



Δήμος Σουφλίου

Interreg
Greece-Bulgaria
FIRE DETECTION

European Regional Development Fund



The Project is co-funded by the European Regional Development Fund and by national funds of the countries participating in the Interreg V-A "Greece-Bulgaria 2014-2020" Cooperation Programme



Απόστολος Βασιλείου

Τριαντάφυλλος Μαματσόπουλος

The contents of this report are sole responsibility of Soufli Municipality and can in no way be taken to reflect the views of the European Union, the participating countries the Managing Authority and the Joint Secretariat



ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΤΟΥ ΔΑΣΟΥΣ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΔΑΔΙΑΣ- ΛΕΥΚΙΜΗΣ- ΣΟΥΦΛΙΟΥ

Φεβρουάριος 2021



Περιεχόμενα

1	Abstracts.....	4
2	Εισαγωγή.....	5
3	Περιγραφή των υπό αποτίμηση βιοτόπων.....	6
3.1	Δασικά οικοσυστήματα στην περιοχή του δήμου Σουφλίου.....	6
3.1.1	Χλωρίδα - Βλάστηση.....	7
3.1.2	Πανίδα.....	8
3.1.3	Οικολογική αξία της περιοχής.....	8
3.2	Προστατευόμενες περιοχές – Τύποι Οικοτόπων.....	10
4	Απειλές για τη βιοποικιλότητα στην περιοχή του έργου.....	23
4.1	Απειλές για τα δασικά οικοσυστήματα στην περιοχή Σουφλίου.....	23
4.1.1	Φυσικές καταστροφές.....	23
4.1.2	Απειλές από τον άνθρωπο.....	24
4.2	Δυνατότητες του συστήματος ανίχνευσης πυρκαγιών.....	28
4.2.1	Περιγραφή του συστήματος.....	28
4.2.2	Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος.....	29
4.2.3	Ανάλυση δυνατοτήτων παρακολούθησης του δάσους.....	30
4.3	Το δάσος και η αλληλεπίδραση με τη φωτιά.....	31
4.3.1	Αιτίες δασικών πυρκαγιών.....	31
4.3.2	Αντίκτυπος των δασικών πυρκαγιών στο περιβάλλον.....	32
4.3.3	Επίδραση της φωτιάς στα δέντρα.....	32
5	Εφαρμογές απομακρυσμένων αισθητήρων.....	39
5.1	Τρόπος λειτουργίας.....	39
5.2	Εφαρμογή για την προστασία και παρακολούθηση του δάσους.....	42
6	Δεδομένα, Μεθοδολογία και εργαλεία αποτίμησης κινδύνου.....	44
6.1	Χρήση συστημάτων ασαφούς λογικής (λογισμικό Matlab).....	44
6.1.1	Χρήση τίτλων.....	50
6.2	Μοντελοποίηση κινδύνου πυρκαγιών με G.I.S.....	67
7	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ.....	78
7.1	Αποτίμηση κινδύνου ελληνικής πλευράς διασυνοριακής ζώνης.....	78
7.2	Ολοκληρωμένη Αποτίμηση κινδύνου βιοποικιλότητας.....	79
8	Αποτελέσματα και Σχολιασμός.....	82
8.1	Σύνδεση κινδύνων και συχνότητας παρακολούθησης.....	82



9	Συμπεράσματα	83
10	Βιβλιογραφία.....	84
10.1	Ελληνική βιβλιογραφία	84
10.2	Διεθνής βιβλιογραφία.....	85



1 Abstracts

The area of Special Protection Areas - SPA (Special Protection Areas - SPA) of the Natura 2000 network, with code GR1110002 and name "Dadia Forest - Soufli" as the wider area, stands out for its rich flora and fauna, while protected by European and national laws, as well as by international treaties. For the above reasons, it is considered necessary to protect it as well as the wider area and its biodiversity.

For this purpose, the threats and dangers faced by the area and its biodiversity are analyzed and the effects of forest fires in the area are described.

Based on the above, the wireless sensor networks and their applications in forest protection are described and the function and characteristics of the fire detection system installed in the area are described. The possibilities of specific software for risk assessment are also analyzed and based on this the risk for the studied area and its biodiversity is assessed.



2 Εισαγωγή

Η περιοχή Ζώνης Ειδικής Προστασίας - ΖΕΠ (Special Protection Areas - SPA) του δικτύου Natura 2000, με κωδικό GR1110002 και ονομασία «Δάσος Δαδιάς - Σουφλί» όπως και η ευρύτερη περιοχή, ξεχωρίζει για την πλούσια χλωρίδα και πανίδα, ενώ προστατεύεται από ευρωπαϊκούς και εθνικούς νόμους, καθώς και από διεθνείς συνθήκες. Για τους ανωτέρω λόγους κρίνεται απαραίτητη η προστασία της όπως και της ευρύτερης περιοχής και της βιοποικιλότητας της.

Για τον σκοπό αυτό αναλύονται οι απειλές και οι κίνδυνοι που αντιμετωπίζει η περιοχή και η βιοποικιλότητα σ' αυτήν και περιγράφονται οι επιπτώσεις από τις δασικές πυρκαγιές στην περιοχή.

Με βάση τα παραπάνω περιγράφονται τα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων και οι εφαρμογές τους στην προστασία του δάσους και περιγράφεται η λειτουργία και τα χαρακτηριστικά του συστήματος ανίχνευσης φωτιάς που εγκαταστάθηκε στην περιοχή. Επίσης αναλύονται οι δυνατότητες συγκεκριμένου λογισμικού για την εκτίμηση κινδύνων και με βάση αυτό αποτιμάται ο κίνδυνος για την μελετούμενη περιοχή και την βιοποικιλότητα της.



3 Περιγραφή των υπό αποτίμηση βιοτόπων

3.1 Δασικά οικοσυστήματα στην περιοχή του δήμου Σουφλίου

Με βάση στοιχεία από τα ανοιχτά δεδομένα του «geodata.gov.gr» (CORINE Land Cover 2018), οι κατηγορίες κάλυψης/ χρήσεων γης της περιοχής Ζώνης Ειδικής Προστασίας - ΖΕΠ (Special Protection Areas - SPA) του δικτύου Natura 2000, με κωδικό GR1110002 και ονομασία «Δάσος Δαδιάς - Σουφλί», παρουσιάζονται αναλυτικά στον ακόλουθο πίνακα.

α/α	Κατηγορία κάλυψης γης (CORINE Land Cover 2018)		Έκταση	
	Κωδ.	Ονομασία		Κωδ.
1	112	Ασυνεχής αστικός ιστός	966,42	0,23
2	121	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	415,69	0,10
3	211	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	55.673,15	13,15
4	212	Μόνιμα αρδευόμενη γη	3.325,19	0,79
5	221	Αμπελώνες	292,62	0,07
6	231	Λιβάδια	4.283,16	1,01
7	242	Σύνθετες καλλιέργειες	3.959,62	0,94
8	243	Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	26.594,36	6,28
9	311	Δάσος πλατύφυλλων	27.130,61	6,41
10	312	Δάσος κωνοφόρων	8.383,98	1,98
11	313	Μικτό δάσος	200.227,12	47,29
12	321	Φυσικοί βοσκότοποι	1.812,52	0,43
13	322	Θάμνοι και χερσότοποι	7.128,73	1,68
14	323	Σκληροφυλλική βλάστηση	26.999,84	6,38
15	324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	55.727,46	13,16
16	331	Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	464,98	0,11
ΣΥΝΟΛΟ			423.385,45	100,00

Η συνολική έκταση της Ζώνης Ειδικής Προστασίας με κωδικό GR111000 ανέρχεται στα 423.385,45 στρ. και περιλαμβάνει εκτός από τις εκτάσεις με φυσική βλάστηση, τους οικισμούς, τις καλλιέργειες και κάθε είδους υποδομές που βρίσκονται εντός των ορίων της.

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι:

- οι εκτάσεις με φυσική βλάστηση (δάση, θαμνότοποι, βοσκότοποι, κλπ) καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος (περισσότερο από το 78%) της περιοχής μελέτης,



- στις εκτάσεις αυτές κυριαρχούν τα δάση (περισσότερο από 55%), η συντριπτική πλειονότητα των οποίων (περισσότερο από το 47%) είναι μικτά δάση (πλατυφύλλων – κωνοφόρων),
- σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης καταλαμβάνουν οι μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις (13,16%) και οι θαμνώνες με σκληροφυλλική βλάστηση (6,38 %),
- το σύνολο των κάθε είδους γεωργικών εκτάσεων (αρόσιμες, αρδευόμενες, κλπ) καλύπτει περίπου το 1/5 (21,22%) της συνολικής έκτασης της περιοχής μελέτης,
- σχετικά σημαντική εξάπλωση (6,28%) έχουν και εκτάσεις κυρίως γεωργικές αλλά με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης, και
- οι οικισμοί και οι λοιπές υποδομές καθώς και οι άγονες εκτάσεις (αμμόλοφοι, κλπ) καλύπτουν συνολικά πολύ μικρό μέρος (0,44%) της συνολικής έκτασης.

3.1.1 Χλωρίδα - Βλάστηση

Τα κύρια δασοπονικά είδη που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης όπως και στην ευρύτερη περιοχή είναι τα: η Τραχεία πεύκη (*Pinus brutia*), η Μαύρη πεύκη (*Pinus nigra*), η οξιά (*Fagus sylvatica*), η φουντουκιά (*Corylus avellana*) το αρκουδοπούρναρο (*Ilex aquifolium*), η Πλατύφυλλη δρυς (*Quercus frainetto*), το Τσέρο (*Q. cerris*), η Χνοώδης δρυς (*Q. pubescens*), η Αγριοκουμαριά (*Arbutus andrachne*), το Φυλλίκι (*Phillyrea latifolia*), το Ρείκι (*Erica arborea*), η Λαδανιά (*Cistus incanus*), το σκλήθρο (*Alnus glutinosa*), η Ιτιά (*Salix spp.*), η Μαύρη Λεύκη (*Populus nigra*) το Αλμυρίκι (*Tamarix spp.*) κ.α..

Επιπλέον, έχει καταγραφεί μεγάλος αριθμός ποωδών φυτικών ειδών, όπου μεταξύ αυτών απαντούν και δύο είδη ενδημικά της Ελλάδας τα: *Minuartia greuteriana* και *Onosma kittanae*. Επίσης, έχουν καταγραφεί τρία σπάνια είδη τα: *Cephalanthera epipactoides*, *Salix xanthicola* και *Zygophyllum album*. Είκοσιεννέα είδη (29) φυτών τελούν υπό καθεστώς προστασίας, ενώ αξιοσημείωτη είναι η παρουσία 25 ειδών ορχιδέας. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην ευρύτερη περιοχή, απαντά ένα σπάνιο είδος Αγριομηλιάς (*Eriolobus trilobatus*), με πολύ περιορισμένη εξάπλωση.



3.1.2 Πανίδα

Στην μελέτης όπως και στην ευρύτερη περιοχή, έχουν παρατηρηθεί συνολικά 60 - 65 είδη θηλαστικών περιίπου. Σημαντική είναι επίσης και η παρουσία 24 ειδών νυχτερίδων στο Εθνικό Πάρκο. Όσον αφορά την ορνιθοπανίδα, είναι ιδιαίτερα πλούσια. Συγκεκριμένα, το Εθνικό Πάρκο Δάσους Δαδιάς – Λευκίμμης – Σουφλίου είναι παγκοσμίως γνωστό για την ποικιλότητα των αρπακτικών πουλιών του.

Στο Πάρκο, έχουν παρατηρηθεί 36 από τα 39 είδη ημερόβιων αρπακτικών πουλιών της Ευρώπης. Είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακό το γεγονός ότι στην περιοχή απαντώνται ταυτόχρονα 3 από τα 4 είδη γύπα της Ευρώπης: ο Μαυρόγυπας (*Aegypius monachus*), ο Ασπροπάρης (*Neophron percnopterus*) και το Όρνιο (*Gyps fulvus*). Εκτός από τα αρπακτικά, στην περιοχή έχουν παρατηρηθεί περίπου 166 είδη πουλιών, εκ των οποίων 2 έχουν χαρακτηριστεί ως κινδυνεύοντα για την Ελλάδα, ο Μαυροπελαργός (*Ciconia nigra*) και η Καμπίσια Πέρδικα (*Perdix perdix*), ενώ άλλα 10 έχουν χαρακτηριστεί ως “σχεδόν απειλούμενα” και 5 ως “τρωτά”. Ο αριθμός ειδών αμφιβίων που έχουν καταγραφεί είναι 13 από τα οποία τα 10 είναι βάτραχοι, συμπεριλαμβανομένης της απειλούμενης Κοκκινομπομπίνας (*Bombina bombina*), ενώ τα άλλα τρία είναι δύο είδη τρίτων και η γνωστή Σαλαμάνδρα (*Salamandra salamandra*). Από τα 29 είδη ερπετών, τα τέσσερα είναι χελώνες, τα έντεκα σαύρες και τα δεκατέσσερα φίδια, από τα οποία μόνο τα δύο είδη οχιάς είναι επικίνδυνα για τον άνθρωπο. Στα ρέματα της περιοχής, έχουν καταγραφεί συνολικά 17. είδη ψαριών, ενώ όσον αφορά τα ασπόνδυλα έχουν καταγραφεί 283 είδη, από τα οποία τα 104 είναι πεταλούδες (http://dadia-np.gr/?page_id=3724).

3.1.3 Οικολογική αξία της περιοχής

Η περιοχή έχει ιδιαίτερο καθεστώς προστασίας, αφού αποτελεί τη Ζώνη Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ-SPA) για την ορνιθοπανίδα με κωδικό GR1110002 και ονομασία «Δάσος Δαδιάς - Σουφλί», αλλά και μέρος του Τόπου Κοινοτικής Σημασίας (ΤΚΣ – SCI) με κωδικό GR1110005 και ονομασία «Βουνά Έβρου», του δικτύου NATURA 2000. Από το σύνολο της έκτασης των οικοτόπων της



περιοχής μελέτης, περισσότερο από το 64% αποτελεί ευαίσθητους οικοτόπους (οικότοποι δασών, θαμνώνων και φυσικών βοσκοτόπων) όπως:

- 5210 Δενδρώδη matorrals με *Juniperus* spp.
- 6220 Ψευδοστέππα με αγρωστώδη και μονοετή φυτά της Therobrachypodietea
- 62A0 Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωώδεις διαπλάσεις (*Scorzonetalia villosae*)
- 91E0 Αλλουβιακά δάση με *Alnus glutinosa* και *Fraxinus excelsior* (Alno-Padion, *Alnion incanae*, *Salicion albae*)
- 91M0 Δάση δρυός με *Quercus cerris* και *Quercus petraea*
- 92A0 Δάση-στοές με *Salix alba* και *Populus alba*
- 9340 Δάση με *Quercus ilex* και *Quercus rotundifolia*
- 9530 (Υπο-)μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα
- 9540 Μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά είδη πεύκων της Μεσογείου

Τα είδη χαρακτηρισμού, δηλαδή τα σημαντικότερα είδη ορνιθοπανίδας της Ζώνης Ειδικής Προστασίας (ΖΕΠ) «Δάσος Δαδιάς - Σουφλί» παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

α/α	Είδος χαρακτηρισμού	
	Λατινική ονομασία	Ελληνική ονομασία
1	<i>Aegyptius monachus</i>	Μαυρόγυπας
2	<i>Aquila chrysaetos</i>	Χρυσαιετός
3	<i>Aquila clanga</i>	Στικταετός
4	<i>Aquila pomarina</i>	Κραυγαετός
5	<i>Bubo bubo</i>	(Ευρασιατικός) Μπούφος
6	<i>Circaetus gallicus</i>	Φιδαετός
7	<i>Gyps fulvus</i>	Όρνιο
8	<i>Hieraetus pennatus</i>	Σταυραετός
9	<i>Hippolais olivetorum</i>	Λιοστριτσιίδα
10	<i>Neophron percnopterus</i>	Ασπροπάρης
11	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Νυχτοκόρακας

Τα παραπάνω είδη, αλλά και τα υπόλοιπα είδη ορνιθοπανίδας της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιούν - αξιοποιούν ως ενδιαίτημα (το φυσικό περιβάλλον στο



οποίο ζουν και αναπαράγονται) περισσότερο από το 77% των εκτάσεων της περιοχής μελέτης. Με βάση την κατηγοριοποίηση που προέκυψε από τη συσχέτιση των τύπων οικοτόπων με τύπους οικοσυστημάτων στα πλαίσια της «Χαρτογράφησης και αξιολόγησης των οικοσυστημάτων και των υπηρεσιών τους στην ΕΕ»(4) οι τύποι οικοσυστημάτων που χρησιμοποιούνται ως ενδicia στην περιοχή μελέτης είναι:

- δάση και δασικές εκτάσεις,
- ερεικώνες και θαμνώνες,
- εκτάσεις με αραιή βλάστηση,
- λιβάδια.

3.2 Προστατευόμενες περιοχές - Τύποι Οικοτόπων

Στην περιοχή του Έβρου, υπάρχουν πολλές προστατευόμενες περιοχές. Συγκεκριμένα, μέρος της περιοχής μελέτης, έχει χαρακτηριστεί ως Εθνικό Πάρκο. Εντός του Εθνικού Πάρκου υπάρχουν 4^{ης} περιοχές που είναι ενταγμένες στο δίκτυο Natura. Οι δύο από αυτές τις περιοχές στο μεγαλύτερο μέρος τους είναι εντός του Εθνικού Πάρκου (βλέπε α, β), ενώ αντίθετα οι άλλες δύο, εντός του Πάρκου έχουν ένα μικρό μέρος τους(βλέπε γ, δ).

Αναλυτικότερα:

1. «DADIA - LEFKIMMI – SOUFLI FOREST NATIONAL» ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΔΑΣΟΥΣ ΔΑΔΙΑΣ - ΛΕΥΚΙΜΜΗΣ – ΣΟΥΦΛΙΟΥ.

α. Η περιοχή με όνομα «DASOS DADIAS – SOUFLI» -Δάσος Δαδιάς-Σουφλίου και κωδικό GR 1110002, SPA (για την προστασία της ορνιθοπανίδας).

β. Η περιοχή με όνομα «VOUNA EVROU- POTAMOS LYRAS- SPILAIA DIDYMOTEICHOU KAI KEFALOVOUNOU» ΒΟΥΝΑ ΕΒΡΟΥ – ΠΟΤΑΜΟΣ ΛΥΡΑΣ – ΣΠΗΛΑΙΑ ΔΙΔΥΜΟΤΕΙΧΟΥ ΚΑΙ ΚΕΦΑΛΟΒΟΥΝΟΥ και κωδικό GR1110005, SCI (για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας)

γ. Η περιοχή με όνομα «TREIS VRYSES» ΤΡΕΙΣ ΒΡΥΣΕΣ και κωδικό GR 1110003, SCI.



δ. Η περιοχή με όνομα «OREINOS EVROS - KOILADA DEREIOU» ΟΡΕΙΝΟΣ ΕΒΡΟΣ - ΚΟΙΛΑΔΑ ΔΕΡΕΙΟΥ και κωδικό GR 1110010, SPA (για την προστασία της ορνιθοπανίδας).

Αναλυτικότερα:

1) «DADIA - LEFKIMMI – SOUFLI FOREST NATIONAL» ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΔΑΣΟΥΣ ΔΑΔΙΑΣ - ΛΕΥΚΙΜΜΗΣ – ΣΟΥΦΛΙΟΥ.

Σύμφωνα με το **ΦΕΚ Δ 911/13-10-2006**, «χαρακτηρίζεται ως Εθνικό Πάρκο η εκτός σχεδίου πόλεως και εκτός ορίων οικισμών προϋφιστάμενων του έτους 1923 και κάτω των 2.000 κατοίκων περιοχή συνολικής έκτασης 428.000 στρεμμάτων, η οποία αποτελεί το δασικό σύμπλεγμα Δαδιάς – Λευκίμμης – Σουφλίου και εμπίπτει εντός των διοικητικών ορίων των δήμων Σουφλίου και Τυχερού (ν. Έβρου)» (Εικόνα 1)

α) **«DASOS DADIAS – SOUFLI» - ΔΑΣΟΣ ΔΑΔΙΑΣ – ΣΟΥΦΛΙΟΥ, GR 1110002, SPA (για την προστασία της ορνιθοπανίδας).**

Έκταση 42338.5500 ha

Η περιοχή αποτελεί μέρος της νοτιοανατολικής άκρης της Ροδόπης, ενώ υπάρχει αλληλεπικαλυπτόμενη περιοχή με την προστατευόμενη περιοχή με όνομα «VOUNA EVROU - POTAMOS LYRAS- SPILAIA DIDYMOTEICHOU ΚΑΙ ΚΕΦΑΛΟΒΟΥΝΟΥ», ΒΟΥΝΑ ΕΒΡΟΥ – ΠΟΤΑΜΟΣ ΛΥΡΑΣ – ΣΠΗΛΑΙΑ ΔΙΔΥΜΟΤΕΙΧΟΥ ΚΑΙ ΚΕΦΑΛΟΒΟΥΝΟΥ και κωδικό GR1110005. Είναι μια δασωμένη λοφώδης περιοχή με έντονα και ποικίλα τοπία και ένα μεγάλο μέρος του ποταμού Έβρου την διασχίζει. Η περιοχή ανήκει στη υπό μεσογειακή ζώνη βλάστησης και χαρακτηρίζεται από θερμόφιλες υποηπειρωτικές βελανιδιές. Η βλάστηση αποτελείται από μικτές συστάδες των ειδών *Pinus brutia*, *Pinus nigra*, πλατύφυλλων βελανιδιών και άλλων πλατύφυλλων ειδών της μεσογειακής και υπόμεσογειακής χλωρίδας. Η περιοχή έχει σημαντική οικολογική αξία, λόγω του μεγάλου αριθμού ειδών από πτηνά, πολλά από τα οποία είναι σπάνια στην Ευρώπη. Η περιοχή είναι ένας σημαντικός βιότοπος για πολλά ερπετά και πουλιά ως αποτέλεσμα της θέσης της και αποτελεί σταυροδρόμι μετανάστευσης και φωλεασμού πουλιών (Εικόνα 2).



Η περιοχή αποτελείται από το δασικό σύμπλεγμα της Δαδιάς – Λευκίμμης - Σούφλι και περιλαμβάνει:

- Προστατευόμενες περιοχές για αρπακτικά πουλιά (~ 7.290 εκτάρια).
- Περιοχή διαχειριζόμενων δασών (~ 19.291 εκτάρια).
- Περιοχές βοσκοτόπων σε δασικές εκτάσεις, λιβάδια και γεωργικές περιοχές (~ 15.589 εκτάρια).

β. VOUNA ENROU- POTAMOS LYRAS- SPILAIA DIDYMOTEICHOU KAI KEFALOUNOUNOU» ΒΟΥΝΑ ΕΒΡΟΥ – ΠΟΤΑΜΟΣ ΛΥΡΑΣ – ΣΠΗΛΑΙΑ ΔΙΔΥΜΟΤΕΙΧΟΥ ΚΑΙ ΚΕΦΑΛΟΒΟΥΝΟΥ και κωδικό GR 1110005, SCI (για τη διατήρηση των φυσικών οικοτόπων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας)

Έκταση 43299.2900 ha

Η περιοχή εμφανίζει κοινά χαρακτηριστικά τόπου όπως αναφέρθηκαν για την περιοχή με όνομα «DASOS DADIAS – SOUFLI» - ΔΑΣΟΣ ΔΑΔΙΑΣ - ΣΟΥΦΛΙΟΥ και κωδικό GR 1110002 (βλέπε ανωτέρω) όπως και ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά όσον αφορά την ποιότητα και την σημασία του τόπου. Σε αυτήν την περιοχή εκτός των κοινών στοιχείων που εμφανίζουν, υπάρχουν τρεις περιοχές μεγάλης οικολογικής σημασίας.

1) **Το σπήλαιο του Διδυμοτείχου**, όπου έχουν βρεθεί περίπου 500 έως 3000 άτομα του είδους *Miniopterus schreibersii* (ανάλογα με την εποχή), μερικές δεκάδες έως εκατοντάδες των ειδών *Myotis blythii* και *Rhinolophus ferrumequinum*, καθώς και μερικές δεκάδες του είδους *Rhinolophus mehelyi*. Επιπλέον, υπάρχει μια μοναδική καταγραφή του είδους *Plecotus austriacus*.

2) **Το Σπήλαιο του Κεφαλόβουνου**: το σπήλαιο φιλοξενεί σημαντικές αποικίες από την άνοιξη έως το φθινόπωρο, λιγότερο το χειμώνα των ειδών: *Myotis capaccinii*, *Miniopterus schreibersii*, *Myotis blythii*, *Myotis myotis*, *Rhinolophus ferrumequinum* και *Rhinolophus mehelyi*. Περαιτέρω, περιστασιακά έχουν βρεθεί άτομα των ειδών *Myotis emarginatus*, *Rhinolophus euryale*, *Rhinolophus blasii*, και *Myotis nattereri*. Είναι ένα από τα πιο σημαντικά σπήλαια της Βόρειας Ελλάδας, όπως σύμφωνα με παλαιότερες δημοσιευμένες πληροφορίες και αδημοσίευτα αρχεία, είναι μέρος ενός υπόγειου δικτύου



καταφυγίων που χρησιμοποιείται από τα είδη *Myotis capaccinii* και *Miniopterus schreibersii* στη Θράκη. Άλλα καταφύγια αυτού του δικτύου είναι ορυχεία και σπήλαια ή η περιοχή με κωδικό **GR1110005**, το σπήλαιο Polifimos Maroneia και κωδικό **GR1130008**, η σπήλαια της Ροδόπης καθώς και σπήλαια της Θράκης.

3) **Τον Ποταμό Λύρα**, όπου αποτελεί είναι μια εξαιρετικά σημαντική περιοχή αφού είναι η μόνη περιοχή στην Ελλάδα όπου βρίσκεται το είδος *Cobitis runcticulata*. Διάφορες μελέτες στην περιοχή έδειξαν ότι είναι εξαιρετικά σπάνιο (Zogaris et al. 2009 από <https://natura2000.eea.europa.eu/>) επειδή δεν έχει βρεθεί ποτέ σε κανένα άλλο μέρος στον ποταμό Έβρο ή σε παραποτάμια έλη της περιοχής. Γενικά, η περιοχή είναι εξαιρετικά πλούσια σε είδη ψαριών, πολλά από τα οποία προστατεύονται από την Οδηγία 93/43 / ΕΟΚ όπως το *Aspius aspius*, το *Cobitis strumicae* κ.λπ. (Εικόνα 3).

