></b>	<b>BAO<sup>2</sup></b>	<b>BAU<sup>3</sup></b>
WF9	0.67**	0.71	0.84	5226	3964	345
WF10	0.62*	0.69	0.35	1032	627	303
WF11	0.55*	0.58	0.92	544	751	31
WF12	0.41*	0.45	0.62	443	881	210

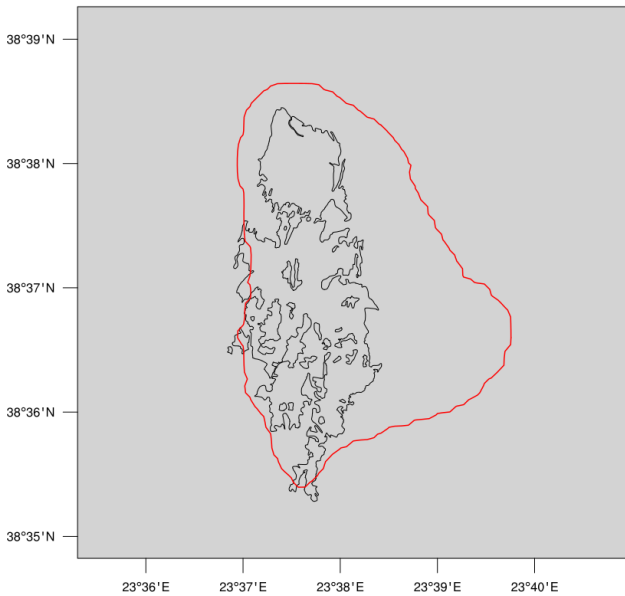
(a) 100m WRF-SFIRE  
Modeled fire perimeter (red contour)  
Observed fire perimeter (black contour)



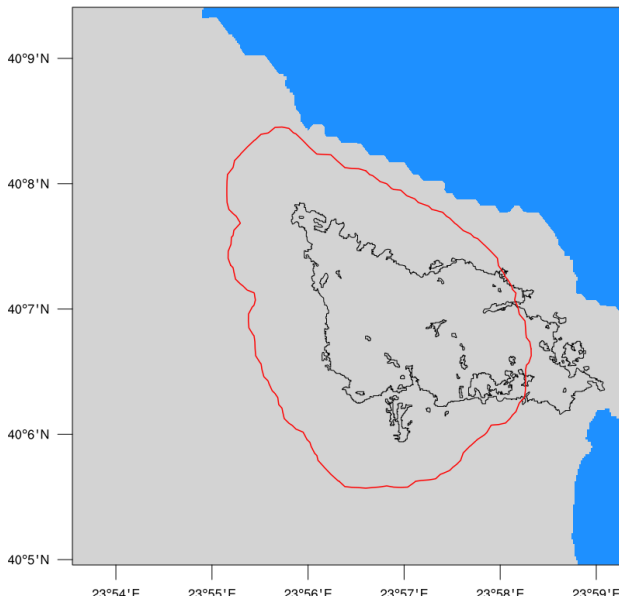
(b) 100m WRF-SFIRE  
Modeled fire perimeter (red contour)  
Observed fire perimeter (black contour)



(c) 100m WRF-SFIRE  
Modeled fire perimeter (red contour)  
Observed fire perimeter (black contour)



(d) 100m WRF-SFIRE  
Modeled fire perimeter (red contour)  
Observed fire perimeter (black contour)



Ικανοποιητική αναπαράσταση της εξάπλωσης, με το IRIS να υπερεκτιμά γενικά την έκταση των καμένων εκτάσεων (δε λαμβάνονται υπόψη οι προσπάθειες πυρόσβεσης), αναπαράγοντας ωστόσο το σχήμα των τελικών περιμέτρων.



# IRIS: Η φωτιά στο Μάτι





# IRIS: Επιχειρησιακή ετοιμότητα

---

## Πλήρως αυτοματοποιημένη εφαρμογή

- **Ενεργοποίηση** με εισαγωγή των **συντεταγμένων** και της **ώρας έναρξης** της πυρκαγιάς, μέσα από ειδική web εφαρμογή με **αυστηρά περιορισμένη πρόσβαση**.
- **Αυτόματη εκτέλεση** των διεργασιών για τον ορισμό των **πεδίων προσομοίωσης**.
- Εκτέλεση του IRIS στο **ιδιόκτητο HPC** (532 CPUS) του **ΕΑΑ/ΙΕΠΒΑ** για την παροχή **24ωρης πρόγνωσης**.
- **Αυτόματη αποστολή** των προγνώσεων με μορφή **Google Earth KMZ**.

Μέσα σε περίπου **15 min** από την ενεργοποίηση του, το IRIS δύνανται να παράσχει **6ωρη πρόγνωση** εξάπλωσης, ενώ σε περίπου **1 h** καθίσταται διαθέσιμη η **24ωρη** πρόγνωση.

**Διαθέσιμο για την προσεχή αντιπυρική περίοδο.**

# IRIS: Μελλοντικές βελτιώσεις

- Εισαγωγή παραμετροποίησης για fire spotting.

## RandomFront 2.3: a physical parameterisation of fire spotting for operational fire spread models – implementation in WRF-SFIRE and response analysis with LSFire+

Andrea Trucchia<sup>1,2</sup>, Vera Egorova<sup>1</sup>, Anton Butenko<sup>3,4</sup>, Inderpreet Kaur<sup>5</sup>, and Gianni Pagnini<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup>BCAM–Basque Center for Applied Mathematics, Bilbao, Basque Country, Spain

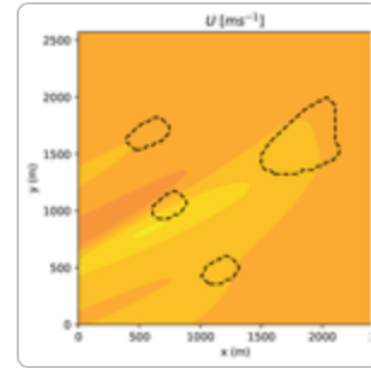
<sup>2</sup>Department of Mathematics, University of the Basque Country UPV/EHU, Bilbao, Basque Country, Spain

<sup>3</sup>Space Research Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Institute of Geography, University of Bremen, Bremen, Germany

<sup>5</sup>Department of Atmospheric Chemistry, Max Planck Institute for Chemistry, Mainz, Germany

<sup>6</sup>Ikerbasque–Basque Foundation for Science, Bilbao, Basque Country, Spain



Received: 06 Feb 2018 – Discussion started: 19 Mar 2018 – Revised: 17 Oct 2018 – Accepted: 28 Nov 2018 – Published: 03 Jan 2019

- Online υπολογισμός του fuel moisture με βάση το vapour pressure deficit.
- Ανάπτυξη παραμετροποίησης των ριπών του ανέμου και σύζευξη τους με το μοντέλο εξάπλωσης.
- Συνεχής έλεγχος και μικρο-συντονισμός (fine-tuning), όπου κρίνεται απαραίτητο, του μοντέλου.

## Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας Ερωτήσεις;

**Ανάπτυξη προγνωστικού συστήματος ταχείας απόκρισης για την πρόγνωση της  
εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών στα πλαίσια του προγράμματος DISARM**

**Θοδωρής Μ. Γιάνναρος** (συνεργαζόμενος ερευνητής)

**Βασιλική Κοτρώνη** (Δ/ντρια Ερευνών)

**Κωνσταντίνος Λαγουβάρδος** (Δ/ντης Ερευνών)

*Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος & Βιώσιμης Ανάπτυξης*

<http://disarmfire.eu>