Οι τύποι Οικοτόπων (Παράρτημα 1 της Οδηγίας 92/43/ ΕΟΚ) που απαντώνται στην περιοχή με κωδικό GR 1110002 είναι οι:

- **5210** (950,491 ha), Δενδρώδη matorrals με *Juniperus spp.*.
- **6220** (585,073 ha), Ψευδοστέππα με αγρωστώδη και μονοετή φυτά της *Thero-Brachypodietea*.
- **62A0** (22.6007ha), Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωώδεις διαπλάσεις (*Scorzonetalia villosae*).
- **91E0** (17.5876 ha), Αλλουβιακά δάση με *Alnus glutinosa* και *Fraxinus excelsior* (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*).
- **91M0** (14809.6 ha), Δάση δρυός με *Quercus cerris* και *Quercus petraea*.
- **92A0** (60.3621 ha), Δάση-στοές με *Salix alba* και *Populus alba*.
- **9340** (408.355 ha), Δάση με *Quercus ilex* και *Quercus rotundifolia*.
- **9530** (120.949 ha (Υπο-) μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά μαυρόπευκα.
- **9540** (17738.5 ha) Μεσογειακά πευκοδάση με ενδημικά είδη πεύκων της Μεσογείου.

γ. «ΤΡΕΙΣ ΒΡΥΣΕΣ» ΤΡΕΙΣ ΒΡΥΣΕΣ με κωδικό GR 1110003, SCI



Έκταση 9967.7500 ha

Η περιοχή ανήκει στο υγρό βιοκλιματικό στρώμα με ψυχρούς ή πολύ ψυχρούς χειμώνες και χαρακτηρίζεται από την παρουσία μεταμορφωμένων και ιζηματογενών πετρωμάτων. Τα φυσικά δάση της περιοχής αποτελούνται από μικτές και αμιγείς συστάδες οξιάς (*Fagus sylvatica*) και δρυός (*Quercus*). Το κυρίαρχο είδος του δάσους (σε ύψος 300 m) από το γένος *Quercus* είναι το *Quercus dalechampii*. Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής και σε χαμηλότερα επίπεδα το κυρίαρχο είδος είναι το *Q. frainetto* σε μίξη με τα *Q. cerris* και *Q. rubescens*. Επίσης, μικρές συστάδες από τα είδη *Populus tremula*, *Ilex aquifolium*, *Acer sp.*, *Fraxinus sp.* κλπ βρίσκονται μέσα στο δάσος οξιάς. Το μικτό δάσος οξιάς - δρυός με την πλούσια χλωρίδα και πανίδα χαρακτηρίζει την τοποθεσία που έχει την πιο αξιόλογη δασική παραγωγή στην περιοχή του Έβρου. Επιπλέον, από το έτος 1960, πολλές εγκαταλελειμμένες περιοχές φυτεύτηκαν με τα είδη *P. nigra* και *P. radiata*. Στην περιοχή, έχουν καταγραφεί 11 είδη ερπετών και 5 είδη αμφιβίων του Παραρτήματος V και ένα είδος αμφιβίων του Παραρτήματος V (Εικόνα 4).

Οι τύποι Οικοτόπων (Παράρτημα 1 της Οδηγίας 92/43/ ΕΟΚ) που απαντώνται στην περιοχή και κωδικό GR 1110003, είναι οι:

- **62A0** (99.1611 ha) Ανατολικές υπο-Μεσογειακές ξηρές χλωώδεις διαπλάσεις (*Scorzonetalia villosae*)
- **9130** Δάση οξυάς της *Asperulo-Fagetum*
- **91M0** (7162.64 ha) Δάση δρυός με *Quercus cerris* και *Quercus petraea* και
- **9280** (1760.31) Δάση με *Quercus frainetto*.

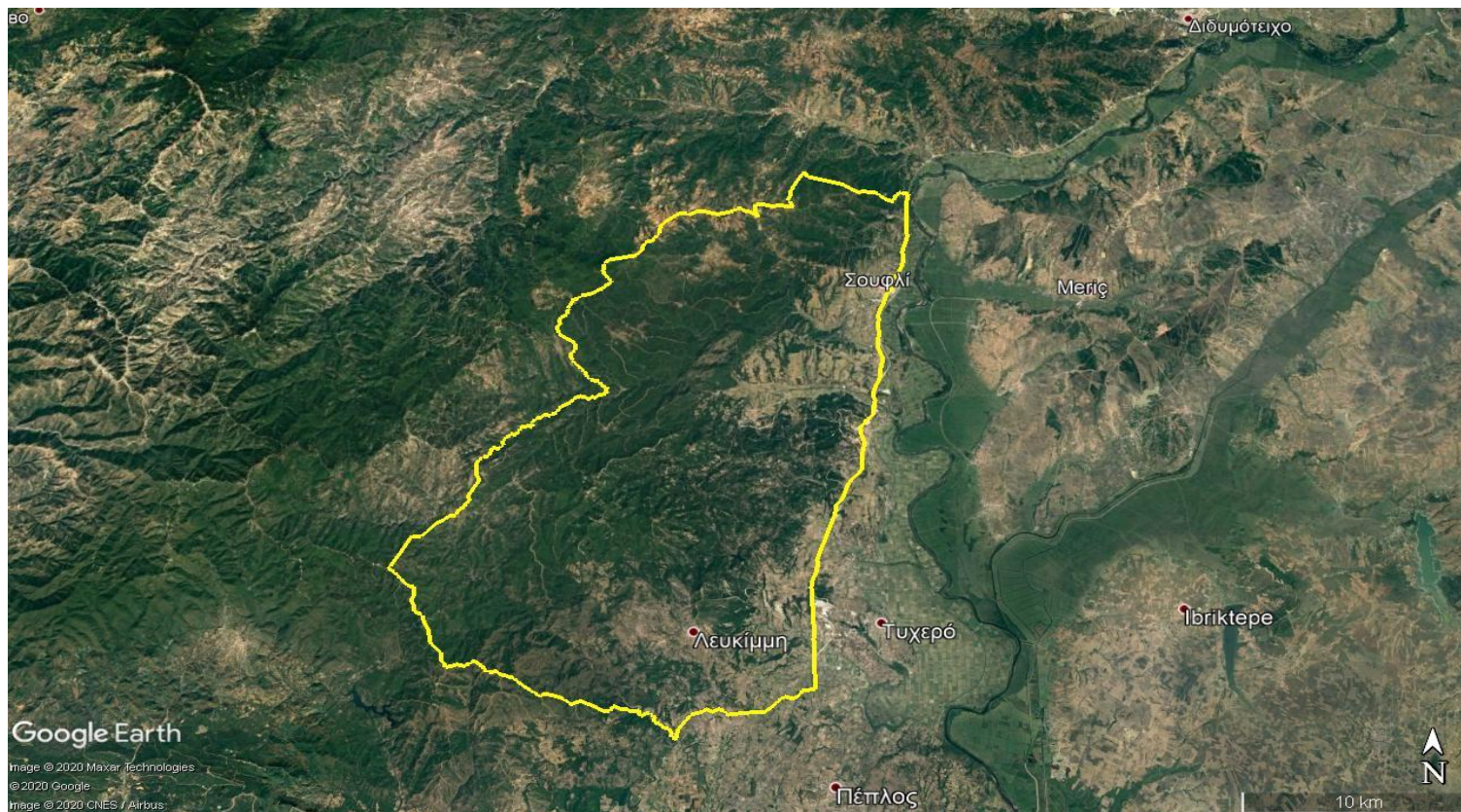
δ. ΟREINOS EVROS - KOILADA DEREIOY» ΟΡΕΙΝΟΣ ΕΒΡΟΣ - ΚΟΙΛΑΔΑ ΔΕΡΕΙΟΥ και κωδικό GR 1110010, SPA

Έκταση 48942.1900 ha

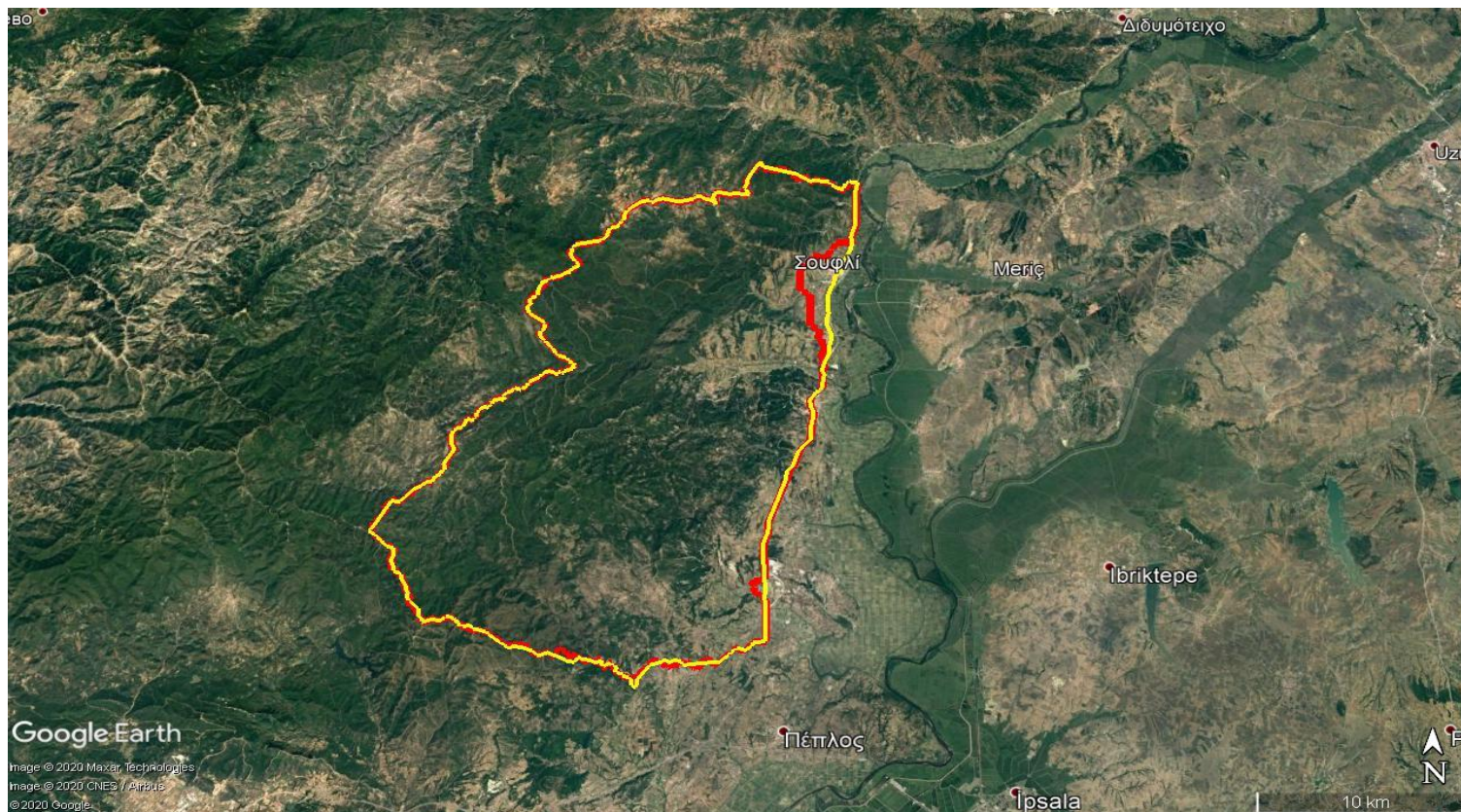
Η περιοχή βρίσκεται στο δυτικό άκρο του νομού Έβρου κοντά στα ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Η βλάστηση αποτελείται κυρίως από δάση βελανιδιάς και οξιάς με μικρές συστάδες πεύκων. Εν μέρει δασώδεις περιοχές



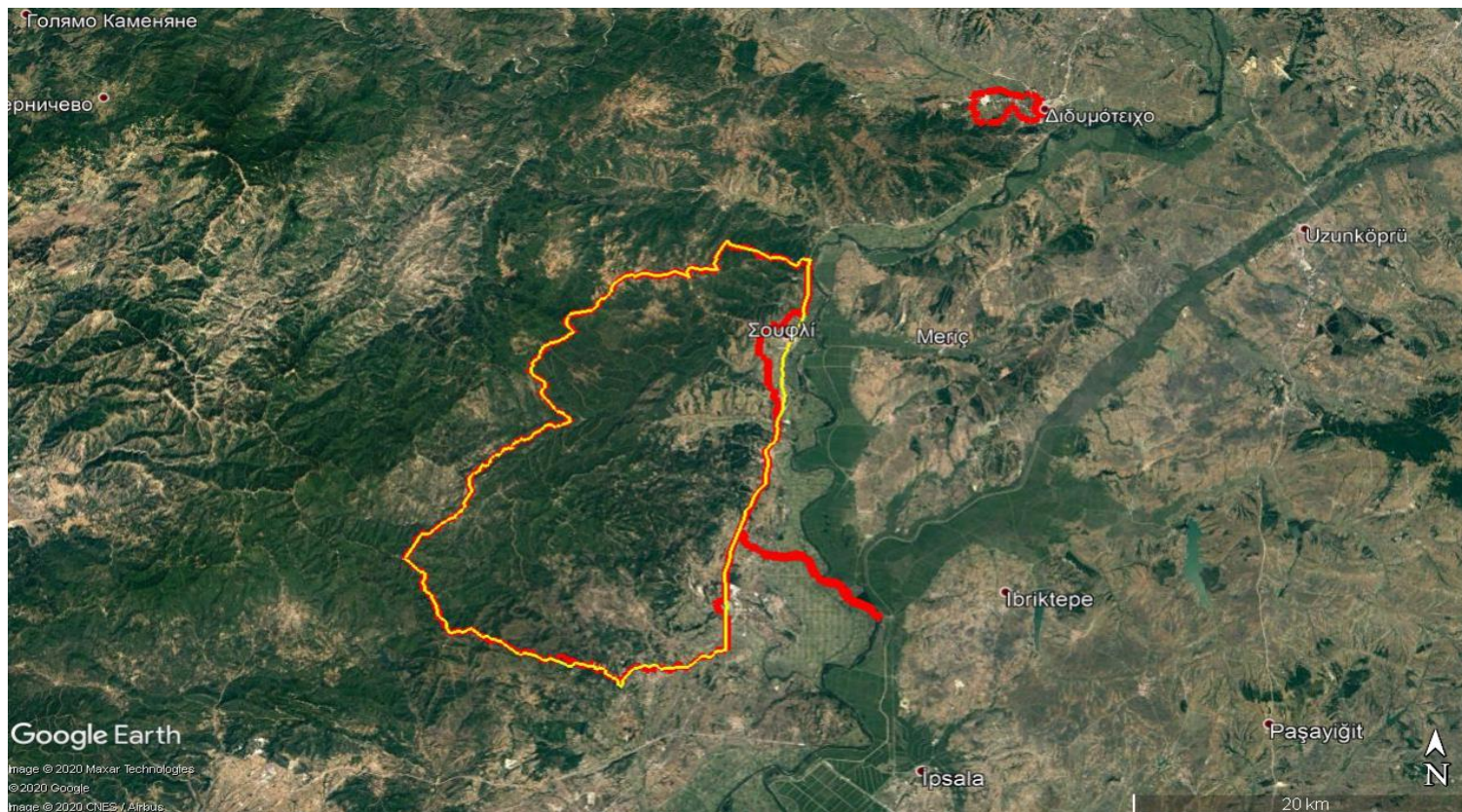
με διάσπαρτες ώριμες βελανιδιές κυριαρχούν σε μεγάλο μέρος της περιοχής, που χρησιμοποιείται για παραδοσιακή μη εντατική βοσκή. Ο ποταμός Διαβολόρεμα, διασχίζει την περιοχή δημιουργώντας τοποθεσίες με παραποτάμια βλάστηση και μικρά βραχώδη φαράγγια. Είναι μια σημαντική περιοχή κυρίως για την αναπαραγωγή αρπακτικών και ειδών των ορεινών δασικών περιοχών και αποτελεί ζωτικής σημασίας περιοχή για τη διατροφή του μοναδικού πληθυσμού Μαύρων Γυπών της Ελλάδας (που αναπαράγεται στο γειτονικό δάσος της Δαδιάς) (Εικόνα 5).



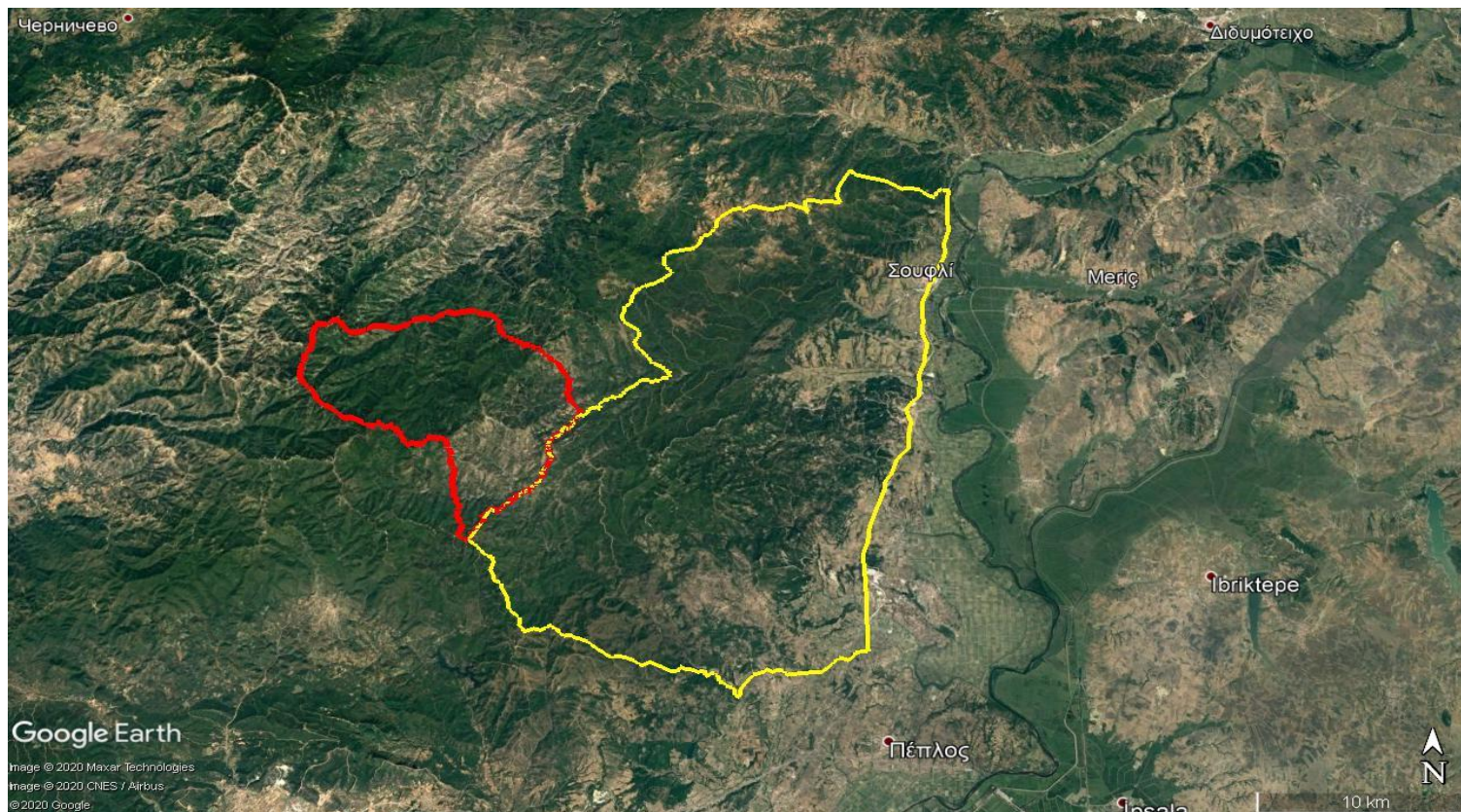
Εικόνα 1. DADIA - LEFKIMMI – SOUFLI FOREST NATIONAL» ΕΘΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ ΔΑΣΟΥΣ ΔΑΔΙΑΣ - ΛΕΥΚΙΜΜΗΣ – ΣΟΥΦΛΙΟΥ. Η περιοχή οριοθετείται με το πολύγωνο με το κίτρινο χρώμα. Πηγή περιγράμματος <https://geodata.gov.gr/>, Πηγή Χάρτη: Google earth.



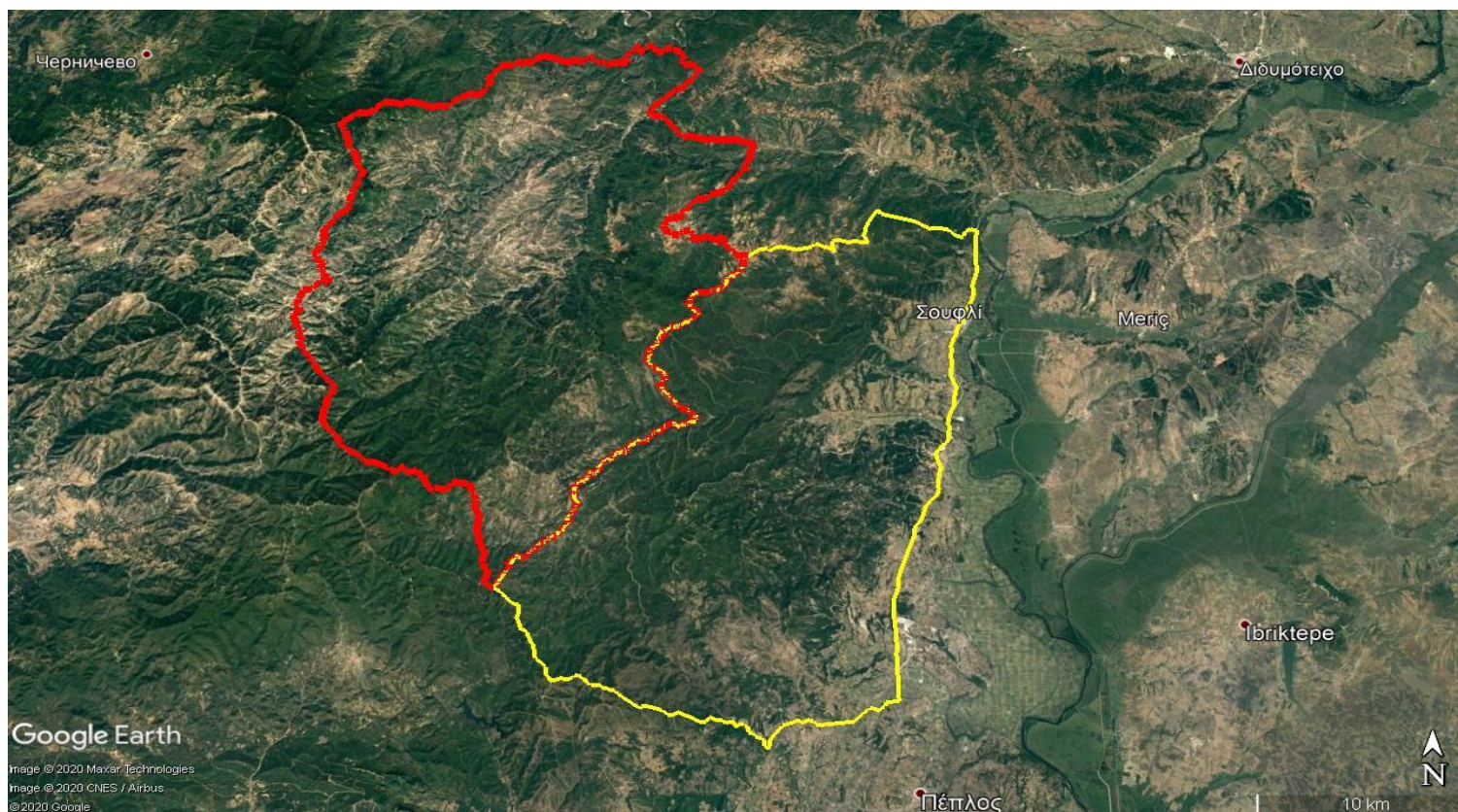
Εικόνα 2. Περιοχή Natura με όνομα «DASOS DADIAS – SOUFLI» - ΔΑΣΟΣ ΔΑΔΙΑΣ – ΣΟΥΦΛΙΟΥ, GR 111002, SPA. Η περιοχή του Εθνικού Πάρκου οριοθετείται με το πολύγωνο με το κίτρινο χρώμα, ενώ η περιοχή Natura οριοθετείται με το πολύγωνο με το κόκκινο χρώμα . Πηγή περιγράμματος Εθνικού Πάρκου <https://geodata.gov.gr/>, Πηγή περιγράμματος περιοχής Natura <https://natura2000.eea.europa.eu/>, Πηγή Χάρτη: Google earth.



Εικόνα 3 Περιοχή Natura με όνομα «VOUNA EVROU- POTAMOS LYRAS- SPILAIA DIDYMOTEICHOU ΚΑΙ ΚΕΦΑΛΟΒΟΥΝΟΥ» BOYNA EBPOY – ΠΟΤΑΜΟΣ ΛΥΡΑΣ – ΣΠΗΛΑΙΑ ΔΙΔΥΜΟΤΕΙΧΟΥ ΚΑΙ ΚΕΦΑΛΟΒΟΥΝΟΥ και κωδικό GR 1110005, SCI. Η περιοχή του Εθνικού Πάρκου οριοθετείται με το πολύγωνο με το κίτρινο χρώμα, ενώ η περιοχή Natura οριοθετείται με το πολύγωνο με το κόκκινο χρώμα. Πηγή περιγράμματος Εθνικού Πάρκου <https://geodata.gov.gr/>, Πηγή περιγράμματος περιοχής Natura <https://natura2000.eea.europa.eu/>, Πηγή Χάρτη: Google earth.



Εικόνα 4. Περιοχή Natura με όνομα «TREIS VRYSES» ΤΡΕΙΣ ΒΡΥΣΕΣ με κωδικό GR 1110003, SCI. Η περιοχή του Εθνικού Πάρκου οριοθετείται με το πολύγωνο με το κίτρινο χρώμα, ενώ η περιοχή Natura οριοθετείται με το πολύγωνο με το κόκκινο χρώμα . Πηγή περιγράμματος Εθνικού Πάρκου <https://geodata.gov.gr/>, Πηγή περιγράμματος περιοχής Natura <https://natura2000.eea.europa.eu/>, Πηγή Χάρτη: Google earth.



Εικόνα 5. Περιοχή Natura με όνομα «OREINOS EVROS - KOILADA DEREIOY» ΟΡΕΙΝΟΣ ΕΒΡΟΣ - ΚΟΙΛΑΔΑ ΔΕΡΕΙΟΥ και κωδικό GR 1110010, SPA. Η περιοχή του Εθνικού Πάρκου οριοθετείται με το πολύγωνο με το κίτρινο χρώμα, ενώ η περιοχή Natura οριοθετείται με το πολύγωνο με το κόκκινο χρώμα . Πηγή περιγράμματος Εθνικού Πάρκου <https://geodata.gov.gr/>, Πηγή περιγράμματος περιοχής Natura <https://natura2000.eea.europa.eu/>, Πηγή Χάρτη: Google earth.



ΚΑΤΑΦΥΓΙΑ ΑΓΡΙΑΣ ΖΩΗΣ

Στην περιοχή μελέτης, υπάρχουν τέσσερα Καταφύγια Άγριας Ζωής (ΚΑΖ). Εντός του Εθνικού Πάρκου, υπάρχουν δύο Καταφύγια Άγριας Ζωής, καθώς επίσης άλλα δύο Καταφύγια Άγριας Ζωής υπάρχουν στις περιοχές Natura με όνομα ΤΡΕΙΣ ΒΡΥΣΕΣ και ΟΡΕΙΝΟΣ ΕΒΡΟΣ - ΚΟΙΛΑΔΑ ΔΕΡΕΙΟΥ (Εικόνα 6).

Αναλυτικότερα:

Εντός του Εθνικού Πάρκου ΔΑΣΟΥΣ ΔΑΔΙΑΣ - ΛΕΥΚΙΜΜΗΣ – ΣΟΥΦΛΙΟΥ, και κατ' επέκταση και των περιοχών Natura (ΔΑΣΟΣ ΔΑΔΙΑΣ – ΣΟΥΦΛΙΟΥ και ΒΟΥΝΑ ΕΒΡΟΥ – ΠΟΤΑΜΟΣ ΛΥΡΑΣ – ΣΠΗΛΛΙΑ ΔΙΔΥΜΟΤΕΙΧΟΥ ΚΑΙ ΚΕΦΑΛΟΒΟΥΝΟΥ) οι οποίες είναι εντός του Εθνικού Πάρκου στο μεγαλύτερο μέρος τους περιλαμβάνονται τα:

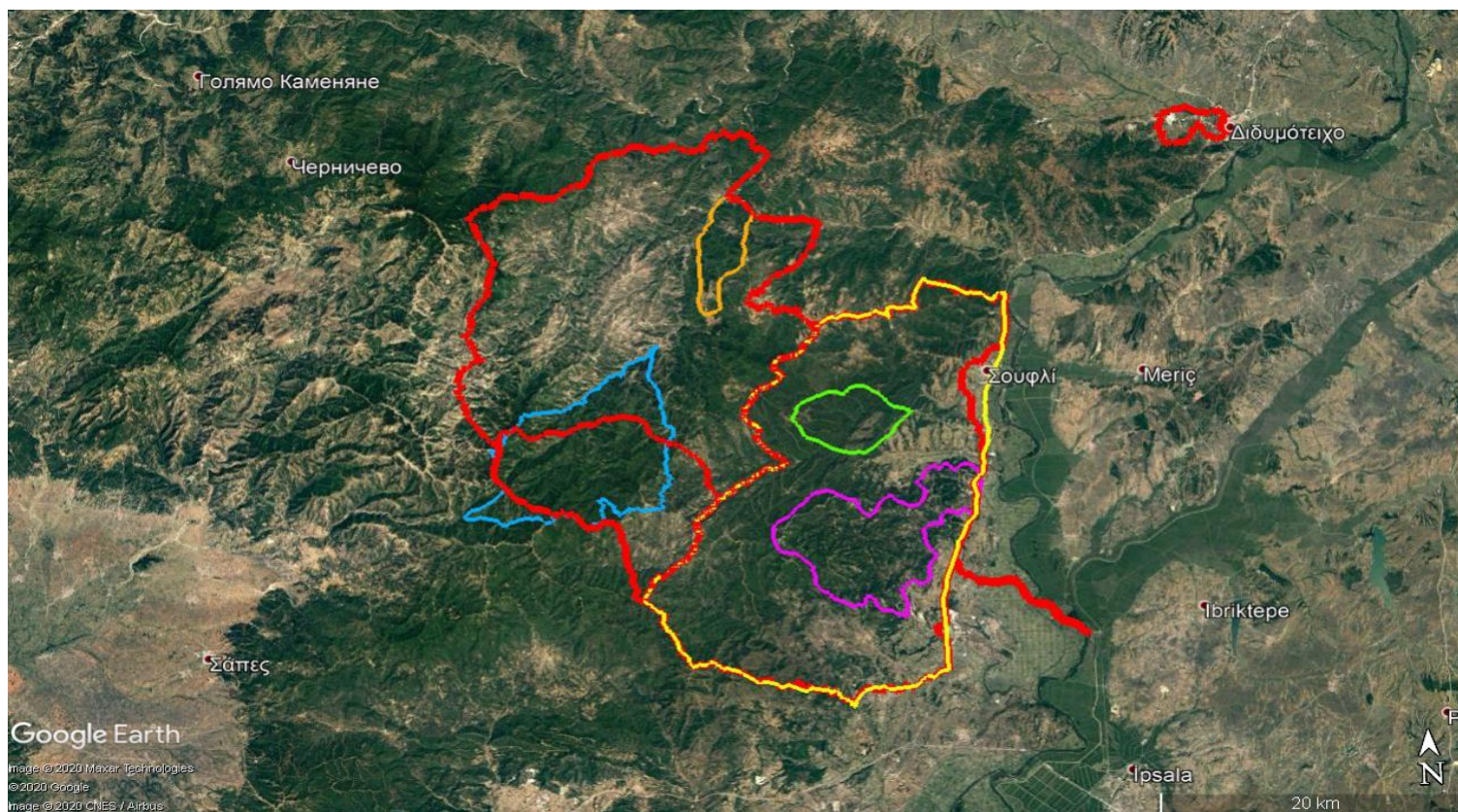
- Καταφύγιο Άγριας Ζωής με όνομα Ζιώγα - Καλύβια (Δαδιάς - Σουφλίου) με έκταση 2368.637 ha, Φ.Ε.Κ. 305/B/86 (**ΚΑΖ1**).
- Καταφύγιο Άγριας Ζωής με όνομα Δαδιά - Λυκόφως - Λευκίμμη με έκταση 7284.521 ha, Φ.Ε.Κ. 305/B/87 (**ΚΑΖ2**) (Το μεγαλύτερο μέρος του).

Εντός της περιοχής Natura με όνομα ΟΡΕΙΝΟΣ ΕΒΡΟΣ - ΚΟΙΛΑΔΑ ΔΕΡΕΙΟΥ περιλαμβάνεται το μεγαλύτερο μέρος των:

- Καταφύγιο Άγριας Ζωής με όνομα Πουλιά (Μικρού Δερείου-Σουφλίου) με έκταση 1768.555 ha, Φ.Ε.Κ. 343/87 (**ΚΑΖ3**).
- Καταφύγιο Άγριας Ζωής με όνομα Καλλιθέα - Τρεις Βρύσες Δήμων Αλεξανδρούπολης, Ορφέα, Σουφλίου με έκταση 9463.417 ha, Φ.Ε.Κ. 841/B/01 Τροποποίηση (**ΚΑΖ4**).

Εντός της περιοχής Natura με όνομα ΤΡΕΙΣ ΒΡΥΣΕΣ περιλαμβάνεται το μεγαλύτερο μέρος του:

- Καταφύγιο Άγριας Ζωής με όνομα Καλλιθέα - Τρεις Βρύσες Δήμων Αλεξανδρούπολης, Ορφέα, Σουφλίου Τροποποίηση με έκταση 9463.417 ha, Φ.Ε.Κ. 841/B/01 (**ΚΑΖ4**) (Το μεγαλύτερο μέρος του).



Εικόνα 6. ΚΑΤΑΦΥΓΙΑ ΑΓΡΙΑΣ ΖΩΗΣ. Η περιοχή του Εθνικού Πάρκου οριοθετείται με το πολύγωνο με το κίτρινο χρώμα, ενώ οι περιοχές Natura οριοθετούνται με τα πολύγωνα με το κόκκινο χρώμα. Τα ΚΑΖ οριοθετούνται με τα πολύγωνα: το ΚΑΖ1 με το πράσινο χρώμα, το ΚΑΖ2 με το χρώμα magenta, το ΚΑΖ3 με το πορτοκαλί χρώμα και το ΚΑΖ4 με το μπλε χρώμα. Πηγή περιγράμματος/των Εθνικού Πάρκου και ΚΑΖ <https://geodata.gov.gr/>, Πηγή περιγράμματος περιοχών Natura <https://natura2000.eea.europa.eu/>, Πηγή Χάρτη: Google earth.



4 Απειλές για τη βιοποικιλότητα στην περιοχή του έργου

4.1 Απειλές για τα δασικά οικοσυστήματα στην περιοχή Σουφλίου

4.1.1 Φυσικές καταστροφές

Οι βασικοί παράγοντες των φυσικών καταστροφών που επηρεάζουν τα οικοσυστήματα της περιοχής είναι: οι πυρκαγιές, οι ανεμορριψίες - χιονοθλασίες και οι ασθένειες της δασικής βλάστησης.

Πυρκαγιές

Δασικές πυρκαγιές υπήρχαν πάντα στην περιοχή κυρίως από πρόθεση αλλά και από αμέλεια ή φυσικά αίτια. Ο κίνδυνος δασικών πυρκαγιών λόγω των εκτεταμένων πευκοδασών και της ξηρής καλοκαιρινής περιόδου παρουσιάζεται υψηλός. Η καταστρεπτικότερη πυρκαγιά έγινε το 1946 κατά τον εμφύλιο πόλεμο και έκαψε όλο το κεντρικό και δυτικό τμήμα του δάσους της Δαδιάς. Οι πυρκαγιές επιφέρουν αλλαγές στη δομή του δάσους για μεγάλα χρονικά διαστήματα, καθόσον οι καμένες εκτάσεις αποτελούν για τα πρώτα χρόνια μετά την πυρκαγιά μια ανοικτή περιοχή που σταδιακά καλύπτεται από τη φυσική αναγέννηση ή από την ανάπτυξη των φυτεμένων δένδρων σε περίπτωση αναδάσωσης τους. Όμως, η πυρκαγιά δεν επηρεάζει μόνο την εξέλιξη της βλάστησης στην καμένη περιοχή, αλλά μεταβάλλει και τη χρήση της από τα αρπακτικά πουλιά. Αυτές οι εκτάσεις μπορεί να μη χρησιμεύουν ως βιότοποι φωλιάσματος των αρπακτικών πουλιών για πολλά χρόνια μετά τη φωτιά, ωστόσο αποτελούν δυνάμει χώρους κυνηγίου έως το στάδιο της πύκνωσης του δάσους (Ποϊραζίδης κ.α. 2002).

Ανεμορριψίες-Χιονοθλασίες

Ο άνεμος μπορεί να προκαλέσει παρόμοια αποτελέσματα με εκείνα της φωτιάς, καταστρέφοντας τη φυσική βλάστηση, σε μικρότερη κλίμακα. Με την καταστροφή του ανωρόφου, συχνά δημιουργείται διαθέσιμος χώρος ώστε ο υπόροφος και ο μεσόροφος να ανέλθουν ψηλότερα, μεταβάλλοντας τη σύνθεση των δασοπονικών ειδών στον ανώροφο και αυξάνοντας την ετερογένεια των συστάδων. Στην περιοχή δεν υπάρχουν μεγάλες καταστροφές από τον άνεμο. Οι κύριες προσβολές εμφανίζονται τον χειμώνα, ειδικά σε



περιόδους που έχει προηγηθεί χιονόπτωση, με αποτέλεσμα άτομα πεύκης μεγάλης ηλικίας να είναι ευάλωτα σε ανεμορριψίες. Το Μάρτιο των ετών 1997 και 1998, μετά από όψιμες χιονοπτώσεις, έλαβαν χώρα εκτεταμένες ανεμορριψίες, όπου πολυάριθμα ώριμα δέντρα πεύκης ξεριζώθηκαν ή έσπασαν. Ανάμεσά τους βρίσκονταν και δέντρα με φωλιές αρπακτικών πουλιών (Ποϊραζίδης κ.α. 2002).

Παθογόνοι οργανισμοί

Στην περιοχή γενικά, έχουν παρατηρηθεί ορισμένες χρονιές μόνον φαινόμενα έξαρσης από το είδος *Thaumetopoea pityocampa* (Πευκόκαμπια). Η επίδραση των εντόμων και των παθογόνων οργανισμών, ειδικά σε επιδημική μορφή, μπορεί να επηρεάσει έντονα την εξέλιξη της βλάστησης. Η επίδραση αυτή μπορεί να προκαλεί αλλαγές στη δασοκάλυψη περιοχών, στη σύνθεση των ηλικιών σε μεγάλη ή μικρή κλίμακα όπως και στη σύνθεση των δασοπονικών ειδών (Ποϊραζίδης κ.α. 2002).

4.1.2 Απειλές από τον άνθρωπο

Δασοπονία

Η εκάστοτε εκμετάλλευση του δάσους έπαιζε καθοριστικό ρόλο στη σύνθεση και δομή της δασικής βλάστησης επηρεάζοντας την κυριαρχία των δασικών ειδών. Πριν από το έτος 1970, η κύρια ενασχόληση των κατοίκων της περιοχής με το δάσος ήταν η παραγωγή κάρβουνου (κυρίως την περίοδο 1935 - 1941) και καυσοξύλων, μια δραστηριότητα που συνεχίζεται λιγότερο έντονα έως τις μέρες μας. Αυτή η διαρκής και εντατική εκμετάλλευση των δρυοδασών είχε σαν αποτέλεσμα την υποβάθμισή τους και τη μείωση της αξίας τους για πολλά είδη πανίδας. Η αντικατάσταση των αιωνόβιων δρυοδασών τη δεκαετία του '70, αποτέλεσε μιας ιστορικής σημασίας αλλαγή στη δασική βλάστηση της περιοχής. Εκτεταμένα ανοικτά δάση με μεγάλης ηλικίας δρύς που αποτελούσαν έως τότε τους παραδοσιακούς βοσκότοπους της περιοχής, αντικαταστάθηκαν με πυκνές φυτείες πεύκων, ενώ σε πολλές θέσεις που τα πεύκα δεν ευδοκίμησαν, η εικόνα της υποβάθμισης είναι σήμερα εμφανής. Σήμερα, τα αιωνόβια δρυοδάση περιορίζονται πλέον σε μικρές νησίδες κυρίως στα δυτικά



της περιοχής και η προστασία τους από την υλοτόμηση είναι πρωταρχικής σημασίας (Ποϊραζίδης κ.α. 2002). Στο ίδιο πνεύμα εντατικής διαχείρισης τέθηκαν και τα φυσικά πευκοδάση. Από το έτος 1969, η δασική εκμετάλλευση οργανώθηκε και προσανατολίστηκε στην παραγωγή βιομηχανικής ξυλείας, η δε απόληψη ξύλου γίνεται κάθε χρόνο βάσει των δασικών διαχειριστικών σχεδίων (δεκαετούς ισχύος) και διενεργούνται καλλιεργητικές ή αναγεννητικές υλοτομίες σε καθορισμένο αριθμό συστάδων. Με αυτό τον τρόπο επηρεάζεται ο ρυθμός της φυσικής εξέλιξης του δάσους, με αποτέλεσμα πολλές φορές να μεταβάλλεται ο συσταδικός τύπος και το στάδιο εξέλιξης. Η δεκαετής περιοδική υλοτόμηση των δασικών συστάδων, επιφέρει αλλοιώσεις στη δομή των συστάδων, ειδικά όταν αυτές βρίσκονται σε τελικά στάδια αναγέννησης. Αυτό πολλές φορές έχει σαν αποτέλεσμα την ολοκληρωτική απομάκρυνση ώριμων δέντρων, με δυσμενείς επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα θέσεων φωλεοποίησης των αρπακτικών πουλιών, όσο και άλλων ειδών που χρησιμοποιούν τα ώριμα δέντρα (π.χ. δρυοκολάπτες, νυχτερίδες κ.ά).

Επιπλέον, ο σχεδιασμός της διαχείρισης του δάσους σε μεγάλες διαχειριστικές κλάσεις, δεν λαμβάνει υπόψη του τις ιδιαιτερότητες κάθε συστάδας σε θέματα σύνθεσης και δομής, με αποτέλεσμα μερικές φορές να επέρχεται μη επιθυμητή αλλαγή των κυριαρχούντων ειδών δέντρων. Από το έτος 1990 και μετά, η διαχείριση των δασών προσανατολίστηκε περισσότερο στην καλλιέργεια των δασικών συστάδων και λιγότερο στις καθαρά καρπωτικές υλοτομίες, με στόχο την ανόρθωση των δασών από την εντατική εκμετάλλευση του παρελθόντος. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η όχληση που προκαλείται από την ανθρώπινη παρουσία και τα αλυσοπρίονα, λόγω της χρήσης των δασικών δρόμων και της υλοτόμησης των δέντρων την ανοιξιότικη περίοδο, επιδρά αρνητικά στα πουλιά που βρίσκονται στην περίοδο κατασκευής φωλιάς, ζευγαρώματος και κλωσσήματος (Ποϊραζίδης κ.α. 2002).

Κτηνοτροφία

Η βόσκηση ανάλογα με την ένταση, την εποχή και το είδος του ζώου μεταβάλλει με διαφορετικό βαθμό τους διαφορετικούς τύπους βλάστησης. Η ύπαρξη αναπτυγμένης κτηνοτροφικής δραστηριότητας στο παρελθόν με ζώα ελεύθερης



βοσκής, δημιουργούσε ιδανικά ενδιαιτήματα για πολλά είδη πανίδας, όπως είναι τα δάση με ανοικτή δομή, τα ξέφωτα και τα λιβάδια (Ποϊραζίδης κ.α. 2002).

Το κτηνοτροφικό κεφάλαιο της περιοχής παρουσίασε μια σημαντική πτώση στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Η τάση αυτή συνεχίστηκε μέχρι σήμερα για τους πληθυσμούς των βοοειδών και των προβάτων, ενώ ο πληθυσμός των γιδιών παρουσίασε μια σταθεροποίηση μετά το έτος 1980. Η εμφανιζόμενη τάση μείωσης του κτηνοτροφικού κεφαλαίου ελευθέρως βοσκής στην περιοχή, είναι δυνατόν να οδηγήσει σε έντονες αλλαγές στη δομή των δασών και στην εξέλιξη των ανοιγμάτων και των λιβαδιών, ενώ είναι δυνατό να επηρεάσει μια σειρά παράγοντες που έχουν σχέση με την παρουσία πολλών ειδών χλωρίδας και πανίδας, καθώς μεταβάλλεται η δυναμική που διατηρούσε τους «ανοικτούς» βιότοπους σε ένα ανάδρομο στάδιο της φυσικής εξέλιξης (Ποϊραζίδης κ.α. 2002).

Γεωργία

Στο παρελθόν η γεωργική εκμετάλλευση στην περιοχή γινόταν σε μικρές εκτάσεις με παραδοσιακό τρόπο. Η εντατικοποίηση αυτής της δραστηριότητας από τη δεκαετία του '80, είχε σαν αποτέλεσμα την αλλαγή τόσο του τρόπου εκμετάλλευσης της γεωργικής γης, όσο και τη δημιουργία των αναγκαίων έργων υποδομής. Έτσι έχει αυξηθεί η χρήση μηχανημάτων και χημικών ουσιών. Επίσης, έχουν αλλοιωθεί φυσικοί υγρότοποι λόγω ευθυγράμμισης των κεντρικών ρεμάτων, καθώς και τα πεδινά λιβάδια και οι φυτοφράκτες για τη δημιουργία περισσότερης καλλιεργήσιμης

γης. Η ποικιλία των καλλιεργειών στην αρδευόμενη κυρίως ζώνη, έχει αποτέλεσμα να κυριαρχεί από την άνοιξη έως το φθινόπωρο, ένα μωσαϊκό από εκτάσεις με σιτάρια, ηλίανθους, βαμβάκια, ζαχαρότευτλα, καλαμπόκια, μηδική, αμπέλια και κηπευτικά. Η σχετική αφθονία κάθε καλλιεργούμενου είδους και η φάση της καλλιέργειας επηρεάζει την αφθονία και διαθεσιμότητα της λείας των αρπακτικών πουλιών. Στην αρδευόμενη ζώνη, υπάρχουν κυρίως εντατικές καλλιέργειες όπου γίνεται αυξημένη χρήση χημικών ουσιών. Αντίθετα, οι περισσότερες καλλιεργούμενες εκτάσεις στην ορεινή και λοφώδη ζώνη, είναι συνήθως μικρά και ξηρικά σιταροχώραφα, τα οποία επιβαρύνονται με πολύ



μικρές ποσότητες χημικών ουσιών. Η πλούσια ρεματική βλάστηση καταστράφηκε σε όλα τα ρέματα της αγροτικής ζώνης στο παρελθόν, εξαιτίας της ευθυγράμμισης των ρεμάτων και της εξάπλωσης των καλλιεργειών έως τις κοίτες τους. Η επέκταση της καλλιεργούμενης γης εις βάρος των πεδινών βοσκοτόπων (λιβάδια, προσωρινά πλημμυρισμένες περιοχές, κ.ά) μείωσε σημαντικά τους διαθέσιμους βιοτόπους κυνηγίου του Βασιλαετού και της Αετογερακίνας με σοβαρές επιπτώσεις στη διατήρηση του αναπαραγόμενου πληθυσμού τους. Στο μέλλον αναμένεται περαιτέρω εντατικοποίηση της γεωργικής δραστηριότητας, με αύξηση των αρνητικών χαρακτηριστικών της σύγχρονης γεωργίας απέναντι στη διατήρηση των οικολογικών αξιών αυτής της ζώνης. Η περιβαλλοντική αναβάθμιση των αγροτικών εκτάσεων πρέπει να προωθηθεί για την αύξηση της βιοποικιλότητας αυτών των περιοχών. Παρόλα αυτά, πολλά αγροτικά τοπία της περιοχής διατηρούνται ακόμα σε υψηλό επίπεδο οικολογικής αξίας συγκριτικά με την παρέβρια ζώνη ή τις υπόλοιπες πεδινές εκτάσεις του νομού (Ποϊραζίδης κ.α. 2002).

Σε αυτά τα τοπία που βρίσκονται κοντά στους οικισμούς Λευκίμμη, Δαδιά και Σουφλί διατηρούνται φυτοφράκτες και δασικές νησίδες ανάμεσα στις καλλιέργειες με αποτέλεσμα να δημιουργούνται άριστα ενδιαίτηματα για πολλά είδη πανίδας, πολλά από τα οποία αποτελούν βασική λεία για ορισμένα είδη αρπακτικών (Ποϊραζίδης κ.α. 2002).

Στρατιωτική δραστηριότητα

Στρατιωτικές ασκήσεις, και εκπαιδευτικές βολές πυροβολικού και αρμάτων μάχης λαμβάνουν χώρα στην περιφερειακή ζώνη και στα δυο μόνιμα πεδία βολής Λευκίμης και Γιαννούλης χωρίς να είναι γνωστές οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Η χρήση των στρατοπέδων δεν προκαλεί ενόχληση καθόσον πρόκειται για μικρές μονάδες μέσα ή κοντά σε οικισμούς. Μεγαλύτερη πιθανώς ενόχληση αναμένεται από το νέο στρατόπεδο κοντά στον οικισμό του Προβατώνα, επειδή είναι μεγάλου δυναμικού και έχει κατασκευαστεί σε σημαντική οικολογικά περιοχή, δίπλα σε ρεματική ζώνη. Η ενόχληση θα προκληθεί τόσο από τον ίδιο τον χώρο του στρατοπέδου όσο και από την αυξημένη κίνηση των στρατιωτικών οχημάτων. Η όχληση που προκαλείται στην



πανίδα της περιοχής από τις ασκήσεις είναι έντονη όταν αυτές πραγματοποιούνται στην ευαίσθητη περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού, ενώ μειώνεται τις άλλες εποχές (Ποϊραζίδης κ.α. 2002).

4.2 Δυνατότητες του συστήματος ανίχνευσης πυρκαγιών

4.2.1 Περιγραφή του συστήματος

Το σύστημα Ανίχνευσης φωτιάς στην περιοχή του Εθνικού Πάρκου Δάσους Δαδιάς –Λευκίμης – Σουφλίου περιλαμβάνει:

- Ένα σταθμό ανίχνευσης φωτιάς στην κορυφή «Κάψαλο» (συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 679210 4550630 στη ζώνη Β1), που περιλαμβάνει μετεωρολογικό σταθμό συνοδευόμενο από θερμική και οπτική κάμερα, κεραία μετάδοσης σήματος προς το κέντρο ελέγχου, κάμερες και συστήματα ασφαλείας και κυτίο με UPS (μπαταρία). Ο σταθμός είναι εγκαταστημένος σε κατάλληλο ύψος και ηλεκτροδοτείται από παρακείμενη παροχή ΔΕΗ..
- Ένα σταθμό ανίχνευσης φωτιάς στην κορυφή «Αντά Τεπέ» (συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 679070 4563440), που περιλαμβάνει μετεωρολογικό σταθμό συνοδευόμενο από θερμική και οπτική κάμερα, κεραία μετάδοσης σήματος προς το κέντρο ελέγχου και κάμερες και συστήματα ασφαλείας και Φωτοβολταϊκά πάνελ και μπαταρίες για την τροφοδοσία του με ηλεκτρική ενέργεια. Ο σταθμός είναι εγκατεστημένος σε κατάλληλο ύψος στην οροφή του υφιστάμενου κτιρίου του παρατηρητηρίου πυρανίχνευσης ενώ οι μπαταρίες τροφοδοσίας εγκαταστάθηκαν εντός του κτιρίου. Τα Φωτοβολταϊκά πάνελ τοποθετήθηκαν στην στέγη και το υπόστεγο του κτιρίου.
- Ένα σταθμό αναμετάδοσης σήματος από και προς τα παραπάνω δύο σημεία προς και από το Δημαρχείο Σουφλίου. Ο σταθμός, που εγκαταστάθηκε πάνω στην Δεξαμενή Υδροδότησης της πόλης του Σουφλίου (συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 691975 4562500), περιλαμβάνει μετεωρολογικό σταθμό συνοδευόμενο από κεραία λήψης και κεραία μετάδοσης σήματος και συστήματα ασφαλείας. Ο σταθμός είναι εγκατεστημένος σε κατάλληλο ύψος στην οροφή της δεξαμενής



υδροδότησης. Ο σταθμός ηλεκτροδοτείται από την παροχή ΔΕΗ της δεξαμενής.

- Ένα σταθμός λήψης – μετάδοσης σήματος στο Δημαρχείο Σουφλίου (συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 693250 4562725), που περιλαμβάνει κεραία λήψης και μετάδοσης σήματος. Ο σταθμός είναι εγκατεστημένος επί ενός και μόνο μεταλλικού πασάλου ύψους 4 μέτρων στερεωμένου στην οροφή του Δημαρχείου. Ο σταθμός ηλεκτροδοτείται από την παροχή ΔΕΗ του Δημαρχείου.
- Ένα κέντρο ελέγχου του συστήματος, μέσα στο Δημαρχείο Σουφλίου, που περιλαμβάνει δύο σταθμούς εργασίας μέσα από τους οποίους γίνεται η παρακολούθηση και ο έλεγχος του συστήματος ανίχνευσης, της κάμερα ασφαλείας και των μετεωρολογικών σταθμών.
- Τρεις απομακρυσμένους από το κέντρο ελέγχου σταθμούς εργασίας οι οποίοι μέσω υφιστάμενης σύνδεσης internet παρακολουθούν το σύστημα ανίχνευσης πυρκαγιών, εγκαταστημένα στην Δασική Υπηρεσία, την Πυροσβεστική Υπηρεσία και το Κέντρο Ενημέρωσης στην Δαδιά του φορέα Διαχείρισης του Εθνικού Πάρκου.

4.2.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος

Τα γενικά τεχνικά χαρακτηριστικά βάση των οποίων σχεδιάστηκε το σύστημα είναι τα ακόλουθα:

1. Τα επί μέρους τμήματα του συστήματος είναι απολύτως συμβατά μεταξύ τους
2. Τα δεδομένα και οι εικόνες καταλήγουν στο Κέντρο Ελέγχου του Συστήματος στο Δημαρχείο Σουφλίου και στα κτίρια Πυροσβεστικής Υπηρεσίας, Δασικής Υπηρεσίας και Κέντρου Ενημέρωσης Δαδιάς και υπάρχει κατάλληλο λογισμικό για λήψη και διαχείριση των δεδομένων και των εικόνων.
3. Κάποια από τα σημεία εγκατάστασης παρουσιάζουν πολλές ιδιαιτερότητες και τεχνικές δυσκολίες καθώς βρίσκονται εντός δασικής περιοχής, με δυσκολία πρόσβασης και στην περίπτωση του Σταθμού Ανίχνευσης Φωτιάς στην κορυφή Κάψαλο έχει τοποθετηθεί σε βράχο εξαιρετικά δύσκολου ανάγλυφου.



4. Το σύστημα εκτός των άλλων πραγματοποιεί και τις παρακάτω λειτουργίες
 - Αυτόματη καταγραφή των συμβάντων σε πραγματικό χρόνο
 - Παρέχει ακριβείς συντεταγμένες της φωτιάς, εάν υπάρχει απευθείας ορατότητα της φωτιάς.
 - Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.
 - Μικρός συντελεστής σφάλματος σε περίπτωση πυρκαγιάς,
 - Η επαλήθευση με θερμική κάμερα έχει μικρή γωνία ανίχνευσης για αποστάσεις μέχρι 10 χιλιόμετρα τουλάχιστον.
5. Το σύστημα ανιχνεύει φωτιές ακόμα και τη νύχτα αλλά και σε περιόδους κακών καιρικών συνθηκών.

4.2.3 Ανάλυση δυνατοτήτων παρακολούθησης του δάσους

Το ζευγάρι θερμικής-οπτικής κάμερας κάθε σταθμού εντοπισμού φωτιάς περιστρέφεται συνεχώς και ανιχνεύει εστίες θερμότητας σε ακτίνα 10-12 χιλιόμετρα και μεταδίδει σε πραγματικό χρόνο την οπτική και την θερμική εικόνα της περιοχής που ερευνά κάθε φορά. Αν ένας από τους σταθμούς ανιχνεύσει θερμοκρασιακή διαφορά μεγαλύτερη από αυτήν που προκαθόρισε ο χειριστής του συστήματος αμέσως, το αντίστοιχο ζευγάρι θερμικής και οπτικής κάμερας εστιάζει στο σημείο και σημαίνει συναγερμό (alarm) στο κέντρο Ελέγχου. Το κέντρο ελέγχου, εκτός από το διαρκές ηχητικό μήνυμα του εκπέμπει στο Δημαρχείο, αποστέλλει SMS και e-mail σε προκαθορισμένους αρμόδιους για την Πολιτική Προστασία της περιοχής. Μετά έχει δυνατότητα να παρέχει εικόνα της φωτιάς σε εξουσιοδοτημένους χρήστες για την κατάσβεση της. Επίσης το σύστημα παρέχει μετεωρολογικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και σε στατιστικά στοιχεία. Σε περίπτωση συναγερμού καταγράφει σε video το συμβάν.

Το κέντρο Ελέγχου δίνει πληροφορίες (alarm, μετεωρολογικά στοιχεία και εικόνα) σε τερματικά (απομακρυσμένους από το κέντρο ελέγχου σταθμούς), μέσω internet εγκατεστημένα στο Πυροσβεστικό κλιμάκιο Σουφλίου, το Δασαρχείο Σουφλίου και τον Φορέα Διαχείρισης του Εθνικού Πάρκου Δαδιάς – Λευκίμης- Σουφλίου.



4.3 Το δάσος και η αλληλεπίδραση με τη φωτιά

4.3.1 Αιτίες δασικών πυρκαγιών

Τα **αίτια** των δασικών πυρκαγιών θα μπορούσαν να καταταγούν (όπως και σε όλες τις πυρκαγιές) στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Φυσικά (ή τυχαία) αίτια
- Εμπρησμοί από αμέλεια
- Εμπρησμοί από πρόθεση
- Άγνωστα αίτια

Περισσότερο αναλυτικά, οι τρόποι με τους οποίους εκδηλώνονται οι δασικές πυρκαγιές περιλαμβάνουν (Βορίσης 2004):

- Φυσικά αίτια. Εδώ θα μπορούσαν να καταταγούν κυρίως πυρκαγιές από κεραυνούς. Στην περίπτωση που δε σβήνονται λόγω βροχής, συχνά προκαλούν καταστροφές, καθώς οι κεραυνοί πέφτουν κυρίως σε απόκρημνες περιοχές που είναι απρόσιτες ή τόσο δύσβατες, ώστε να μεσολαβεί χρόνος έως την έναρξη της καταστολής. Επίσης, στα φυσικά αίτια θα μπορούσαν να καταταγούν οι πυρκαγιές από ηφαίστεια, που είναι ανύπαρκτες στη χώρα μας. Οι φυσικές πυρκαγιές, σαν ποσοστό, είναι λίγες, καθώς δεν ξεπερνούν το 3%.
- Εμπρησμοί από αμέλεια. Οι πυρκαγιές από αμέλεια αποτελούν τη βασική αιτία των δασικών πυρκαγιών, με ποσοστό βεβαιωμένων περιπτώσεων πάνω από 50%. Σ' αυτές περιλαμβάνονται οι πυρκαγιές από απόρριψη τσιγάρου, καύση καλαμιών, σκουπιδιών και ξερών χόρτων, από σκουπιδότοπους, καλώδια του ηλεκτρικού, σπινθήρες μηχανών, θέρμανση και παρασκευή φαγητού στην ύπαιθρο, βολές των Ενόπλων Δυνάμεων, κλπ.
- Εμπρησμοί από πρόθεση. Το αίτιο αυτό προκαλεί το 30% περίπου των δασικών πυρκαγιών και είναι το πλέον καταστροφικό, καθώς οι εμπρηστές λαμβάνουν μέτρα και επιλέγουν τις κατάλληλες ημέρες που ευνοούν τη γρήγορη και μεγάλη εξάπλωση της φωτιάς. Ο εμπρησμός από πρόθεση, με



διάφορες μεθόδους, γίνεται για τη δημιουργία βοσκοτόπων, για την οικοπεδοποίηση, για λόγους αντεκδίκησης, για βλάβη της ασφάλειας ή του τουρισμού μιας περιοχής, κλπ. (Καϊλίδης 1990, Αντωνόπουλος 1997).

Τέλος, στα άγνωστα αίτια ταξινομούνται εκείνα που δε μπορούν να εξηγηθούν λογικά ή να αποδειχθούν και αφορούν γύρω στο 17% των περιπτώσεων.

Είναι ολοφάνερο ότι το συντριπτικό ποσοστό των πυρκαγιών προέρχεται από τον άνθρωπο και, ειδικότερα, την ανθρώπινη βούληση ή αδιαφορία.

4.3.2 Αντίκτυπος των δασικών πυρκαγιών στο περιβάλλον

Πρωταρχικός στόχος όσων είναι επιφορτισμένοι με την προστασία των δασικών οικοσυστημάτων πρέπει να είναι η κατάρτιση και εφαρμογή ενός σχεδίου διαχείρισης αυτών, το οποίο ως κεντρικό άξονα θα έχει την εξασφάλιση και διασφάλιση της υγείας τόσο του δάσους, όσο και των διαβιούντων σ' αυτό έμβιων οργανισμών. Βέβαια, οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν τροχοπέδη στην επίτευξη του ανωτέρω στόχου, αφού είναι ένα φυσικό φαινόμενο με απρόβλεπτες συνέπειες, δυνάμενες να βλάψουν τη χλωρίδα, την πανίδα, την ατμόσφαιρα και το έδαφος της περιοχής. Εξαίρεση από τα ανωτέρω ίσως συνιστούν οι ελεγχόμενες πυρκαγιές, οι οποίες συμβάλλουν στη μείωση της καύσιμης ύλης και κατ' επέκταση στην ελάττωση του κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιάς και τελικά, στη διαφύλαξη του δασικού μας πλούτου (Fowler 2003). Επίσης, οι δασικές πυρκαγιές, ιδίως οι μεγάλης έντασης / κλίμακας, δημιουργούν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και είναι δυνατό να επιφέρουν σοβαρές αρνητικές επιπτώσεις και στους ανθρώπους, τόσο βραχυπρόθεσμα, όσο και μεσομακροπρόθεσμα.

4.3.3 Επίδραση της φωτιάς στα δέντρα

i. Επίδραση της φωτιάς στον κορμό των δέντρων

Το αγγειακό κάμβιο νεκρώνεται όταν υποβάλλεται με διάρκεια σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίας. Το αγγειακό κάμβιο είναι ο μερισματικός ιστός που δημιουργεί τους δευτερεύοντες αγγειακούς ιστούς (ξύλλωμα και φλοίωμα). Ο φλοιός ορίζεται συνήθως ως ολόκληρος ο ιστός, ζωντανός και νεκρός, έξω από



το αγγειακό κάμβιο. Καθώς η φωτιά περνάει ένα δέντρο, θερμαίνει γρήγορα το εξωτερικό του φλοιού και δεδομένου ότι το ξύλο έχει χαμηλή θερμική αγωγιμότητα και το αγγειακό κάμβιο είναι σχετικά κοντά στην επιφάνεια, υποθέτουμε ότι η σημαντική θέρμανση του αγγειακού καμβίου λαμβάνει χώρα μέσω του υπερκείμενου φλοιού και όχι μέσω του ίδιου του κορμού. Κάποια είδη δέντρων που έχουν παχύ φλοιό με μπορούν να προστατευθούν από τη φωτιά σε αντίθεση με είδη που έχουν λεπτό φλοιό. Ανεξάρτητα από το πάχος του φλοιού η ένταση και η διάρκεια της πυρκαγιάς, παίζουν σημαντικό ρόλο για το αν το δέντρο νεκρωθεί ή όχι (Dickinson. and Johnson 2001).

ii. Επίδραση της φωτιάς στην κόμη των δέντρων

Όταν, κατά την εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς, η φωτιά μεταδοθεί από την επιφανειακή βλάστηση (τον υπόροφο) στις κόμες των δένδρων (τον ανώροφο) δηλαδή στα δασικά καύσιμα που βρίσκονται σε ύψος μεγαλύτερο των τριών μέτρων, η πυρκαγιά μετατρέπεται από πυρκαγιά επιφανείας σε πυρκαγιά κόμης ή επικόρυφη πυρκαγιά. Οι πυρκαγιές κόμης ξεκινούν λόγω της θερμότητας των πυρκαγιών επιφανείας η οποία μεταφέρεται με επαγωγή και ακτινοβολία, με κυρίαρχο μηχανισμό αυτόν της επαγωγής (Χανθοπουλος 1990, Perminov 2007). Η πυρκαγιές κόμης, είναι πάντοτε σοβαρές πυρκαγιές, δύσκολες και επικίνδυνες στην αντιμετώπισή τους, με μεγάλες φλόγες και κατά κανόνα γρήγορη εξάπλωση. Οι πυρκαγιές αυτές αυτής είναι ιδιαίτερα συνηθισμένες στα πευκοδάση της παραθαλάσσιας ζώνης (χαλεπίου και τραχείας πεύκης) της χώρας μας, όπου κατά κανόνα καίγεται ο υπόροφος (θαμνώδης βλάστηση και δενδρύλλια) και μεταδίδει τη φωτιά στην κόμη δημιουργώντας μια μικτή πυρκαγιά. Δεδομένου ότι οι πυρκαγιές κόμης εξαπλώνονται γρήγορα και εκλύουν μια τεράστια ποσότητα από θερμική ενέργεια αυτό έχει ως αποτέλεσμα την «ακαριαία» νέκρωση της κόμης των δέντρων.

iii. Νέκρωση ριζών

Υπάρχουν λίγες μελέτες για τη νέκρωση των ριζών και του βασικού αγγειακού καμβίου από τη θέρμανση του εδάφους και την καύση οργανικών στιβάδων.



Χρησιμοποιώντας μοντέλα μεταφοράς θερμότητας εδάφους οι Steward et al. (1990) και Peter (1992) προσομοίωσαν το βάθος διείσδυσης της οριακής θερμότητας υποθέτοντας ότι οι ρίζες θα νεκρώνονταν στιγμιαία εάν οι θερμοκρασίες στο χώμα έφταναν τους 60 ° C.

Οι Swezy και Agee (1991) βρήκαν εκτεταμένη νέκρωση των λεπτών ριζών σε επιφανειακά εδάφη μετά από την πυρκαγιά. Αντίθετα, οι Ryan και Frandsen (1991) βρήκαν ότι η μεγάλη διάρκεια των αυξημένων θερμοκρασιών στις βάσεις του είδους *Pinus ponderosa* δεν οδήγησε σε εκτεταμένη νέκρωση αγγειακού καμβίου.

iv. Θνησιμότητα των δέντρων

Επιπτώσεις των πυρκαγιών στις εδαφικές ιδιότητες

Οι δασικές πυρκαγιές επιδρούν άμεσα στις φυσικοχημικές συνθήκες του εδάφους, στην παραγωγικότητά του, στη βλάστησή του και στη μερική ή ολική μεταφορά του από τις βροχές (Καϊλίδης, 1981). Η έκταση των συνεπειών στο έδαφος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ένταση και τη συχνότητα επαναλήψεως μιας πυρκαγιάς. Δηλαδή, μια πυρκαγιά μικρής έντασης και διάρκειας προκαλεί συνήθως ανεπαίσθητες βλάβες, ενώ μια πυρκαγιά μεγάλης έντασης και διάρκειας είναι δυνατό να κατακάψει το σύνολο της ζωντανής και νεκρής βλάστησης, μεταβάλλοντας (προς τα πάνω) συνάμα τη θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους, αλλά και των βαθύτερων στρωμάτων αυτού, γεγονός που, επηρεάζει επίσης αρνητικά το έδαφος (Καϊλίδης, 1981). Αρχικά, η θερμοκρασία μεταβάλλεται σημαντικά στην επιφάνεια του εδάφους και στη συνέχεια σε βαθύτερα στρώματα αυτού, σε μικρότερο ποσοστό, όπου βρίσκονται και οι ρίζες των φυτών. (Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη και Καζάνης, 2012). Τόσο οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες, όσο και η διάρκεια διατήρησής τους σε υψηλά επίπεδα, εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως το είδος της καιγόμενης ύλης (χόρτα, θάμνοι, δέντρα), την ένταση της πυρκαγιάς, τη φύση του φυλλοτάπητα (πάχος, κατανομή, περιεχόμενη υγρασία κ.λ.π.), την υφή του εδάφους και την περιεκτικότητά του σε νερό (Καϊλίδης, 1981). Σύμφωνα με τον Καϊλίδη (1981), με το κάψιμο του φυλλοτάπητα και τμήματος του χούμου, η μεγαλύτερή μας απώλεια είναι η εξάτμιση του αμμωνίου (NH₄)



και νιτρικών (NO₃) αλάτων, από τα οποία εξαρτάται η ανάπτυξη των δέντρων. Περαιτέρω, η καύση μεγάλων ποσοτήτων ζωντανής και νεκρής ύλης στην επιφάνεια των δασικών εδαφών έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της οξύτητας του εδάφους, κυρίως στα ανώτερα στρώματα, στην οργανική ουσία του και στα διαλυτά άλατα (Καϊλίδης, 1981; Σείλόπουλος, 1991).

Επιπτώσεις των πυρκαγιών στην υδρολογία των λεκανών απορροής

Το εύρος των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών, δεν περιορίζεται στον τόπο όπου εκδηλώνεται η πυρκαγιά, αλλά επεκτείνεται και πέραν αυτού, δεδομένου του ρυθμιστικού ρόλου του δάσους στο ευρύτερο φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον. Οι πλημμύρες στις γεωργικές και κατοικημένες εκτάσεις που βρίσκονται σε χαμηλότερα σημεία των περιοχών που καίγονται είναι λίαν αναμενόμενο επακόλουθο φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών, όχι μόνο βραχυπρόθεσμα, αλλά και μεσομακροπρόθεσμα, χωρίς να υποτιμώνται βέβαια και οι απώλειες ανθρωπίνων ζώων καθώς και οι καταστροφές υποδομών που συμβαίνουν συχνά εξαιτίας των δασικών πυρκαγιών (Κωνσταντινίδης και Γκατζογιάννης, 2001). Ο κίνδυνος καταστροφικών πλημμυρικών φαινομένων εντείνεται δηλαδή με τη μείωση των δασικών εκτάσεων-οικοσυστημάτων, αφού το νερό δε διηθείται στα κατώτερα στρώματα του εδάφους κι έτσι, μεγάλες ποσότητες του απορρέουν γρήγορα και παροχετεύονται σε χαμηλότερα σημεία, ιδίως υδάτινους αποδέκτες (ποτάμια, ρέματα), με τελικό προορισμό τη θάλασσα, ενώ σε περιπτώσεις βροχών μεγάλης ραγδαιότητας και διάρκειας, οι ποσότητες νερού που διοχετεύονται στους ποταμούς είναι εξαιρετικά μεγάλες, με αποτέλεσμα την πρόκληση πλημμύρων στα κατάντη (Μπουρλέτσικας και Προύτσος, 2012).

Διάβρωση μετά από τις πυρκαγιές

Σύμφωνα με τον Κωτούλα (1998), η διάβρωση, ως φυσικό φαινόμενο, έχει διπλή έννοια και συγκεκριμένα μία στενή και μία ευρεία. Κατά μεν τη στενή έννοιά της ορίζεται ως η απόσπασση και μεταφορά τμημάτων του στερεού φλοιού της γης λόγω της παρασυρτικής ενέργειας των ομβρίων υδάτων, αποτελούσα έτσι την ενεργό αιτία παραγωγής φερτών υλικών στις λεκάνες απορροής, κατά δε την



ευρεία έννοιά της αφορά το σύνολο της διαδικασίας παραγωγής, απαγωγής και μεταφοράς των φερτών υλικών που, λόγω της δράσης διαφόρων χειμαρρικών φαινομένων, παράγονται σε μια λεκάνη απορροής. Η ένταση του διαβρωτικού φαινομένου εξαρτάται από τη συμπεριφορά και τη συχνότητα επαναλήψεως της φωτιάς στην ίδια περιοχή, την κλίση και τη φύση του εδάφους, τα χαρακτηριστικά του κλίματος που επικρατεί στην περιοχή και τη διαχείριση που εφαρμόζεται στην καμένη περιοχή (Αριανούτσου-Φαραγγιτάκη και Καζάνης, 2012).

Η διάβρωση αποτελεί την ενεργό αιτία μείωσης του βάθους του εδάφους ή ακόμα και εξαφάνισης του επιφανειακού ορίζοντα, υποβαθμίζει την ποιότητα του εδάφους, δημιουργεί συνήθως εδαφικές σχισμές, μικρές ή μεγάλες και επιπλέον, προκαλεί την ελάττωση και τη σταδιακή καταστροφή της βιολογικής παραγωγικότητάς του, ενώ είναι δυνατό να προκαλέσει ακόμη και μη αναστρέψιμη καταστροφή σ' αυτό, δηλαδή ερημοποίηση (Οικονόμου, 2005; Μπουρλέτσικας και Προύτσος, 2012). Το φύλλωμα των δέντρων καθώς και το ζωντανό ή νεκρό βλαστητικό υλικό που υπάρχει επί του εδάφους, αποτελούν σημαντικές ασπίδες προστασίας του τελευταίου από τις βροχές, δεδομένου ότι, όπου υφίστανται, συμβάλλουν στη συγκράτηση σημαντικού ποσοστού νερού και τη μείωση της δυναμικής αυτού που εν τέλει διηθείται στο έδαφος και συγκρατείται στο πλούσιο σύστημα πόρων του, δυνάμει των οποίων εφοδιάζονται οι επιφανειακές πηγές, ιδιαίτερα κατά τις ξηρές περιόδους, καθώς και ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας (Κωνσταντινίδης, 2003). Ωστόσο, συνεπεία των δασικών πυρκαγιών προκαλείται καύση (μερική ή πλήρης) της προαναφερόμενης βιομάζας και επιπλέον, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που συνήθως αναπτύσσονται, το έδαφος δημιουργεί ένα αδιαπέρατο στρώμα στην επιφάνειά του (μια κρούστα), πάχους 5-6 mm, το οποίο προκαλεί μείωση του αερισμού του και παράλληλα, εμποδίζει το νερό να διηθηθεί στα κατώτερα στρώματά του, αναγκάζοντάς το να ρέει επιφανειακά κι έτσι να αποκτά μεγαλύτερη κινητική ενέργεια, με αποτέλεσμα αφενός μεν να προκαλείται διάβρωση, δηλαδή απόσπαση-αποσυγκόλληση και μεταφορά του εδαφικού υλικού προς τα χαμηλότερα σημεία, με τη δράση κυρίως του νερού, αλλά και του ανέμου (Οικονόμου, 2005), αφετέρου δε, να δημιουργούνται



πλημμυρικά φαινόμενα, τα οποία είναι δυνατό να αποβούν το ίδιο ή και περισσότερα καταστροφικά απ' ότι η πυρκαγιά καθαυτή (Ντάφης, 2007).

Οφέλη των δασικών πυρκαγιών

Η πυρκαγιά είναι ένας οικολογικός παράγοντας που διαδραματίζει έναν σημαντικό ρόλο στην κατανομή, την οργάνωση και την εξέλιξη των μεσογειακών οικοσυστημάτων (Trabaud 1980). Επίσης, και σε άλλα οικοσυστήματα εκτός των μεσογειακών η πυρκαγιά αποτελεί ένα καθοριστικό οικολογικό παράγοντα. Στα μεσογειακά οικοσυστήματα εμφανίζονται φυσικές πυρκαγιές κατά σχεδόν κανονικά διαστήματα (Ντάφης 1986, Καϊλίδης και Καρανικόλα 2004).

Τα μεσογειακά οικοσυστήματα όπως και άλλα οικοσυστήματα, επωφελούνται από τις περιοδικές πυρκαγιές, επειδή καθαρίζουν το νεκρό οργανικό υλικό - και ορισμένοι πληθυσμοί φυτών και ζώων απαιτούν τα οφέλη που προσφέρει η φωτιά για να επιβιώσουν και να αναπαραχθούν. Καθώς τα νεκρά ή αποσυντιθέμενα φυτά αρχίζουν να συσσωρεύονται στο έδαφος, ενδέχεται να εμποδίσουν τους οργανισμούς να έχουν πρόσβαση σε θρεπτικά συστατικά ή να εμποδίσουν την πρόσβαση των ζώων στη περιοχή. Αυτή η επικάλυψη νεκρών οργανικών υλών μπορεί επίσης να εμποδίσει και την ανάπτυξη μικρότερων ή νέων φυτών. Όταν αφαιρεθεί αυτό το στρώμα με μια πυρκαγιά επιτρέπεται στα άλλα, υγιή μέρη του οικοσυστήματος να ευδοκιμήσουν. Επιπλέον, τα θρεπτικά συστατικά που απελευθερώνονται από το καμένο υλικό, το οποίο περιλαμβάνει νεκρά φυτά και ζώα, επιστρέφουν πιο γρήγορα στο έδαφος από ότι αν είχαν αποσυντεθεί αργά με την πάροδο του χρόνου. Με αυτόν τον τρόπο, η φωτιά αυξάνει τη γονιμότητα του εδάφους. Επιπλέον, η πυρκαγιά συχνά εξαλείφει τυχόν χωροκατακτητικά ζιζάνια, έντομα και ασθένειες που μπορεί να έχουν επηρεάσει μια συγκεκριμένη δασική έκταση δίνοντας την ευκαιρία στην περιοχή να ξεκινήσει εκ νέου με τα εγγενή είδη. Πολλά φυτά χρειάζονται πραγματικά τη φωτιά για να συνεχίσουν τον κύκλο ζωής τους. Για παράδειγμα, οι σπόροι από πολλά είδη πεύκων όπως και άλλα δέντρα, πόες κτλ, όπως ορισμένοι τύποι κρίνων, απαιτούν την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς ώστε να είναι δυνατή η βλάστηση των σπόρων. Ακόμα και μερικά



ζώα εξαρτώνται από τη φωτιά. Η μοναδική πηγή τροφής για την απειλούμενη μπλε πεταλούδα Karner (*Lycaeides melissa samuelis*) είναι ένα φυτό που ονομάζεται άγριο λούπινο (*Lupine perennis*). Το άγριο λούπινο απαιτεί φωτιά απαιτεί τη φωτιά για να διατηρηθεί μια ισορροπία στο οικοσυστήματος και να μπορέσει να ευδοκιμήσει. Χωρίς την φωτιά, τα λούπινα δεν ανθίζουν και οι κάμπιες δεν μπορούν να καταναλώνουν αρκετό φαγητό για να μεταμορφωθούν σε πεταλούδες <https://www.nationalgeographic.org/article/ecological-benefits-fire/>.



5 Εφαρμογές απομακρυσμένων αισθητήρων

Διανύουμε την εποχή κατά την η οποία η μελέτη του περιβάλλοντος είναι πλέον ένα φλέγον ζήτημα στην επιστημονική κοινότητα. Ερευνητές και μελετητές ανά τον κόσμο μελετούν το αντίκτυπο που έχει ο σύγχρονος κόσμος στο γενικότερο οικοσύστημα. Πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων ερευνών είναι οι ενδείξεις για υπερθέρμανση του πλανήτη, το οποίο έχει κινητοποιήσει ένα μεγάλο μέρος ερευνητών και έχει εγείρει ένα μεγάλο κύκλο συζητήσεων. Οι ερευνητές, συλλέγοντας όσο το δυνατόν περισσότερα δεδομένα και κάνοντας την δική τους ανάλυση, προσπαθούν να βγάλουν κάποια συμπεράσματα για τέτοιου είδους ζητήματα. Καθίσταται λοιπόν προφανές ότι η ανάγκη συλλογής πραγματικών δεδομένων για περιβαλλοντικές εφαρμογές, κρίνεται πιο καίρια από ποτέ.

Τα Περιβαλλοντικά Δίκτυα απομακρυσμένων Αισθητήρων τείνουν να γίνουν ένα βασικό εργαλείο έρευνας για την Επιστήμη του Περιβάλλοντος. Λόγω της συνεχής μέτρησης των τιμών από τους ασύρματους αισθητήρες, νέα μοντέλα για την μελέτη του περιβάλλοντος μπορούν να έρθουν στην επιφάνεια, θέτοντας έτσι τις βάσεις για περαιτέρω κατανόηση του υπό μελέτη περιβάλλοντος. Υπάρχουν πέντε αντιπροσωπευτικές κατηγορίες περιβαλλοντικών εφαρμογών (Κολοβός, 2019)

- 1) Μετεωρολογική Παρακολούθηση.
- 2) Γεωλογική Παρακολούθηση
- 3) Παρακολούθηση και προστασία Οικοσυστήματος
- 4) Παρακολούθηση Ρύπανσης
- 5) Παρακολούθηση Κατανάλωσης Ενέργειας

5.1 Τρόπος λειτουργίας

Ένα δίκτυο απομακρυσμένων αισθητήρων είναι ένα ασύρματο δίκτυο (Wireless Sensor Network – WSN), αποτελούμενο από χωρικά κατανομημένες συσκευές, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως οι κόμβοι του δικτύου. Οι κόμβοι αυτοί χρησιμοποιούν αισθητήρες για να μετρούν επιθυμητές κατηγορίες δεδομένων που αφορούν το φυσικό τους περιβάλλον, όπως θερμοκρασία, υγρασία, φως,

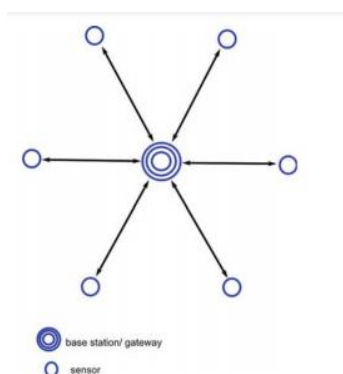


πίεση, κτλ, σε διάφορες τοποθεσίες όπου είναι επιθυμητή η μελέτη των φυσικών μεταβολών.

Λόγω της αξιοπιστίας, της αυτοδυναμίας, της ευελιξίας και της ευκολίας της επέκτασής τους, τα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων αποτελούν πλέον έναν πολύ δημοφιλή τρόπο ανάπτυξης εφαρμογών μικρής και μεγάλης κλίμακας. (Κολοβός, 2019)

Η λειτουργία των δικτύων ασύρματων αισθητήρων αναφέρεται στο πώς είναι διατεταγμένοι οι κόμβοι του δικτύου. Παρακάτω αναφέρονται οι βασικότερες κατηγορίες τοπολογιών (Κολοβός, 2019):

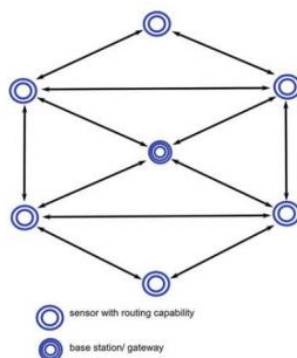
- **Λειτουργία αστέρα:** σε αυτήν την λειτουργία οι κόμβοι αισθητήρων (sensor) οργανώνονται σε μορφή αστέρα, με κεντρικό κόμβο το σταθμό βάσης (base station/ gateway) (Εικόνα 7). Οι υπόλοιποι κόμβοι δεν μπορούν να ανταλλάξουν πληροφορία μεταξύ τους και εκπέμπουν τα δεδομένα μέσω του σταθμού βάσης. Αυτή η λειτουργία προσφέρει χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με άλλες τοπολογίες. Από την άλλη, ο σταθμός βάσης δεν μπορεί να επικοινωνήσει με κόμβους που είναι εκτός της εμβέλειάς του. Επίσης, το γεγονός ότι αυτή η λειτουργία εξαρτάται από τον κεντρικό κόμβο για την διαχείριση του δικτύου, το κάνει ευάλωτο σε κατάρρευση και πλήττει την αξιοπιστία του.



Εικόνα 7: Λειτουργία αστέρα

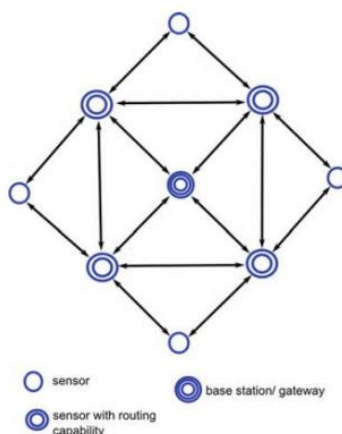
- **Λειτουργία πλέγματος:** σε αυτήν την λειτουργία, οι κόμβοι (sensor with routing capability) ανταλλάσσουν δεδομένα με τον κεντρικό σταθμό (base station), έχοντας την δυνατότητα να επικοινωνήσουν και με άλλους κόμβους (Εικόνα 8). Πρακτικά, εάν κάποιος κόμβος επιθυμεί να στείλει δεδομένα σε έναν κόμβο που βρίσκεται εκτός της εμβέλειάς του, μπορεί να

χρησιμοποιήσει έναν ενδιάμεσο κόμβο για την εξυπηρέτηση του. Ένα πλεονέκτημα αυτής της λειτουργίας είναι ότι άμα ένας κόμβος καταρρεύσει, η επικοινωνία είναι δυνατή μέσω άλλων κόμβων που βρίσκονται στην αντίστοιχη εμβέλεια. Ένα βασικό μειονέκτημα είναι η υψηλή κατανάλωση ενέργειας λόγω της πλεονάζουσας μετάδοσης δεδομένων.



Εικόνα 8: Λειτουργία πλέγματος

- Υβριδική Λειτουργία αστέρα-πλέγματος: ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων με λειτουργία αστέρα-πλέγματος, έχει γνωρίσματα και από τις δύο ξεχωριστές τοπολογίες (Εικόνα 9). Από την μία πλευρά, αξιοποιεί την χαμηλή κατανάλωση της λειτουργίας αστέρα και, από την άλλη πλευρά, αξιοποιεί την πλεονάζουσα μετάδοση δεδομένων της λειτουργίας πλέγματος ώστε να εξασφαλίσει ότι τα δεδομένα θα φτάσουν στον προορισμό τους. Στην υλοποίηση αυτής της λειτουργίας, οι κόμβοι στην άκρη του δικτύου είναι συνήθως χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και οι κόμβοι στην καρδιά του πλέγματος έχουν υψηλότερη ισχύ, καθώς συνήθως προωθούν μηνύματα ανάμεσα σε μεγάλο αριθμό κόμβων και χρησιμοποιούνται ως κόμβοι πύλης (gateway nodes)



Εικόνα 9: Υβριδική Λειτουργία αστέρα-πλέγματος



5.2 Εφαρμογή για την προστασία και παρακολούθηση του δάσους

Πρόσφορα εδάφη για τη χρήση δικτύων απομακρυσμένων αισθητήρων αποτελεί η παρακολούθηση του οικοσυστήματος, και ειδικότερα στο τομέα της γεωργίας και της κτηνοτροφίας. Αν και σε πειραματικό στάδιο, αναπτύσσονται ήδη εφαρμογές που δίνουν τη δυνατότητα στους αγρότες να παρακολουθήσουν και να διαχειριστούν τις καλλιέργειες τους, παρέχοντας σε πραγματικό χρόνο δεδομένα για την κατάσταση του εδάφους και της παραγωγής. Στον τομέα της κτηνοτροφίας πρόσφατες εφαρμογές έδωσαν τη δυνατότητα δημιουργίας εικονικών φρακτών με την τοποθέτηση αισθητήρων θέσης σε κοπάδια με σκοπό τον έλεγχο της συμπεριφοράς των ζώων.

Στον τομέα προστασίας και παρακολούθησης του δάσους οι απομακρυσμένοι αισθητήρες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στους παρακάτω τομείς:

- **Ανίχνευση δασικών πυρκαγιών.** Ένα δίκτυο αισθητήριων κόμβων μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα δάσος για να ανιχνεύει πότε έχει εκδηλωθεί πυρκαγιά. Οι κόμβοι μπορούν να είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, την υγρασία και τα αέρια που παράγονται από φωτιά στα δέντρα ή τη βλάστηση. Η έγκαιρη ανίχνευση είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχή δράση των πυροσβεστών, χάρη στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, η πυροσβεστική θα είναι σε θέση να γνωρίζει πότε μια πυρκαγιά ξεκίνησε και πώς εξαπλώνεται.
- **Παρακολούθηση πανίδας.** Ένα δίκτυο αισθητήριων κόμβων, κυρίως ασύρματων καμερών και αισθητήρων κίνησης, μπορεί να εγκατασταθεί σε σημεία διέλευσης ή φωλεοποίησης πανίδας για παρακολούθηση της βιοποικιλότητας του δάσους.
- **Ανίχνευση κατολισθήσεων.** Ένα σύστημα ανίχνευσης κατολίθησης κάνει χρήση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων για να ανιχνεύσει τις μικρές κινήσεις του εδάφους και αλλαγές στις διάφορες παραμέτρους που μπορεί να συμβούν πριν ή κατά τη διάρκεια μιας κατολίθησης. Μέσα από τα δεδομένα που συλλέγονται μπορεί να είναι δυνατόν να γνωρίζουμε την εμφάνιση των κατολισθήσεων πολύ πριν αυτό συμβεί στην πραγματικότητα.
- **Παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων.** Η παρακολούθηση της



ποιότητας του νερού περιλαμβάνει την ανάλυση των ιδιοτήτων του νερού σε φράγματα, ποτάμια, λίμνες και ωκεανούς, καθώς και τα υπόγεια αποθέματα νερού. Η χρήση πολλών ασύρματων αισθητήρων που διανέμονται επιτρέπει τη δημιουργία μιας πιο ακριβούς εικόνας της κατάστασης των υδάτων, και επιτρέπει τη μόνιμη εγκατάσταση σταθμών παρακολούθησης σε περιοχές με δύσκολη πρόσβαση, χωρίς την ανάγκη του εγχειριδίου ανάκτησης δεδομένων.

- **Πρόληψη φυσικών καταστροφών.** Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να ενεργήσουν αποτελεσματικά για να αποτραπούν οι συνέπειες των φυσικών καταστροφών, όπως οι πλημμύρες ή άλλες που μπορούν να επηρεάσουν το δάσος. Ασύρματοι κόμβοι έχουν αναπτυχθεί με επιτυχία σε ποτάμια όπου οι μεταβολές της στάθμης του νερού θα πρέπει να παρακολουθείτε σε πραγματικό χρόνο.



6 Δεδομένα, Μεθοδολογία και εργαλεία αποτίμησης κινδύνου

6.1 Χρήση συστημάτων ασαφούς λογικής (λογισμικό Matlab)

Οι πυρκαγιές των δασών αποτελούν γνωστό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα δάση και το φυσικό περιβάλλον της Ελλάδας κυρίως τα τελευταία 40 χρόνια όπου αυξήθηκαν τόσο σε αριθμό, όσο και ως προς την έκταση που καίνε. Πριν από 100 χρόνια η δασοκάλυψη άγγιζε το 48%, ενώ σήμερα είναι μικρότερη του 35%, ως αποτέλεσμα διαδοχικών πυρκαγιών. Η Δασική Υπηρεσία από το 1983, έχει ξεκινήσει την καταγραφή παραμέτρων για κάθε περιστατικό πυρκαγιάς, χωρίς όμως μέχρι σήμερα να έχει γίνει κάποια ουσιαστική προσπάθεια για ενιαία ανάλυση, επεξεργασία και παρουσίασή τους, ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τις υπάρχουσες καταστροφές και τάσεις μεταβολής ανά γεωγραφική μονάδα (Καϊλίδης-Καρανικόλα, 2004, Τσαγκάρη και άλλοι, 2011).

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα φυσικό φαινόμενο, το οποίο ο άνθρωπος δεν είναι ακόμη ικανός να θέσει υπό τον έλεγχό του. Το πρόβλημα στη χώρα μας καθώς και στις υπόλοιπες χώρες της Μεσογείου είναι έντονο, εξαιτίας του ευνοϊκού για τέτοιες καταστάσεις, μεσογειακού κλίματος που επικρατεί (ζεστά-ξηρά καλοκαίρια και ήπιους - υγρούς χειμώνες) (Τσαγκάρη και άλλοι, 2011).

Όλες οι δασικές πυρκαγιές δεν είναι ίδιες. Ανάλογα με τον τρόπο εξάπλωσής τους και τη θέση τους διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- Πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες (ground fires) οι οποίες εξαπλώνονται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους καίγοντας τη συσσωρευόμενη οργανική ύλη. Το στρώμα της οργανικής ύλης έχει λεπτή υφή, είναι καλά συμπιεσμένο και αποκλεισμένο από την επαφή με τον αέρα της ατμόσφαιρας. Σε μια τέτοιου είδους πυρκαγιά μπορεί είτε να υπάρχει καπνός, είτε όχι με αποτέλεσμα να την ανακαλύπτουμε δύσκολα. Ο τρόπος μετάδοσής τους είναι αργός, γίνονται από τις πιο επικίνδυνες και η κατάσβεσή τους είναι δύσκολη (Καϊλίδης-Καρανικόλα, 2004, Καλαμποκίδης και άλλοι, 2012).
- Πυρκαγιές επιφάνειας ή έρπουσες (surface fires) στις οποίες καίγεται μόνο η υποβλάστηση χωρίς να πληγούν τα δένδρα. Δρουν δηλαδή επιλογικά, καταστρέφοντας μόνο τον υπόροφο, απελευθερώνοντας σημαντικές ποσότητες θρεπτικών συστατικών. Έτσι διευκολύνουν την αναγέννηση των



δένδρων καθώς και την ανάπτυξη γραστέων και ψυχανθών ειδών με μεγάλη θρεπτική αξία για τα ζώα που βόσκουν στο δάσος (Ντάφης, 1986). Επιπροσθέτως αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή και είναι υπεύθυνες κατά μεγάλο ποσοστό για τη δημιουργία μεικτών μορφών πυρκαγιάς. Η διάδοσή τους είναι ταχύτατη επειδή υπάρχει αφθονία σε αέρα και οξυγόνο. Η έρπουσα πυρκαγιά απετέλεσε ένα χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των κτηνοτρόφων για το χειρισμό δασών και βοσκότοπων. Οι κτηνοτρόφοι έκαιγαν τα δάση και τους βοσκότοπους για να έχουν καλύτερης ποιότητας χορτάρι την επόμενη άνοιξη. Η μέθοδος όμως αυτή εγκαταλείφθηκε, γιατί προκαλούσε σημαντική έκπλυση ορυκτών ουσιών και αντικαταστάθηκε με την κατεργασία του εδάφους (Ντάφης, 1986, Καϊλίδης-Καρανικόλα, 2004).

- Πυρκαγιές κόμης ή επικόρυφες (crown fires). Είναι οι πιο επικίνδυνες καθώς καίγεται η κόμη των δένδρων. Τα δένδρα νεκρώνονται και έτσι καταστρέφεται ολόκληρο το οικοσύστημα, το οποίο πρέπει να δημιουργηθεί από την αρχή (Ντάφης, 1986).
- Μεικτές πυρκαγιές. Αποτελούν ένα συνδυασμό έρπουσας και επικόρυφης πυρκαγιάς (Καϊλίδης-Καρανικόλα, 2004, Καλαμποκίδης και άλλοι, 2012).

Οι μετεωρολογικές-κλιματολογικές συνθήκες αποτελούν βασικό παράγοντα τόσο για την έναρξη και εξέλιξη μιας πυρκαγιάς, όσο και για την αποκατάσταση της βλάστησης στις περιοχές που κάηκαν. Οι μετεωρολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς είναι:

- Ο άνεμος. Η επίδρασή του στις δασικές πυρκαγιές αφορά την ταχύτητα, τη διεύθυνση και την έντασή του. Μπορεί να επιταχύνει την ξήρανση της καύσιμης ύλης. Σε περίπτωση που ξεσπάσει πυρκαγιά, ο άνεμος βοηθάει στην εξάπλωσή της τροφοδοτώντας την, με ποσότητες οξυγόνου. Επίσης ο άνεμος αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην εξάπλωση πυρκαγιάς, μεταφέροντας θερμότητα και φλεγόμενες καύτρες με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων εστιών (Καλαμποκίδης και άλλοι, 2012).
- Η υγρασία. Είναι από τους σπουδαιότερους παράγοντες καθώς επηρεάζει το μέγεθος και τη συχνότητα εμφάνισης των πυρκαγιών. Η μέτρησή της μπορεί να γίνει είτε στον αέρα, είτε στην καύσιμη δασική ύλη. Υψηλή υγρασία ισοδυναμεί με μικρό κίνδυνο εμφάνισης πυρκαγιάς ενώ σε χαμηλές



συγκεντρώσεις, μπορεί να δημιουργήσει ευνοϊκές συνθήκες για την εμφάνιση πυρκαγιάς (Τσαταλτζινός, 2012).

- Η θερμοκρασία. Επιδρά κυρίως στην ξήρανση της νεκρής καύσιμης δασικής ύλης καθώς ελαττώνει γρήγορα τη σχετική υγρασία. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο ευκολότερο καθίσταται το ξέσπασμα πυρκαγιάς.
- Τα κατακρημνίσματα (κυρίως βροχοπτώσεις). Δρουν ανασταλτικά απέναντι στις δασικές πυρκαγιές. Διαβρέχουν την εύφλεκτη δασική ύλη καθιστώντας την ανθεκτική στην εμφάνιση και εξάπλωση πυρκαγιών (Καϊλίδης-Καρανικόλα, 2004).
- Πέρα από τους μετεωρολογικούς, ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο έχουν και οι τοπογραφικοί παράγοντες στη συμπεριφορά μιας πυρκαγιάς. Τέτοιοι είναι:
- Το υψόμετρο. Δεν είναι ξεκάθαρος ο ρόλος του καθώς υπάρχουν περιπτώσεις που δρα, είτε ως σύμμαχος στην εξάπλωση μιας πυρκαγιάς, διότι αύξηση του υψομέτρου συνεπάγεται αύξηση της έντασης του ανέμου και αύξηση της μέσης κλίσης, είτε ως εχθρός καθώς αύξηση του υψομέτρου προκαλεί μείωση του οξυγόνου που είναι απαραίτητο συστατικό της πυρκαγιάς (Τσαταλτζινός, 2012).
- Η κλίση. Επηρεάζει κυρίως την εξάπλωση μιας πυρκαγιάς διότι αύξηση της κλίσης του εδάφους συνεπάγεται αύξηση της ταχύτητας εξάπλωσης. Εκτός από αυτό, η μεγάλη κλίση καθιστά δύσκολη την προσπέλαση μιας πλαγιάς σε περίπτωση πυρκαγιάς (Τσαταλτζινός, 2012). Επίσης, αύξηση της κλίσης καθιστά πιθανότερη την πρόκληση κηλίδωσης από τα αιωρούμενα σωματίδια (Καλαμποκίδης και άλλοι, 2012).
- Η έκθεση. Ανάλογα με την έκθεση της πλαγιάς επηρεάζεται η υγρασία, η θερμοκρασία, οι άνεμοι καθώς και η ποσότητα της καύσιμης ύλης. Συνήθως οι νότιες-νοτιοδυτικές εκθέσεις είναι αυτές που δίνουν μεγαλύτερες πυρκαγιές (Καλαμποκίδης και άλλοι, 2012).

Τα τελευταία χρόνια, ένας συνδυασμός παραγόντων που περιλαμβάνει την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας (global warming), την εγκατάλειψη της δασικής διαχείρισης και την αύξηση της βιομάζας λόγω υποχώρησης των αγροτικών δραστηριοτήτων στην ύπαιθρο, έχουν καταστήσει το πρόβλημα



εντονότερο, με αποτέλεσμα τη συχνότερη εμφάνιση καταστροφικών πυρκαγιών (Τσαγκάρη και άλλοι, 2011).

Η επίδραση των πυρκαγιών μπορεί να είναι θετική ή αρνητική, ανάλογα με την ένταση, τη μορφή, τη συχνότητα επανάληψης, τη σύνθεση των ειδών και τη συνδυασμένη επίδραση διαφόρων παραγόντων, με κυριότερο αυτόν της βόσκησης. Σε ορισμένα χερσαία οικοσυστήματα, η φωτιά αποτελεί καθοριστικό παράγοντα εξέλιξης. Σε αυτά εμφανίζονται φυσικές πυρκαγιές σχεδόν κατά κανονικά χρονικά διαστήματα, με κύρια αίτια την αυτανάφλεξη και τους κεραυνούς (Ντάφης, 1986). Οι πυρκαγιές όμως αυτές, αν και μπορούν να καταστρέψουν ολοκληρωτικά ένα συγκεκριμένο οικοσύστημα ή μέρος αυτού, σε περίπτωση που ξεσπάσουν, έχουν αναστρέψιμη δράση και δεν αποτελούν παράγοντα οπισθοδρομικής διαδοχής, καθώς τα φυτικά είδη που συνθέτουν τέτοια οικοσυστήματα, έχουν αναπτύξει κατάλληλους προσαρμοστικούς μηχανισμούς για περιβάλλοντα που πλήττονται συνεχώς από πυρκαγιές με αποτέλεσμα να επανακάμπτουν.

Οι υψηλές θερμοκρασίες εδάφους, καθώς και η αυξημένη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών μετά από μια δασική πυρκαγιά, δημιουργούν ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης συγκεκριμένων φυτικών ειδών (Arianoutsou and Thanos 1996).

Αρνητικές επιπτώσεις που ακολουθούν τις δασικές πυρκαγιές περιλαμβάνουν αλλαγή μικροκλίματος, εκτοπισμός ή περιορισμός εμφάνισης ειδών χλωρίδας και πανίδας, διάβρωση εδάφους, επιφανειακή απορροή που ακολουθείται από πλημμυρικά φαινόμενα καθώς και υποβάθμιση της αισθητικής του τοπίου με παράλληλες τάσεις για αλλαγή χρήσης γης (Naveh, 1975, Arianoutsou, 2001).

Μετά από μια πυρκαγιά, όπου έχουμε πλήρη καταστροφή της βλάστησης, πολλά δασικά είδη δεν είναι εφικτό να εγκατασταθούν αμέσως μετά, εξαιτίας των υψηλών απαιτήσεων σκιάσής τους στα πρώτα στάδια ανάπτυξής τους.

Όλες οι καταστροφές που προκλήθηκαν από τις πυρκαγιές μάς οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η περιοχή της Μεσογείου είναι αναπόσπαστα συνδεδεμένη με τις πυρκαγιές. Αυτό που όμως τις καθιστά επιζήμιες είναι η αυξημένη συχνότητά τους. Είναι γνωστό ότι ο άνθρωπος προκαλεί τη μεγαλύτερη καταπόνηση στα δασικά οικοσυστήματα αλλά παράλληλα είναι αυτός που διαδραματίζει



καθοριστικό ρόλο στην προστασία τους. Έτσι λοιπόν κρίνεται επιτακτική η ανάγκη να αναζητήσουμε, να αποκαλύψουμε τις αιτίες που οδήγησαν σε τέτοιες καταστάσεις και να αξιοποιήσουμε δημιουργικά την εμπειρία της καταστροφής που αποκομίσαμε. Η ενέργεια αυτή θα συμβάλει στην αποφυγή αντίστοιχων περιστατικών στο μέλλον (Τσαγκάρη και άλλοι, 2011).

Η Ασαφής Λογική (fuzzy logic) εισήχθηκε για πρώτη φορά από το Lotfi A.Zadeh τη δεκαετία του 1960 για να ανατρέψει την ιδέα ότι όλα τα πράγματα μπορούν να είναι απολύτως σωστά ή απολύτως λάθος (Kandel, 1992, Kecman, 2001). Από τότε και μετά υπήρξε ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών που προσέγγιζαν μια μεγάλη ποικιλία επιστημονικών πεδίων όπως η μετεωρολογία, η μηχανική και το management (Leondes, 1998, Iliadis, 2005).

Η ασαφής λογική αποτελεί μια επέκταση της κλασσικής Αριστοτέλειας λογικής. Μια πρόταση μπορεί να είναι αληθής "με κάποιο βαθμό αληθείας" και όχι απλά αληθής ή ψευδής (Zadeh, 1968). Με απλά λόγια, η ασαφής λογική λέει ότι τα πράγματα συχνά δεν είναι «άσπρο-μαύρο» αλλά «αποχρώσεις του γκρι». Η ιδέα αυτή απετέλεσε επανάσταση στη θεωρία της λογικής, γιατί ξέφυγε από το μοντέλο του «0-1», «αληθές-ψευδές» που κυριαρχούσε εδώ και 2500 χρόνια (Iliadis, 2005, Ηλιάδης, 2007).

Η ασαφής λογική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή πολύπλοκων προβλημάτων σε απλούστερα χρησιμοποιώντας τη λογική της προσέγγισης, χρησιμοποιώντας δηλαδή τη γλώσσα των ανθρώπων αλλά και λεκτικές μεταβλητές. Μια ασαφής περιγραφή μπορεί να μοντελοποιήσει τόσο τη μη γραμμικότητα, όσο και την αβεβαιότητα ενός συστήματος αποτελεσματικά. Η δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου, που να καθίσταται δυνατό να περιγράψει τη μεταβλητότητα, τη μη γραμμικότητα καθώς και την αβεβαιότητα κάθε στιγμή, κρίνεται υπερβολικά δύσκολη αν όχι ανέφικτη. Με τη χρήση της ασαφούς λογικής αποφεύγεται η χρήση όλων αυτών των πολύπλοκων μαθηματικών μοντέλων (Ζιγκρικά, 2009).

Τα τελευταία χρόνια ο αριθμός και η ποικιλία των εφαρμογών της ασαφούς λογικής έχει αυξηθεί σημαντικά. Το εύρος των εφαρμογών αυτών, περιλαμβάνει από προϊόντα τα οποία έχουν ευρεία εφαρμογή όπως κάμερες, φωτογραφικές



μηχανές, φούρνοι μικροκυμάτων, πλυντήρια μέχρι και εξειδικευμένη εφαρμογή σε ιατρικά όργανα και συστήματα λήψης αποφάσεων (Klir and Yuan, 1995).

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν το ολοκληρωμένο κύκλωμα (μικρο-ελεγκτή) MCS 96/296 Motorola 68HC12 MCU της Intel που χρησιμοποιεί αποκλειστικά Ασαφή Λογική, το σύστημα Ασαφούς Λογικής της Nissan για αυτόματη μετάδοση, για ABS, το σύστημα της Sony για αναγνώριση χειρόγραφων κειμένων με Ασαφή Λογική το σύστημα της Hitachi για αναγνώριση φωνής ακόμα και εφαρμογές Ασαφούς Λογικής στο χρηματιστήριο του Τόκυο.

Μια συχνή πηγή λάθους κατανόησης σχετίζεται με την ερμηνεία της ασαφούς λογικής. Η ασαφής λογική περιλαμβάνει δύο προσεγγίσεις. Η πρώτη είναι αυτή υπό τη στενή έννοια η οποία περιλαμβάνει ένα λογικό σύστημα, το οποίο είναι επέκταση της λογικής των πολλαπλών τιμών. Η δεύτερη προσέγγιση είναι υπό την ευρεία έννοια, η οποία είναι σχεδόν συνώνυμη με τη θεωρία των ασαφών συνόλων (fuzzy sets), μια θεωρία η οποία σχετίζεται με κλάσεις αντικειμένων με μη συγκεκριμένα όρια στα οποία αντιστοιχεί κάποιος βαθμός μέλους (mathworks.com).

Πολύ σημαντικό να αναγνωριστεί ότι α) η ασαφής λογική με τη στενή έννοια περιλαμβάνεται στην ασαφή λογική με την ευρεία έννοια και β) ότι η ατζέντα της ασαφούς λογικής με τη στενή έννοια είναι πολύ διαφορετική από τις ατζέντες των κλασικών λογικών πολλαπλών τιμών (Klir and Yuan, 1995).

Μια πολύ βασική λειτουργία της ασαφούς λογικής είναι η απόδοση μεταβλητών (Λεκτικά), οι οποίες θα περιλαμβάνουν λέξεις και όχι αριθμούς, παρόλο που οι λέξεις παρέχουν μικρότερη ακρίβεια (Linguistics). Με αυτόν τον τρόπο εκμεταλλευόμαστε την ανοχή για ασάφεια και έτσι μειώνουμε το κόστος της επίλυσης.

Μια ακόμη λειτουργία της ασαφούς λογικής που αποτελεί βασικό παράγοντα στις περισσότερες εφαρμογές είναι οι ασαφείς κανόνες της μορφής 'Εάν... Τότε ... Αλλιώς'. Μολονότι αυτοί οι κανόνες προϋπήρχαν στην Τεχνητή Νοημοσύνη (Artificial Intelligence), αυτό που έλλειπε στα περισσότερα συστήματα ήταν ένας μηχανισμός, όπου θα συνδύαζε τα προηγούμενα με τα επόμενα.



Στην ασαφή λογική υιοθετούνται διάφοροι μηχανισμοί Ασαφούς Νόησης γνωστοί με το γενικό όνομα Fuzzy Dependency and Command Language (FDCL). Στις περισσότερες εφαρμογές της ασαφούς λογικής, η λύση είναι στην πραγματικότητα μια μετάφραση της ανθρώπινης λύσης σε FDCL (mathworks.com).

Μια τάση η οποία χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο, είναι η χρήση της ασαφούς λογικής σε συνδυασμό με νευρωνικά δίκτυα και γενετικούς αλγόριθμους. Γενικότερα η ασαφής λογική, τα νευρωνικά δίκτυα και οι γενετικοί αλγόριθμοι μπορούν να θεωρηθούν ως απαραίτητα συστατικά για αυτό που ονομάζουμε soft computing και περιλαμβάνει την ασάφεια του πραγματικού κόσμου.

Η γενική αρχή της Ήπιας Υπολογιστικής είναι η αξιοποίηση της ανοχής για αβεβαιότητα και η μερική αλήθεια για την επίτευξη ενός ευέλικτου και αξιόπιστου συστήματος που θα επιφέρει μια λύση με χαμηλό κόστος.

Ανάμεσα σε ποικίλους συνδυασμούς μεθοδολογιών του soft computing, αυτός που χρησιμοποιείται κατά κόρων είναι η ασαφής λογική και τα νευρωνικά δίκτυα, που μας οδηγούν σε νεύρο-ασαφή συστήματα, με την ασαφή λογική να έχει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή κανόνων από τις παρατηρήσεις μας (Klir and Yuan, 1995).

6.1.1 Χρήση τίτλων

Πρώτο βήμα είναι η εύρεση βαθμών μέλους για κάθε δασαρχείο ξεχωριστά την περίοδο 1983-2004 για τα εξής χαρακτηριστικά: καμένη έκταση, θερμοκρασία, υγρασία και ένταση ανέμου έτσι ώστε να αποδοθεί ένα από τα ακόλουθα λεκτικά (Χαμηλή, Μεσαία, Υψηλή).

Αρχικά με τις συναρτήσεις Max και Min τού προγράμματος Microsoft Office Excel βρέθηκαν η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή τού κάθε χαρακτηριστικού για κάθε ένα δασαρχείο. Επίσης υπολογίστηκε και η τυπική απόκλιση αυτών μέσω της συνάρτησης Stdev του Excel.

Στην περίπτωση της καμένης έκτασης, λόγω της μεγάλης τυπικής απόκλισης χωρίστηκαν σε 4 συστάδες (clusters) (Χαμηλή, Υψηλή, Πολύ



Υψηλή και Ύψιστη). Στη συνέχεια βρέθηκε ο μέσος όρος με τη χρήση της συνάρτησης Average και δημιουργήσαμε τα Λεκτικά. Στο Λεκτικό Χαμηλή τοποθετήθηκαν οι τιμές μέχρι το μέσο όρο της καμένης έκτασης, στο Λεκτικό Υψηλή τοποθετήθηκαν οι τιμές που ανήκουν στο διάστημα $[\mu_0, \mu_0+2\sigma]$, στο Λεκτικό Πολύ Υψηλή τοποθετήθηκαν οι τιμές που ανήκουν στο διάστημα $[\mu_0+2\sigma, \mu_0+3\sigma]$. Τέλος, στο Λεκτικό Ύψιστη τοποθετήθηκαν οι σπάνιες τιμές που είναι μεγαλύτερες του $\mu_0+3\sigma$.

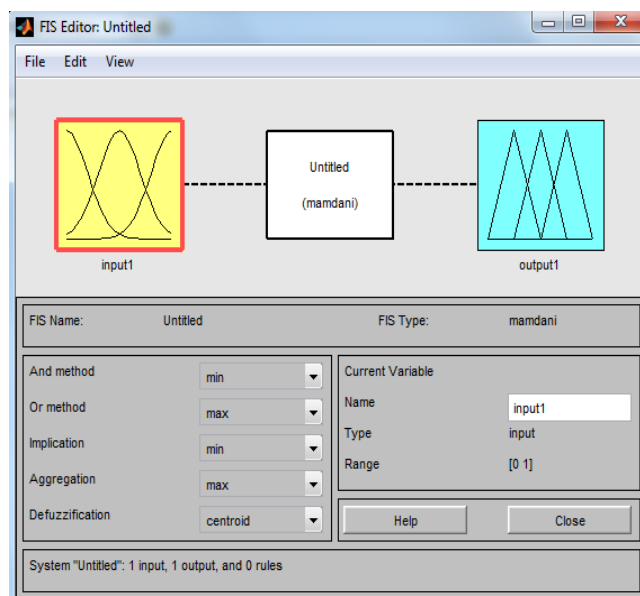
Στα χαρακτηριστικά Θερμοκρασία και Υγρασία εξαιτίας της μικρής τυπικής απόκλισης που παρουσίασαν δεν τέθηκε θέμα για χωρισμό τους με αντίστοιχο τρόπο όπως της καμένης έκτασης και χωρίστηκαν σε 3 Λεκτικά (Χαμηλή, Μεσαία, Υψηλή).

Το χαρακτηριστικό Ένταση Ανέμου, είχε ήδη κατηγοριοποιηθεί από τη Γενική Γραμματεία Δασών, η οποία μας παρέδωσε τα δεδομένα.

Στη συνέχεια, τα πρωτογενή δεδομένα, αφού πρώτα διαμορφώθηκαν κατάλληλα, εισήχθησαν σε πίνακα του Matlab (new variable) από αρχείο του Excel με την εντολή xlsread η οποία συντάσσεται :

```
Name= xlsread(filename,sheet,[xlrange])
```

Μετέπειτα αναπτύχθηκε ένα Σύστημα Ασαφούς Νόησης (Fuzzy Inference System) (FIS) μέσα από το ολοκληρωμένο περιβάλλον ασαφούς λογικής του Matlab. Σε αυτό το περιβάλλον, ο χρήστης σχεδιάζει με ένα εργαλείο που μας παρέχει το Matlab και αυτό είναι το Fuzzy Editor. Πληκτρολογώντας την εντολή fuzzy στο Command Window, εμφανίζεται το FIS Editor όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7: Το περιβάλλον ανάπτυξης του FIS στο Matlab

Επιλέγοντας το εικονίδιο input1 όπως φαίνεται στην Εικόνα 1 μπορούμε να μπούμε και να αλλάξουμε το όνομα, το εύρος (range) καθώς και το είδος της συνάρτησης βαθμού μέλους. Ονοματίζουμε το κάθε ασαφές σύνολο με τον προσδιορισμό που του αντιστοιχεί (low, mid, high) ενώ η διακύμανση του εύρους ήταν μεταξύ χαμηλότερης και υψηλότερης τιμής.

Όσο αφορά στον τύπο της συνάρτησης επιλέγουμε αυτή που επιθυμούμε καθώς επίσης μπορούμε να ρυθμίσουμε και τις παραμέτρους (params) των αντίστοιχων συναρτήσεων.

Η παραπάνω διαδικασία ακολουθήθηκε μόνο για τις μεταβλητές θερμοκρασία και υγρασία επιλέγοντας ως τύπο συνάρτησης την τριγωνική (trimf), διατηρώντας κάθε φορά τις προτεινόμενες παραμέτρους, με την προτεινόμενη επικάλυψη. Αφού τις καταγράψαμε τις παραμέτρους των αντίστοιχων συναρτήσεων μεταβαίνουμε στο Command Window του Matlab και με τις παρακάτω εντολές βρίσκουμε τους βαθμούς μέλους των δασαρχείων στα τρία λεκτικά:

```
name_low= trimf(name,[params])  
name_mid= trimf(name,[params])  
name_high= trimf(name,[params])
```

Στη μεταβλητή καμένη έκταση επιλέχθηκε η τραπεζοειδής συνάρτηση (trapmf) αλλά οι παράμετροι καθορίστηκαν με βάση τον τρόπο υπολογισμού που αναφέρθηκε προηγουμένως και η επικάλυψη ορίστηκε από το χρήστη. Οι εντολές που πληκτρολογήθηκαν στο Command Window ήταν:

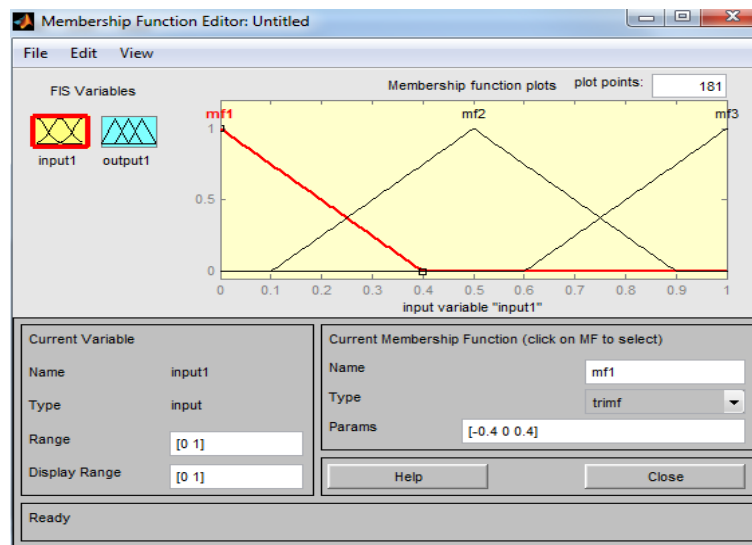
```
name_low= trapmf(name,[params])
```

```
name_high = trapmf (name,[params])
```

```
name_morehigh = trapmf (name,[params])
```

```
name_mosthigh= trapmf (name,[params])
```

Τέλος μεταφέρουμε στο Excel τους βαθμούς μέλους που προέκυψαν από την εκτέλεση των παραπάνω εντολών των δασαρχείων που μελετήθηκαν. Αυτό ήταν το σκεπτικό το οποίο ακολουθήθηκε καθ' όλη την πορεία της εργασίας.

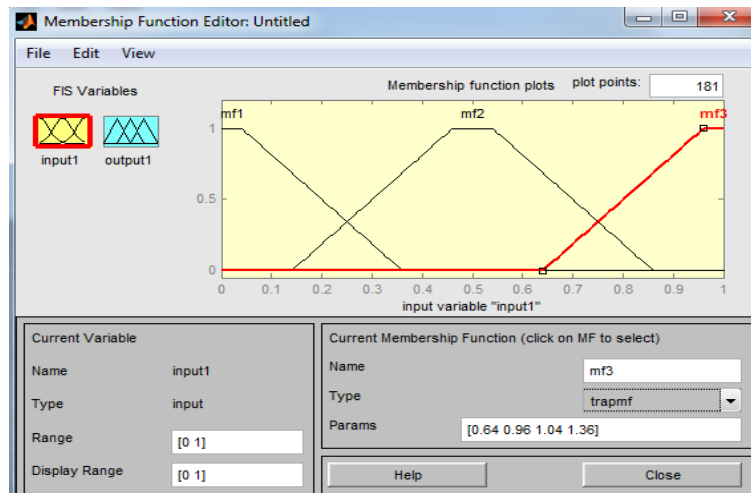


Εικόνα 8: Τριγωνική συνάρτηση μέλους

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x \geq c \end{cases}$$

Συνάρτηση 1 Ορισμός τριγωνικής συνάρτησης βαθμού μέλους

Στην τριγωνική συνάρτηση βαθμού μέλους Ασαφών Συνόλων όπως φαίνεται από την Εικόνα 2, σε ένα μόνο σημείο ($x=b$) αντιστοιχεί βαθμός μέλους ίσο με 1 (Kecman, 2001, Ηλιάδης, 2007).



Εικόνα 3: Τραπεζοειδής συνάρτηση μέλους

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x \geq d \end{cases}$$

Συνάρτηση 2 Ορισμός τραπεζοειδούς συνάρτησης βαθμού μέλους

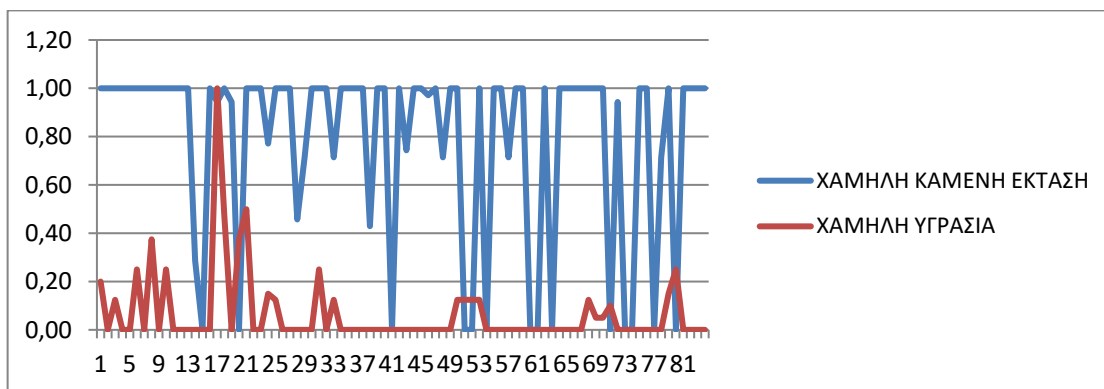
Στην τραπεζοειδή συνάρτηση υπάρχει ένα διάστημα ανοχής $[b,c]$, όπου ο βαθμός μέλους, για κάθε μεταβλητή που ανήκει στο διάστημα αυτό, είναι ίσος με τη μονάδα (Ηλιάδης, 2007, Cox, 2005, Iliadis – Spartalis, 2005, Kecman, 2001, Leondes, 1998).

Στη συνέχεια βρήκαμε σε κάθε περιστατικό δασικής πυρκαγιάς τα κατάλληλα λεκτικά που προσδιόριζαν τις μετεωρολογικές συνθήκες αλλά και την καμένη έκταση. Έτσι έχοντας ένα σύνολο Λεκτικών να χαρακτηρίζουν κάθε περιστατικό πυρκαγιάς, προσπαθήσαμε να καταδείξουμε τη σχέση της καμένης έκτασης με αυτή της υγρασίας. Τα αποτελέσματα αποτυπώθηκαν χρησιμοποιώντας διαγράμματα τύπου γραμμής 2-Δ με τη βοήθεια του Excel. Πραγματοποιήσαμε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς (χαμηλή - χαμηλή, χαμηλή - μεσαία, χαμηλή - υψηλή, υψηλή - χαμηλή, υψηλή - μεσαία, υψηλή -



υψηλή, πολύ υψηλή - χαμηλή, πολύ υψηλή - μεσαία, πολύ υψηλή - υψηλή, ύψιστη - χαμηλή, ύψιστη - μεσαία, ύψιστη - υψηλή).

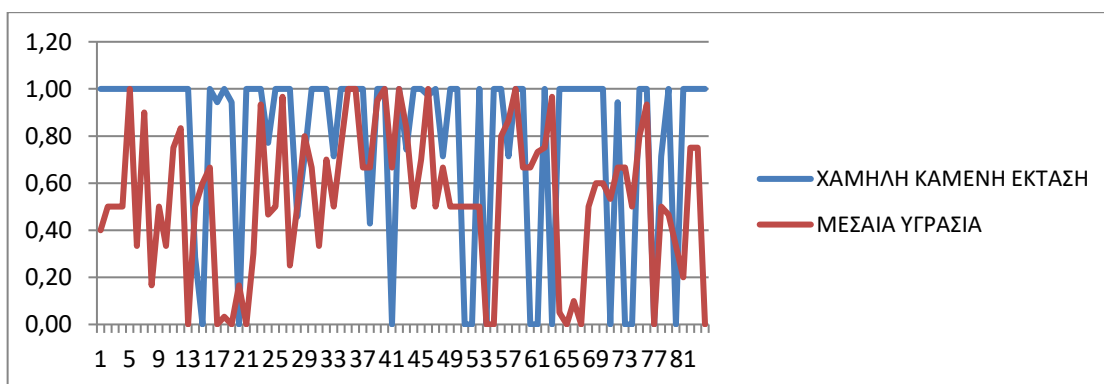
Υπήρξαν περιπτώσεις όπου το cluster της πολύ υψηλής καμένης έκτασης δεν περιείχε κάποια τιμή. Αυτό συνέβη διότι υπήρξαν ελάχιστες ακραίες τιμές (1-2 ύψιστες, που απείχαν κατά πολύ από τη γενική εικόνα της περιοχής), όπου αύξησαν την τυπική απόκλιση και συνεπώς τα όρια που καθορίστηκαν.



Διάγραμμα 1. Σχέση χαμηλής υγρασίας και χαμηλής καμένης έκτασης

Από το Διάγραμμα 1 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

- Τα περισσότερα περιστατικά πυρκαγιών μάς έδωσαν χαμηλή καμένη έκταση.
- Στις περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι χαμηλή, η υγρασία είναι χαμηλή έως μεσαία και σε λίγα περιστατικά υψηλή.
- Σε περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι μη χαμηλή (υψηλή έως ύψιστη), παρατηρούμε ότι σε λίγες περιπτώσεις η υγρασία είναι χαμηλή και στις περισσότερες μεσαία έως υψηλή.

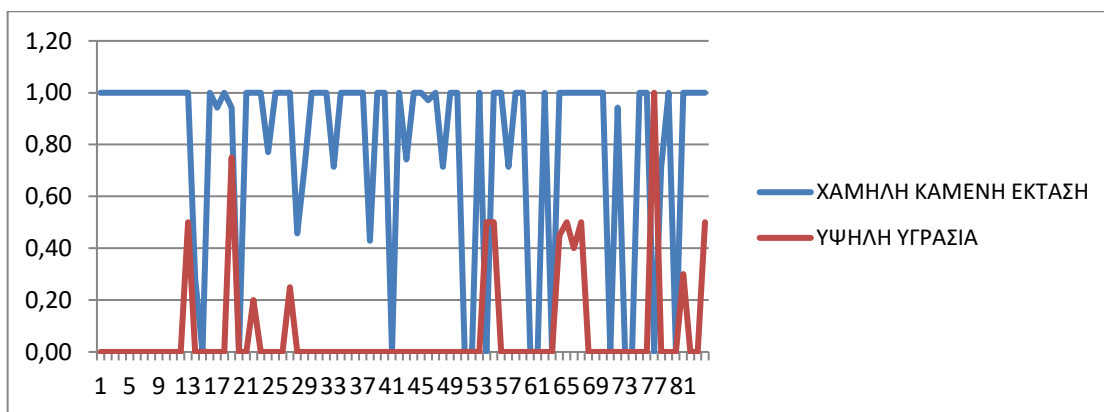


Διάγραμμα 2. Σχέση μεσαίας υγρασίας και χαμηλής καμένης έκτασης



Από το Διάγραμμα 2 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

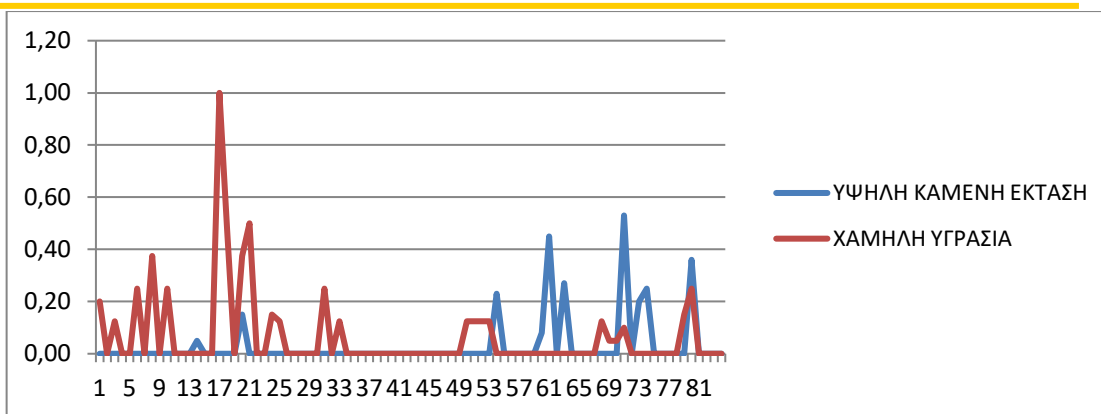
- Τα περισσότερα περιστατικά πυρκαγιών μάς έδωσαν χαμηλή καμένη έκταση.
- Στις περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι χαμηλή, η υγρασία ανήκει κυρίως στη μεσαία κλάση ενώ υπάρχουν λίγες περιπτώσεις όπου ανήκουν είτε στη χαμηλή είτε στην υψηλή υγρασία.
- Σε περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι μη χαμηλή (υψηλή έως ύψιστη), παρατηρούμε ότι η υγρασία ανήκει κυρίως στη μεσαία κλάση.



Διάγραμμα 3. Σχέση υψηλής υγρασίας και χαμηλής καμένης έκτασης

Από το Διάγραμμα 3 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

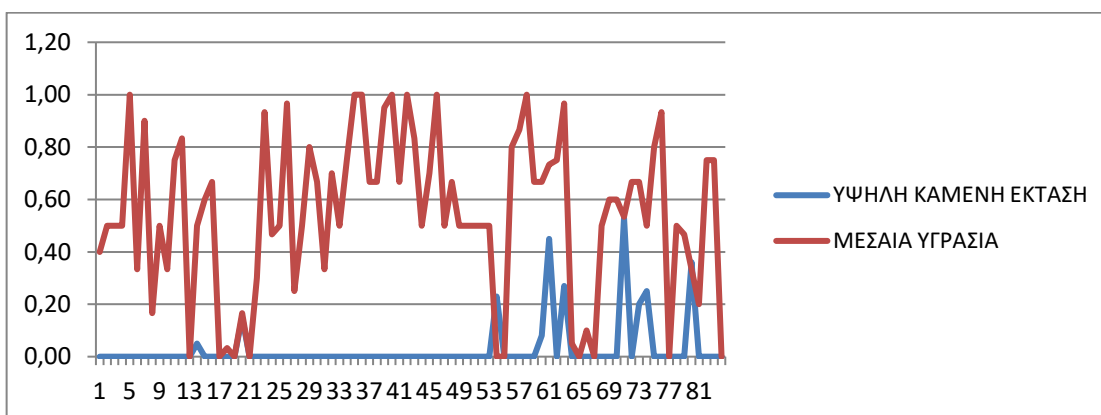
- Τα περισσότερα περιστατικά πυρκαγιών μάς έδωσαν χαμηλή καμένη έκταση.
- Στις περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι χαμηλή, η υγρασία δεν είναι υψηλή (οπότε προφανώς κατατάσσεται μεταξύ χαμηλής- μεσαίας κλάσης υγρασίας).
- Σε περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι μη χαμηλή (υψηλή έως ύψιστη), παρατηρούμε ότι η υγρασία στις περισσότερες περιπτώσεις είναι μεσαία με υψηλή.



Διάγραμμα 4. Σχέση χαμηλής υγρασίας και υψηλής καμένης έκτασης

Από το Διάγραμμα 4 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

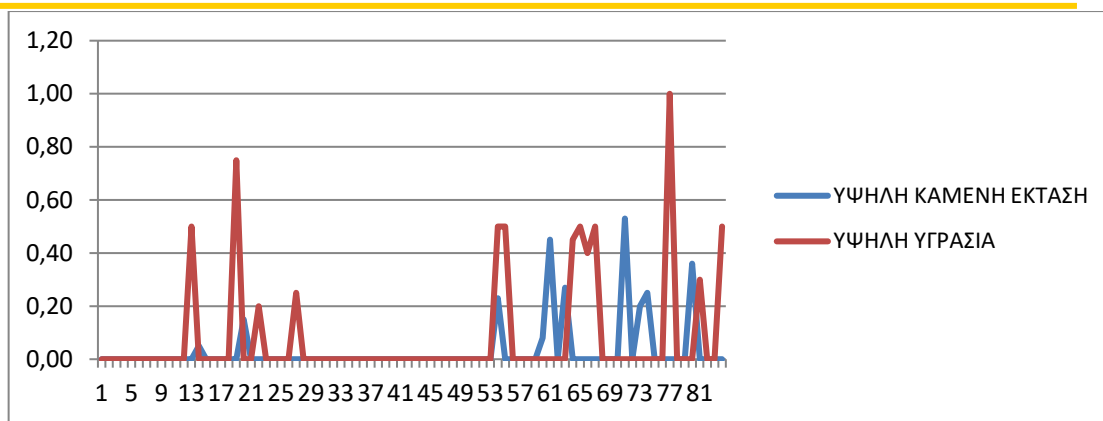
- Τα περιστατικά με υψηλή καμένη έκταση δεν είναι πολλά.
- Σε 8 περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι υψηλή, η υγρασία είναι χαμηλή με κάποιο βαθμό μέλους σε 3 από αυτές. Στις υπόλοιπες 5, η υγρασία προφανώς είναι μεσαία έως υψηλή.
- Σε περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι μη υψηλή, υπάρχουν αρκετά περιστατικά όπου η υγρασία είναι χαμηλή και αρκετά που δεν είναι χαμηλή.



Διάγραμμα 5. Σχέση μεσαίας υγρασίας και υψηλής καμένης έκτασης

Από το Διάγραμμα 5 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

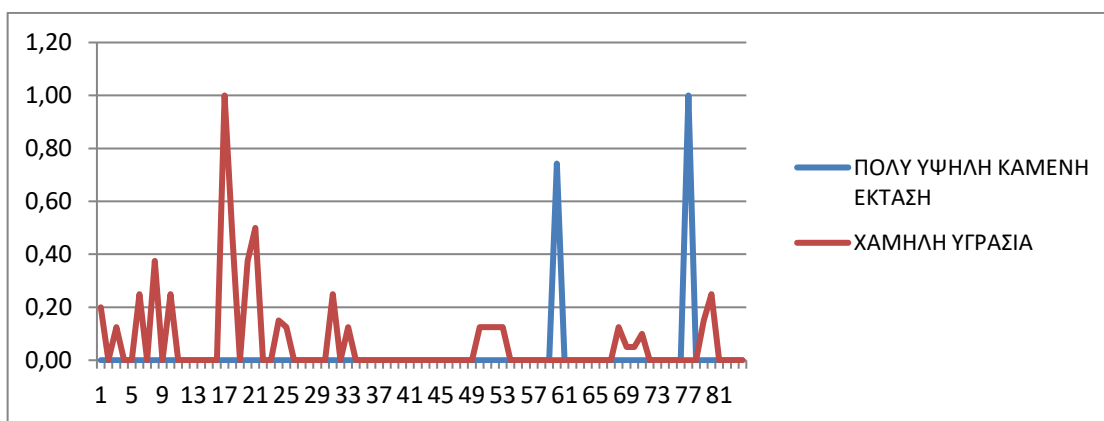
- Τα περιστατικά με υψηλή καμένη έκταση δεν είναι πολλά.
- Σε 8 περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι υψηλή, η υγρασία εμφανίζει βαθμό μέλους στη μεσαία κλάση και στις 8.
- Σε περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι μη υψηλή, η υγρασία στα περισσότερα περιστατικά ανήκει στη μεσαία κλάση με κάποιο βαθμό μέλους.



Διάγραμμα 6. Σχέση υψηλής υγρασίας και υψηλής καμένης έκτασης

Από το Διάγραμμα 6 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

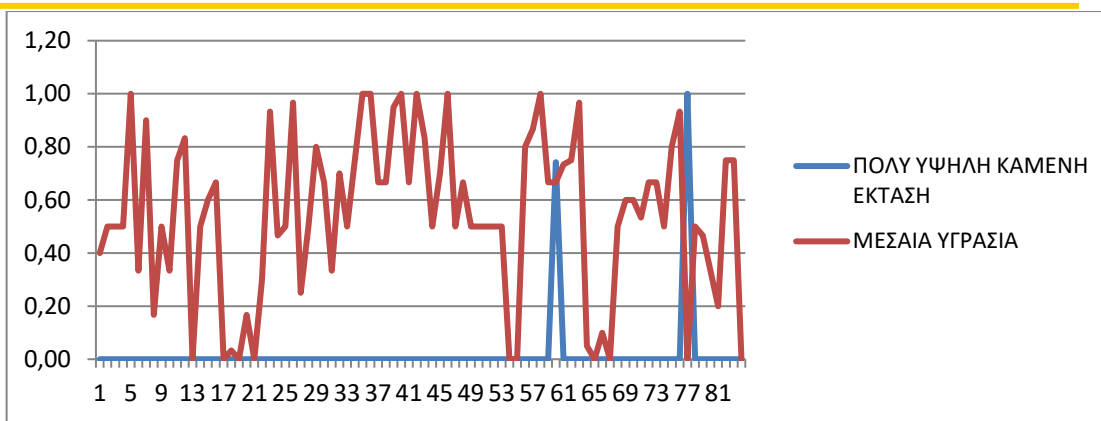
- Τα περιστατικά με υψηλή καμένη έκταση δεν είναι πολλά.
- Σε 8 περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι υψηλή, η υγρασία εμφανίζει βαθμό μέλους στην υψηλή κλάση στις 5 από αυτές. Στις υπόλοιπες 3, η υγρασία προφανώς είναι χαμηλή έως μεσαία.
- Σε περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι μη υψηλή, η υγρασία είναι υψηλή σε λίγα μόνο περιστατικά, ενώ στα περισσότερα προφανώς ανήκει στην κλάση χαμηλή-μεσαία.



Διάγραμμα 7. Σχέση χαμηλής υγρασίας και πολύ υψηλής καμένης έκτασης

Από το Διάγραμμα 7 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

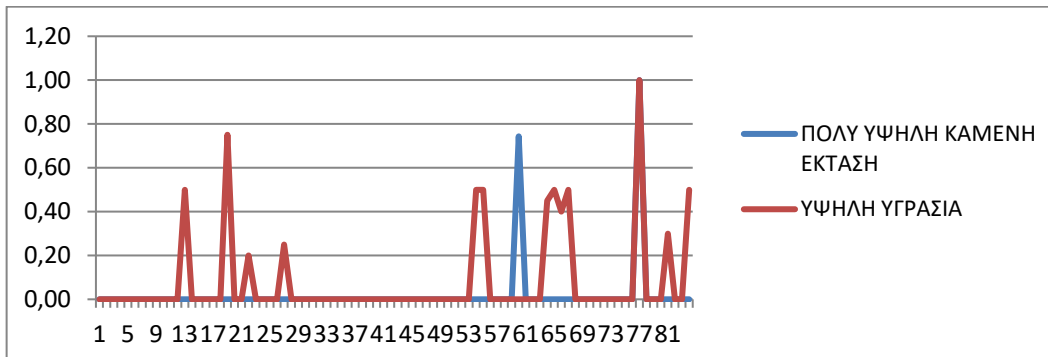
- Τα περιστατικά με πολύ υψηλή καμένη έκταση δεν είναι πολλά.
- Σε 2 περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι πολύ υψηλή, η υγρασία δεν εμφανίζει βαθμό μέλους στη χαμηλή κλάση.
- Σε περιπτώσεις όπου δεν έχω πολύ υψηλή καμένη έκταση, έχω αρκετά περιστατικά όπου η υγρασία είναι χαμηλή και αρκετά που δεν είναι χαμηλή.



Διάγραμμα 8. Σχέση μεσαίας υγρασίας και πολύ υψηλής καμένης έκτασης

Από το διάγραμμα 8 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

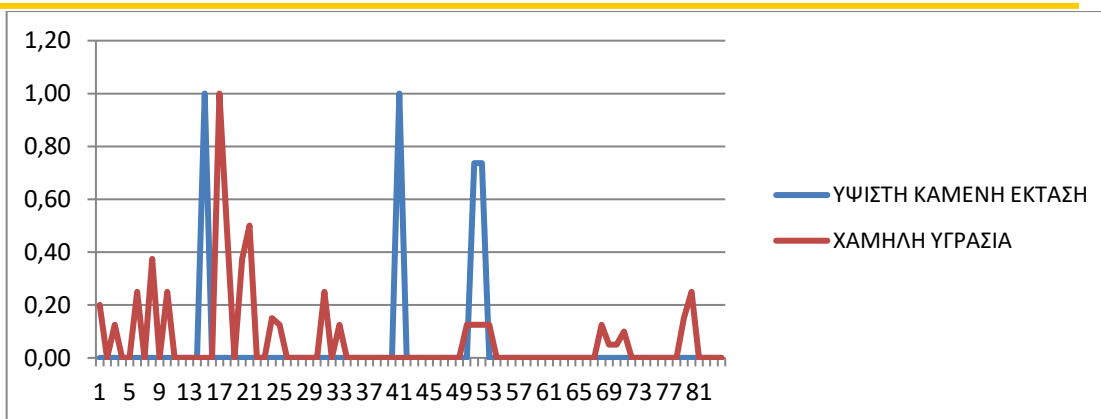
- Τα περιστατικά με πολύ υψηλή καμένη έκταση δεν είναι πολλά.
- Σε 2 περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι πολύ υψηλή, η υγρασία εμφανίζει βαθμό μέλους στην μεσαία κλάση σε 1 περίπτωση. Η άλλη περίπτωση ανήκει προφανώς στη χαμηλή ή στην υψηλή υγρασία.
- Σε περιπτώσεις όπου δεν έχω πολύ υψηλή καμένη έκταση, τα περισσότερα περιστατικά ανήκουν στην μεσαία κλάση υγρασίας με κάποιο βαθμό μέλους.



Διάγραμμα 9. Σχέση υψηλής υγρασίας και πολύ υψηλής καμένης έκτασης

Από το Διάγραμμα 9 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

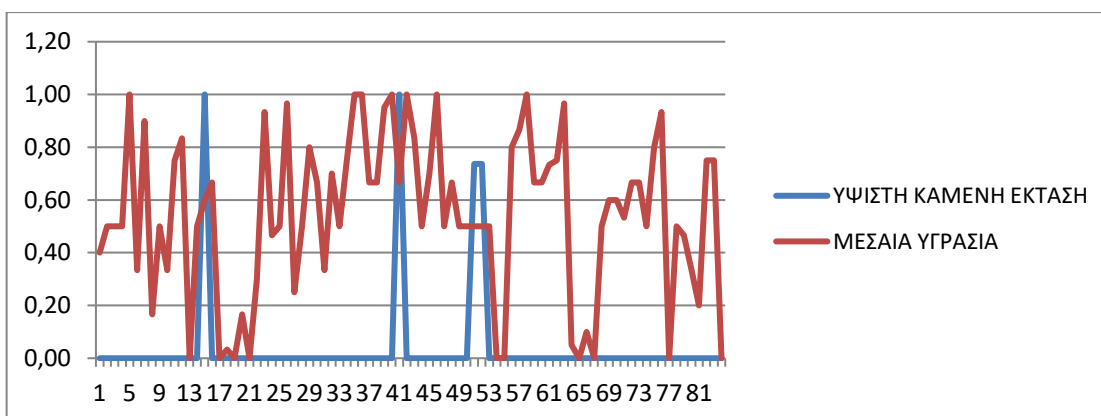
- Τα περιστατικά με πολύ υψηλή καμένη έκταση δεν είναι πολλά.
- Σε 2 περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι πολύ υψηλή, η υγρασία εμφανίζει βαθμό μέλους στην υψηλή κλάση σε 1 περίπτωση. Η άλλη περίπτωση ανήκει προφανώς στη χαμηλή ή στη μεσαία υγρασία.
- Σε περιπτώσεις όπου δεν έχω πολύ υψηλή καμένη έκταση, έχω αρκετά περιστατικά όπου η υγρασία είναι υψηλή και αρκετά που δεν είναι υψηλή.



Διάγραμμα 10. Σχέση χαμηλής υγρασίας και ύψιστης καμένης έκτασης

Από το Διάγραμμα 10 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

- Τα περιστατικά με ύψιστη καμένη έκταση δεν είναι πολλά.
- Σε 4 περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι ύψιστη, η υγρασία είναι χαμηλή με ένα μικρό βαθμό μέλους σε 2 από αυτές. Στις άλλες 2 περιπτώσεις έχω προφανώς μεσαία ή υψηλή υγρασία.
- Στις περιπτώσεις όπου δεν έχω ύψιστη καμένη έκταση (άρα χαμηλή έως πολύ υψηλή), έχω αρκετά περιστατικά όπου έχουν χαμηλή υγρασία με κάποιο βαθμό μέλους και μερικά όπου η υγρασία είναι μεσαία-μεγάλη.



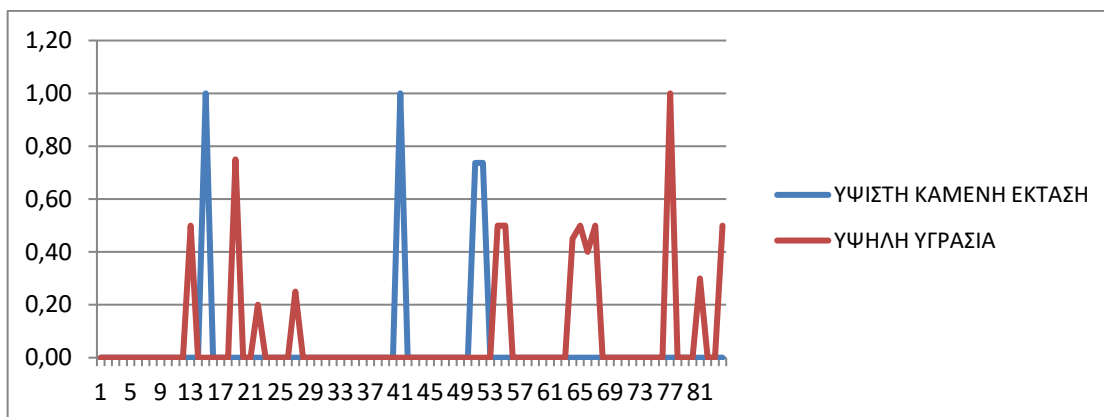
Διάγραμμα 11. Σχέση μεσαίας υγρασίας και ύψιστης καμένης έκτασης

Από το Διάγραμμα 11 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

- Τα περιστατικά με ύψιστη καμένη έκταση δεν είναι πολλά.
- Σε 4 περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι ύψιστη, η υγρασία υπάγεται στη μεσαία κλάση με κάποιο βαθμό μέλους και στις 4 περιπτώσεις.



- Στις περιπτώσεις όπου δεν έχω ύψιστη καμένη έκταση (άρα χαμηλή έως πολύ υψηλή), τα περισσότερα περιστατικά ανήκουν στη μεσαία κλάση της υγρασίας με κάποιο βαθμό μέλους.



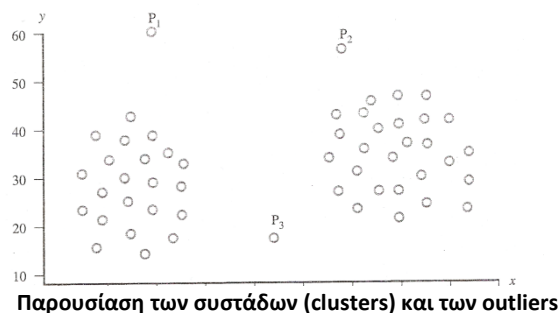
Διάγραμμα 12. Σχέση υψηλής υγρασίας και ύψιστης καμένης έκτασης

Από το Διάγραμμα 12 μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

- Τα περιστατικά με ύψιστη καμένη έκταση δεν είναι πολλά.
- Σε 4 περιπτώσεις όπου η καμένη έκταση είναι ύψιστη, σε καμιά περίπτωση δεν εμφανίζεται υψηλή υγρασία.
- Στις περιπτώσεις όπου δεν έχω ύψιστη καμένη έκταση (άρα χαμηλή έως πολύ υψηλή), έχω μερικά περιστατικά όπου η υγρασία είναι υψηλή και αρκετά που δεν είναι.

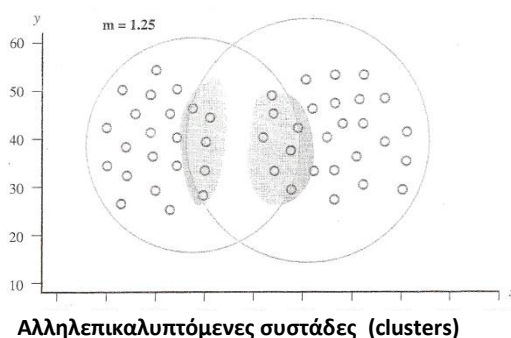
Για όλους τους παραπάνω συνδυασμούς που αναφέρθηκαν με τη χρήση του Matlab εφαρμόσαμε στη συνέχεια ΑΣΑΦΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΑΔΩΝ C-ΜΕΣΩΝ (fuzzy c-means clustering)- (FCM).

Ο όρος ανάλυση συστάδων (cluster analysis) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Tryon το 1939 (Cox, 2005) και περιλαμβάνει μια ποικιλία από αλγοριθμικές προσεγγίσεις, οι οποίες παρουσιάζουν ομάδες περιπτώσεων σε ποικίλα συμπλέγματα βασιζόμενα σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και παραμέτρους. Βλέποντας την Εικόνα 3 καταλαβαίνουμε ότι υπάρχουν περιπτώσεις όπου ένα σημείο δεν ανήκει σε κάποιο cluster τα οποία είναι τα λεγόμενα outliers (P1, P2, P3) (Iliadis, et al. ,2010).



Στον πραγματικό κόσμο όμως σπάνια εμφανίζεται το παραπάνω φαινόμενο. Συνήθως τα όρια είναι δύσκολο να αποσαφηνιστούν. Τα περισσότερα μοντέλα ομαδοποίησης που υπάρχουν εμφανίζουν δυσκολίες στο χειρισμό των outliers εν αντιθέσει με την ασαφή αλγοριθμική ομαδοποίηση (fuzzy clustering algorithms, FCA) που αποδίδει ένα βαθμό μέλους σε κάθε σημείο ενός cluster που εμφανίζεται, ο οποίος φυσικά είναι διαφορετικός. Αυτό προσφέρει μεγάλη ευελιξία στην προσπάθεια ομαδοποίησης δεδομένων (Iliadis, et al., 2010).

Μια γνωστή ασαφής αλγοριθμική προσέγγιση είναι η Ασαφής Ανάλυση Συστάδων (fuzzy c-means) η οποία δημιουργήθηκε από τον Jim Bezdek (Cox, 2005). Είναι μια τεχνική ομαδοποίησης, όπου ένα σύνολο δεδομένων ομαδοποιείται σε χ συστάδες με κάθε δεδομένο να ανήκει σε κάθε συστάδα με ένα ορισμένο, διαφορετικό βαθμό μέλους. Για παράδειγμα ένα ορισμένο σημείο το οποίο βρίσκεται κοντά στο κέντρο μιας συστάδας θα έχει μεγάλο βαθμό μέλους, ενώ ένα άλλο σημείο το οποίο βρίσκεται μακριά από το κέντρο θα έχει μικρότερο βαθμό μέλους σε αυτήν. Ο βαθμός μέλους κυμαίνεται από 0 μέχρι 1 [0,1] (1 όταν βρίσκεται στο κέντρο της συστάδας και 0 όταν βρίσκεται στα όριά της. Υπάρχει η περίπτωση να έχουμε συστάδες με αλληλοεπικάλυψη και συνεπώς κάποια σημεία να ανήκουν σε περισσότερες από μία, με βαθμούς μέλους μ_1 και μ_2 . Ισχύει ότι $\mu_1 + \mu_2 = 1$ (mathworks.com).





Ο αλγόριθμος ξεκινάει με μια αρχική πρόβλεψη για το που βρίσκονται τα κέντρα των συμπλεγμάτων, τα οποία προορίζονται να σημαδέψουν την κεντρική θέση σε κάθε σύμπλεγμα. Η αρχική πρόβλεψη για κάθε κέντρο συμπλέγματος είναι κατά πάσα πιθανότητα λανθασμένη. Στο επόμενο βήμα αποδίδει για κάθε δεδομένο ένα βαθμό μέλους για κάθε συστάδα. Με επαναληπτικές ανανεώσεις των κέντρων και των βαθμών μέλους, ο αλγόριθμος επαναληπτικά μετακινεί τα κέντρα των συστάδων στη σωστή θέση. Αυτή η επανάληψη βασίζεται στην ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης (objective function) που αντιπροσωπεύει την Ευκλείδεια απόσταση ενός οποιουδήποτε δεδομένου από το κέντρο του συμπλέγματος συνοδευόμενο από το βαθμό μέλους του δεδομένου (mathworks.com).

Είναι προφανές ότι το πρόγραμμά μας περιλαμβάνει δυο κέντρα το οποίο αποτελεί καθαρά επιλογή του συγγραφέα. Είναι σημαντικό εδώ να αναφερθεί ότι διενεργήθηκε fuzzy c-means (FCM) για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς καμένης έκτασης – υγρασίας (χαμηλή - χαμηλή, χαμηλή - μεσαία, χαμηλή - υψηλή, υψηλή - χαμηλή, υψηλή - μεσαία, υψηλή - υψηλή, πολύ υψηλή - χαμηλή, πολύ υψηλή - μεσαία, πολύ υψηλή - υψηλή, ύψιστη - χαμηλή, ύψιστη - μεσαία, ύψιστη - υψηλή) για την υπό μελέτη περιοχή. Λόγο του μεγάλου όγκου των δεδομένων παρουσιάζονται τα ενδεικτικά τα αποτελέσματα μόνο για τη σχέση για χαμηλή καμένη έκταση - χαμηλή υγρασία.

1 ^ο κέντρο		0,971663	0,053929	
2 ^ο κέντρο		0,055464	0,068398	
Βαθμός μέλους στη χαμηλή καμένη έκταση	Βαθμός μέλους στη χαμηλή υγρασία	Βαθμός μέλους στη συστάδα του 1ου κέντρου	Βαθμός μέλους στη συστάδα του 2ου κέντρου	Ερμηνεία
1	0,2	0,976235	0,023765	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,13	0,992699	0,007301	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία



1	0,25	0,959303	0,040697	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,38	0,902291	0,097709	χαμηλή καμένη έκταση και χαμηλή υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,25	0,959303	0,040697	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
0,29	0	0,113199	0,886801	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,008122	0,991878	ύψιστη καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,94	1	0,648102	0,351898	χαμηλή καμένη έκταση και χαμηλή υγρασία
1	0,48	0,853414	0,146586	χαμηλή καμένη έκταση και χαμηλή υγρασία
0,94	0	0,995056	0,004944	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
0	0,38	0,087059	0,912941	υψηλή καμένη έκταση και χαμηλή υγρασία
1	0,5	0,843702	0,156298	χαμηλή καμένη έκταση και χαμηλή υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,77	0,15	0,912016	0,087984	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,13	0,992699	0,007301	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,46	0	0,388716	0,611284	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,71	0	0,858514	0,141486	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,25	0,959303	0,040697	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία



0,71	0,13	0,853388	0,146612	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,43	0	0,328501	0,671499	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,008122	0,991878	ύψιστη καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,74	0	0,893221	0,106779	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,97	0	0,996551	0,003449	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,71	0	0,858514	0,141486	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,13	0,992699	0,007301	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0,13	0,007181	0,992819	ύψιστη καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0,13	0,007181	0,992819	ύψιστη καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,13	0,992699	0,007301	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,008122	0,991878	υψηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,71	0	0,858514	0,141486	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία



0	0	0,008122	0,991878	πολύ υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,008122	0,991878	υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,008122	0,991878	υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0,13	0,992699	0,007301	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,05	0,999084	0,000916	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,05	0,999084	0,000916	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0,1	0,004288	0,995712	υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0,94	0	0,995056	0,004944	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,008122	0,991878	υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,008122	0,991878	υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0	0,008122	0,991878	πολύ υψηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
0,71	0	0,858514	0,141486	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0,15	0,988961	0,011039	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
0	0,25	0,035396	0,964604	υψηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και μεσαία υγρασία
1	0	0,995879	0,004121	χαμηλή καμένη έκταση και υψηλή υγρασία



Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα ότι ανάλογα των συνθηκών η περιοχή μελέτης έχει από μέτρια έως υψηλή επικινδυνότητα για εκδήλωση πυρκαγιών. Για τον γεωγραφικό προσδιορισμό των πιθανών θέσεων εκδήλωσης πυρκαγιάς χρησιμοποιήσαμε τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

6.2 Μοντελοποίηση κινδύνου πυρκαγιών με G.I.S..

Υπάρχει μια ποικιλία παραγόντων που επηρεάζουν την ανάφλεξη και τη διάδοση της φωτιάς. Η παρούσα μελέτη, ωστόσο, επικεντρώνεται σε τέσσερις ομάδες παραμέτρων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά πυρκαγιάς: (i) Τύπος καύσιμης ύλης όπως βλάστηση και πυκνότητα β (ii) Τοπογραφία όπως, κλίση και υψόμετρο. (iii) Μετεωρολογικές συνθήκες όπως, ταχύτητα ανέμου και (iv) εγγύτητα σε δρόμους και κατοικημένες περιοχές.

Τύπος καύσιμης ύλης.

Ο τύπος και η πυκνότητα της βλάστησης αντιπροσωπεύουν το συνολικό διαθέσιμο καύσιμο για τη φωτιά. Έτσι είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη διάδοση της φωτιάς (Emilio and Russell, 1989). Η ανάφλεξη της φωτιάς εξαρτάται από την αναφλεξιμότητα του καυσίμου. Παρόλο που τα φυλλοβόλα δάση περιέχουν μεγάλες ποσότητες βιομάζας, δεν είναι τόσο επιρρεπή σε πυρκαγιά όσο τα κωνοφόρα δάση. Αυτό συμβαίνει επειδή η βιομάζα του τελευταίου αποτελείται από εύφλεκτα χημικά (Yousif, Mutumwa and Narangeral, 2008).

Τοπογραφία

Η τοπογραφία στην περιοχή κάθε πυρκαγιάς έχει μεγάλη σημασία για τη συμπεριφορά της. Τα τοπογραφικά στοιχεία που έχουν ιδιαίτερη σημασία για την πυρκαγιά είναι η κλίση του εδάφους, η έκθεση της πλαγιάς, το υψόμετρο και ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά της τοπογραφίας όπως φαράγγια, διάσελα, και κορυφογραμμές. Η επίδρασή της τοπογραφίας στην πυρκαγιά είναι τόσο άμεση όσο και έμμεση. Η πυρκαγιά κατά κανόνα εξαπλώνεται προς τα υψηλότερα μέρη κάθε πλαγιάς, εκτός εάν υπάρχει ισχυρός αντίθετος άνεμος. Η



ταχύτητα εξάπλωσής της είναι μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση. Σε ελαφριά καύσιμα (πχ. χόρτα) όταν ο άνεμος φυσάει κατά τη φορά της κλίσης η ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς μπορεί να είναι απίστευτα μεγάλη. Η κλίση επηρεάζει άμεσα τη συμπεριφορά της φωτιάς με δύο τρόπους:

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

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



περιπτώσεις καθορίζουν τον τύπο και τα χαρακτηριστικά της βλάστησης. Γενικά στις βόρειες πλαγιές η βλάστηση είναι περισσότερο πλούσια ενώ στις νότιες μπορεί να είναι αραιή και υποβαθμισμένη. Το υψόμετρο επηρεάζει τη θερμοκρασία του αέρα που κατά μέσο όρο μειώνεται κατά 1 βαθμό Κελσίου ανά 100 μ. υψομετρικής ανόδου. Το γεγονός αυτό, πέρα από την άμεση επίδρασή του στη φωτιά, επηρεάζει και τις συνθήκες ανάπτυξης των φυτών. Έτσι, το υψόμετρο είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη σύνθεση των φυτοκοινωνιών και επομένως και τα πυρικά τους χαρακτηριστικά. Η γενική τοπογραφική διαμόρφωση μιας περιοχής επηρεάζει έμμεσα αλλά σημαντικά τη συμπεριφορά της φωτιάς. Η μεταβολή κλίσεων, εκθέσεων και υψομέτρων έχουν βέβαια τα αποτελέσματα που προαναφέρθηκαν. Όμως, ιδιαίτερα σημαντική είναι η επίδραση των διάφορων τοπογραφικών στοιχείων στην ταχύτητα, την κατεύθυνση και τους στροβιλισμούς του ανέμου. Παραδείγματος χάρη, όταν ο άνεμος διέρχεται από ένα βαθύ και στενό φαράγγι η ταχύτητά του αυξάνεται εντυπωσιακά. Ακόμη, όταν ο κατεύθυνση του ανέμου τέμνει μια κορυφογραμμή και η ταχύτητά του είναι αρκετά μεγάλη στην πίσω πλευρά αυτής δημιουργούνται συχνά έντονοι στροβιλισμοί που μεταβάλλουν τη συμπεριφορά της φωτιάς σε σχέση με την αναμενόμενη. Ένα ιδιαίτερα σημαντικό τοπογραφικό στοιχείο που συχνά δημιουργεί ακραίες συνθήκες εξάπλωσης της φωτιάς είναι το κλειστό φαράγγι, δηλαδή το βαθύ φαράγγι που είναι κλειστό στο ένα άκρο του. Όταν υπάρχει αρκετή βλάστηση στις πλαγιές του φαραγγιού και μια πυρκαγιά εισέλθει στη βάση του η συμπεριφορά της μπορεί να αλλάξει δραματικά. Το φαράγγι μπορεί να λειτουργήσει σαν καμινάδα δημιουργώντας ισχυρό ρεύμα αέρα προς τα επάνω και τραβώντας την πυρκαγιά μέχρι την κορυφή του με εκπληκτικό ρυθμό. Στην ένταση του φαινομένου συντελεί η ύπαρξη ανέμου στην κορυφή του φαραγγιού και η ύπαρξη αστάθειας στην ατμόσφαιρα.

Μετεωρολογικά δεδομένα

Η ταχύτητα του ανέμου παρέχει περισσότερο οξυγόνο στο μέτωπο της φωτιάς και επηρεάζει το ρυθμό καύσης της πυκνότητας καυσίμου. Οι πολύ δυνατοί άνεμοι αυξάνουν το ρυθμό διάδοσης της φωτιάς και μετατοπίζουν τη φλόγα δημιουργώντας νέες πυρκαγιές (Rawat, 2003)

Εγγύτητα σε δρόμους και κατοικημένες περιοχές.



Η γεινίαση με δρόμους και κατοικημένες περιοχές αυξάνει τον κίνδυνο ανάφλεξης πυρκαγιάς. Η πλειονότητα των πυρκαγιών προκαλείται από ανθρώπους (Goncalves κ.λπ., 2008), πράγμα που σημαίνει ότι το οδικό δίκτυο σε δασικές εκτάσεις πρέπει να είναι πολύ καλά σχεδιασμένο και να βασίζεται επίσης στα χαρακτηριστικά του τοπίου και του δάσους.

Στη συνέχεια τα παραπάνω δεδομένα ενσωματώθηκαν στο GIS. Κάθε εξεταζόμενη παράμετρος εκφράστηκε ως ξεχωριστό επίπεδο δεδομένων πληροφοριών. Οι χάρτες κινδύνου πυρκαγιάς δημιουργήθηκαν σύμφωνα με τον ατομικό αντίκτυπο κάθε παράγοντα στη συμπεριφορά πυρκαγιάς. Η γενική μεθοδολογία φαίνεται στο σχήμα



Όλοι οι παράγοντες χωρίζονται σε πέντε υποκατηγορίες σύμφωνα με τον αντίστοιχο δυνητικό κίνδυνο πυρκαγιάς που τους περιγράφει: 1) πολύ υψηλή, 2) υψηλή, 3) μεσαία, 4) χαμηλή και πολύ χαμηλή. Οι συντελεστές για αυτές τις ομάδες ήταν 5, 4, 3, 2 και 1 αντίστοιχα. Η συγκεκριμένη ταξινόμηση ήταν ένας επιπλέον στόχος αυτής της μελέτης. Μέσω της ταξινόμησης μπορούν να παρέχονται περισσότερες σε βάθος πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά των θεματικών επιπέδων. Είναι ένας τύπος αναπαράστασης που προσθέτει στη χωρική παρουσίαση πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με τα δεδομένα που αντιπροσωπεύουν. Το κύριο σχήμα ταξινόμησης που εφαρμόστηκε για καλύτερη εμφάνιση δεδομένων ήταν η ταξινόμηση Natural Brakes του



λογισμικού ArcMap. Η ταξινόμηση βασίζεται σε έναν πολύπλοκο αλγόριθμο (βελτιστοποίηση του Jenk). Μέσω αυτού, μια κλάση μπορεί να χωριστεί σε τιμές ομάδας, δημιουργώντας κλάσεις παρόμοιων τιμών. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν είναι κατάλληλη για την ταξινόμηση δεδομένων χαμηλής διακύμανσης όπως γραμμικά χαρακτηριστικά (π.χ. οδικό δίκτυο). Επομένως, όλα τα δεδομένα μετατράπηκαν από διανυσματική σε μορφή ράστερ προκειμένου να εκτελεστεί η Ανάλυση Επικάλυψης Βάρους χρησιμοποιώντας το εργαλείο Raster Calculator του ArcGIS. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει κατανομημένο κίνδυνο και στις πέντε κατηγορίες που αφορούν κάθε παράγοντα.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΒΑΡΥΤΗΤΑ	ΚΛΑΣΗΣ	ΤΙΜΕΣ	ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ
Τύπος Βλάστης	37	Κωνοφόρα	5	Πολύ Υψηλή
		Μικτό δάσος	4	Υψηλή
		Φυλλοβόλα	3	Μεσαία
		Θαμνότοποι	2	Χαμηλή
		Γυμνή Γη	1	Πολύ Χαμηλή
Πυκνότητα Βλάστησης	37	Δάσος	5	Πολύ Υψηλή
		Μερικώς Δασοσκεπής	4	Υψηλή
		Θαμνότοποι	3	Μεσαία
		Αγροτική Γη	2	Χαμηλή
		Γυμνή Γη	1	Πολύ Χαμηλή
Κλίση	12.3	35-75%	5	Πολύ Υψηλή
		25-35%	4	Υψηλή
		10-25%	3	Μεσαία
		5-10%	2	Χαμηλή
		0-5%	1	Πολύ Χαμηλή
Έκθεση	12.3	Νότος	5	Πολύ Υψηλή
		Δυτικά	4	Υψηλή
		Ανατολή	3	Μεσαία
		Βοράς	2	Χαμηλή
		Επίπεδο	1	Πολύ Χαμηλή
Υψόμετρο	1.66	< 300	5	Πολύ Υψηλή
		300-400	4	Υψηλή
		400-500	3	Μεσαία



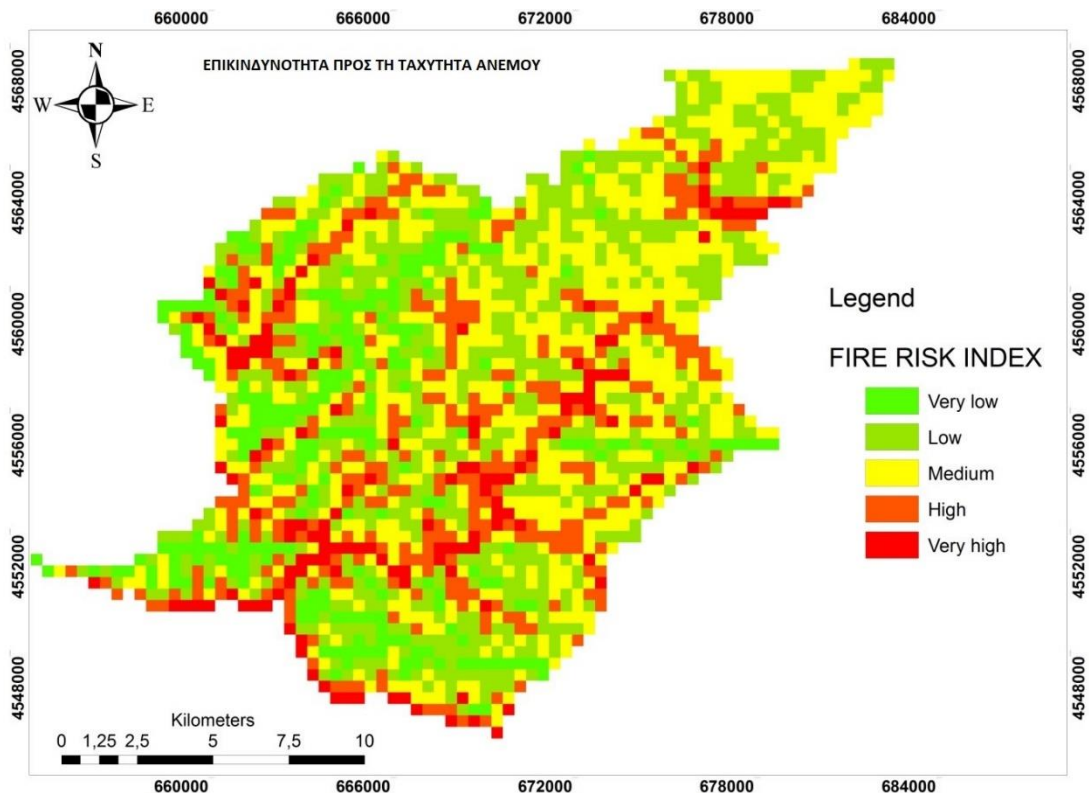
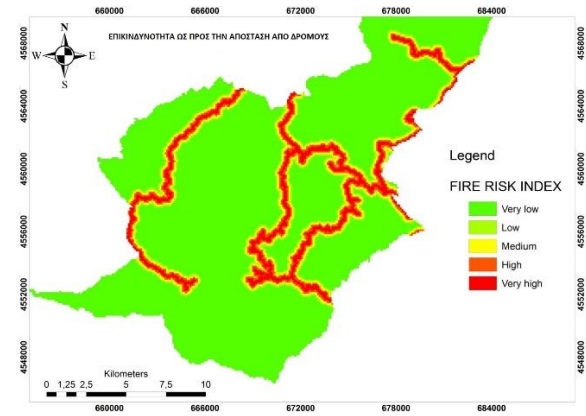
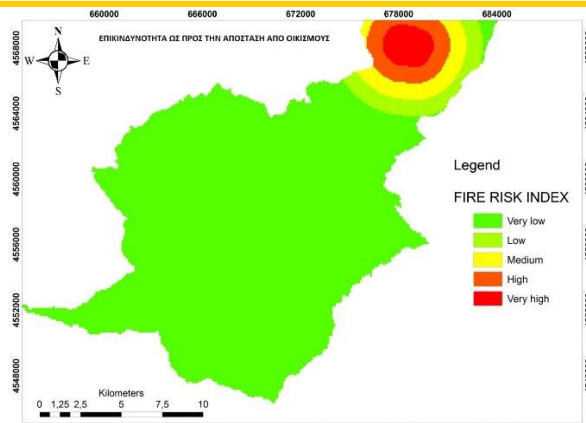
500-700	2	Χαμηλή
700-1060	1	Πολύ Χαμηλή

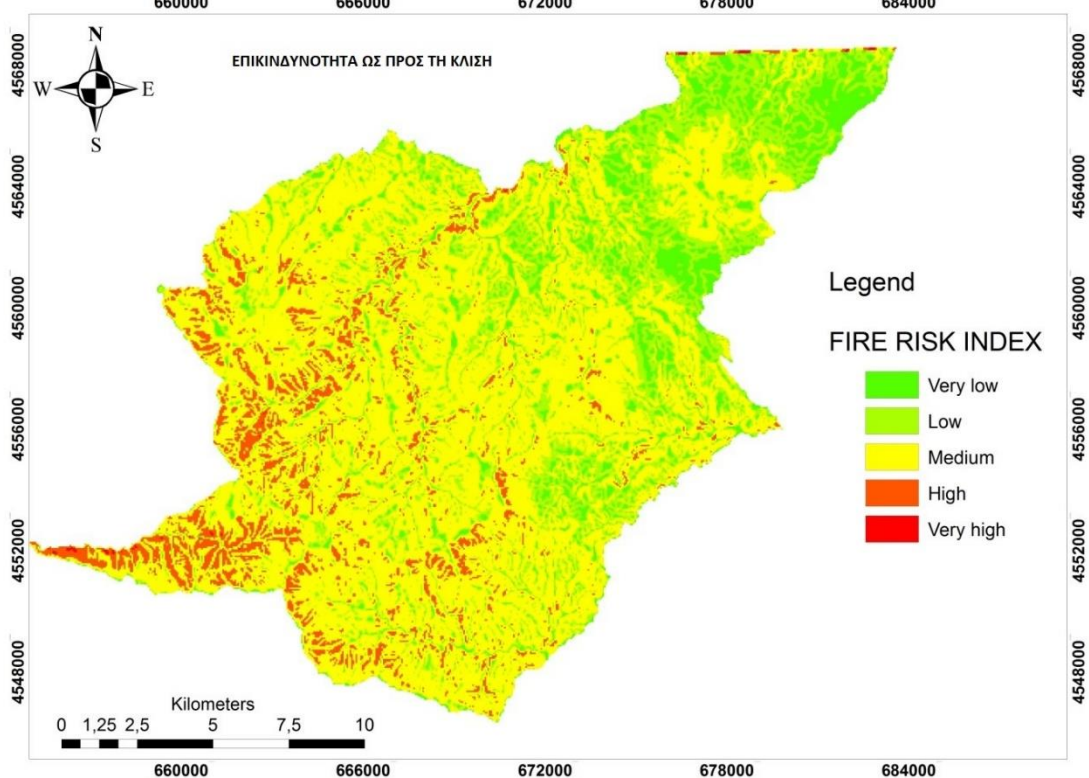
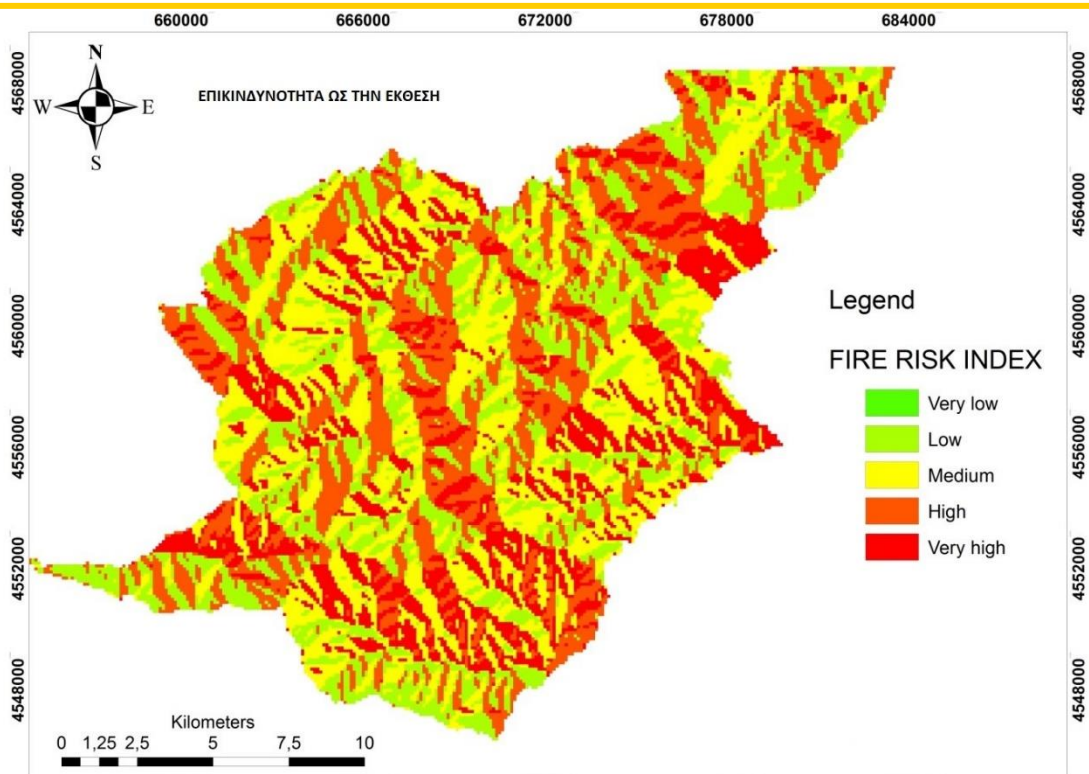
Ταχύτητα ανέμου	1.66	6,65 – 10,19	5	Πολύ Υψηλή
		5,57 – 6,65	4	Υψηλή
		4, 86 – 5,57	3	Μεσαία
		0 - 4,86	2	Χαμηλή
		0	1	Πολύ Χαμηλή

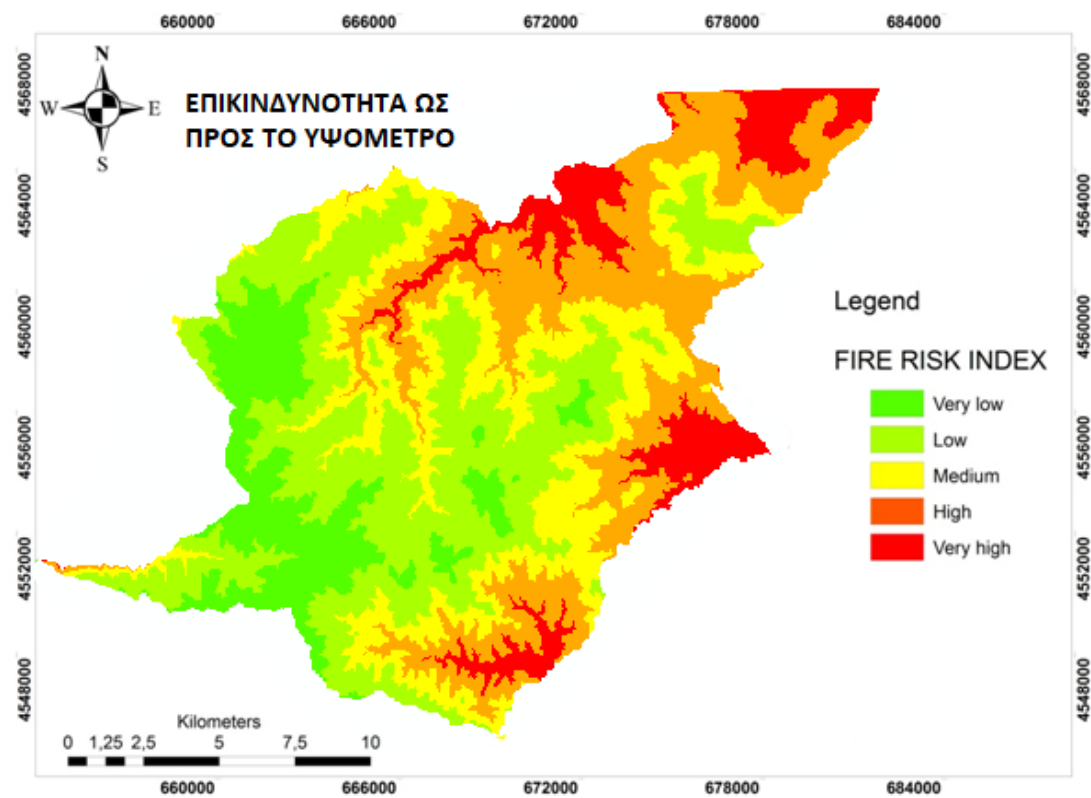
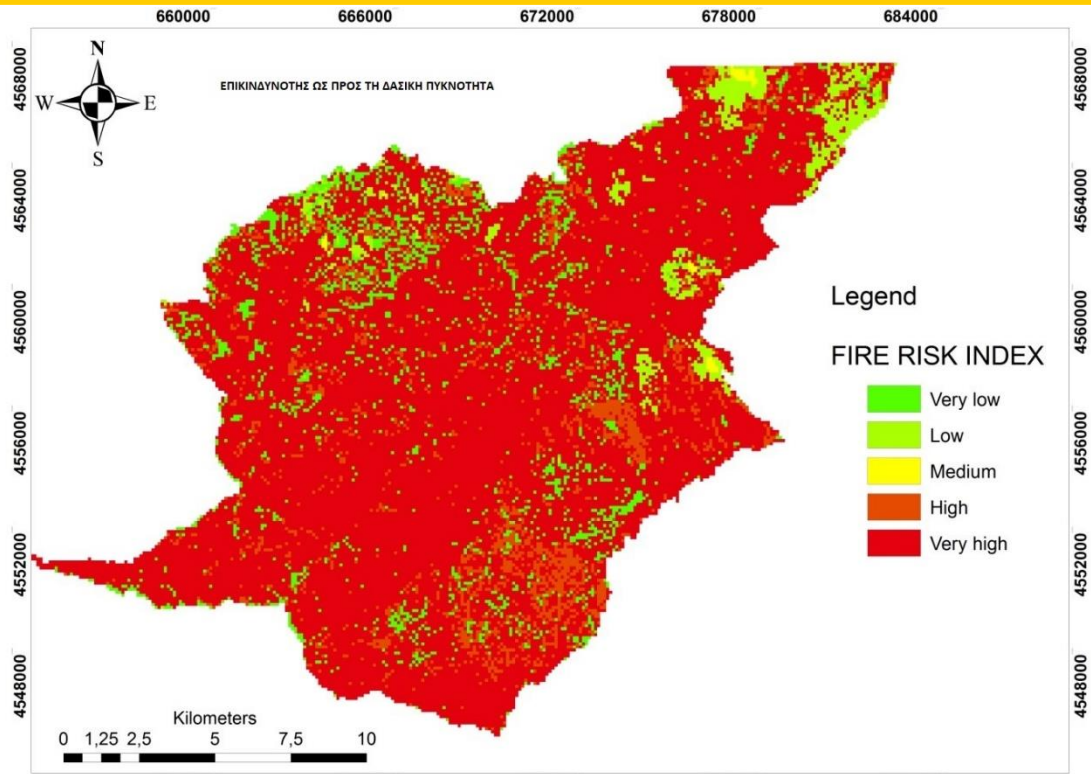
Απόσταση από Δρόμους	3	<100 m	5	Πολύ Υψηλή
		100-200 m	4	Υψηλή
		200-300 m	3	Μεσαία
		300-400 m	2	Χαμηλή
		>400 m	1	Πολύ Χαμηλή

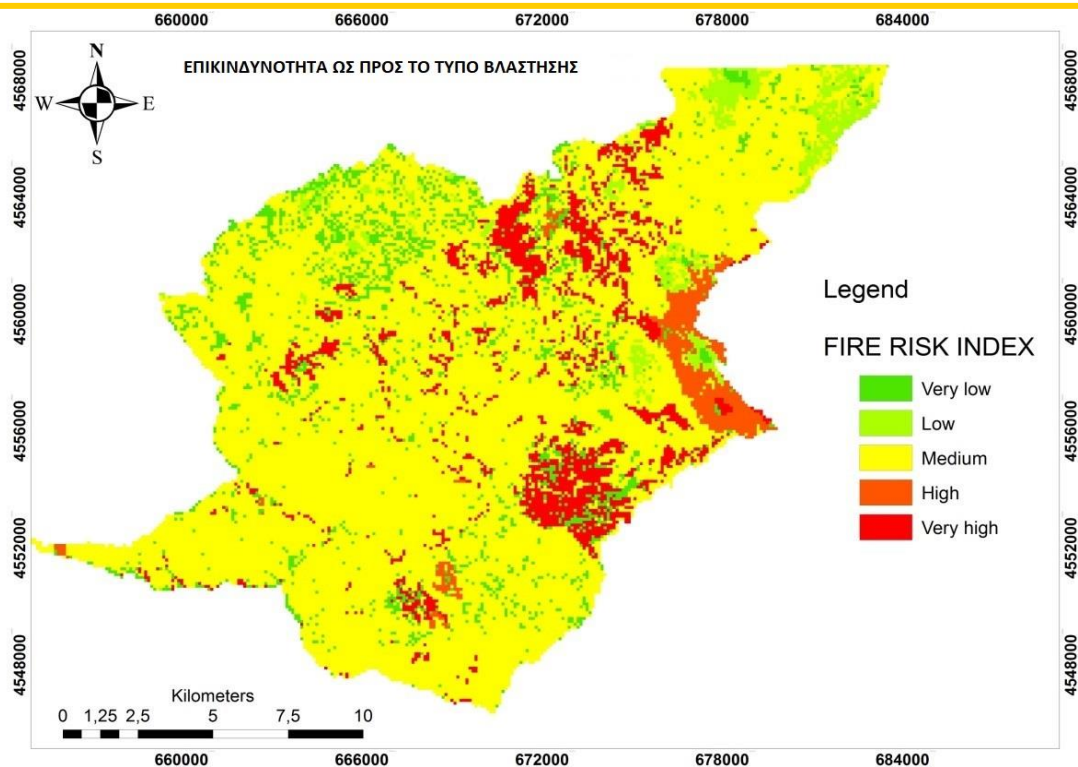
Απόσταση από οικισμούς	3	<1000	5	Πολύ Υψηλή
		1000-2000	4	Υψηλή
		2000-3000	3	Μεσαία
		3000-4000	2	Χαμηλή
		>4000	1	Πολύ Χαμηλή

Παρακάτω εμφανίζονται οι χάρτες ανά κατηγορία επικινδυνότητας.









Για την ενοποίηση των παραπάνω παραγόντων χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$FRI = 37 \cdot (VT + VD) + 12,3 \cdot (A + S) + 3 \cdot (PR + PS) + 1,66 \cdot (E + W) \text{ όπου}$$

VT: Τύπος Βλάστης

VD: Πυκνότητα Βλάστησης

A: Έκθεση

S: Κλίση

PR: Απόσταση από δρόμους

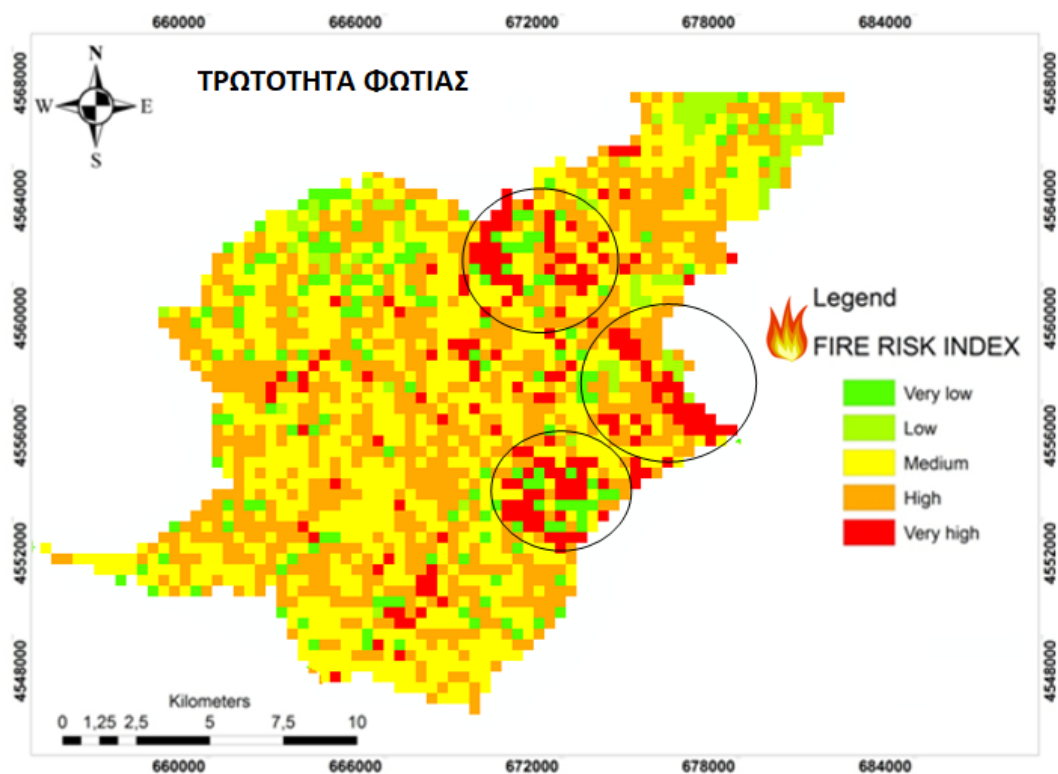
PS: Απόσταση από οικισμούς

E: Υψόμετρο

W: Ταχύτητα ανέμου



Το τελικό αποτέλεσμα κινδύνου πυρκαγιάς παρουσιάζεται στο παρακάτω χάρτη .





7 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

7.1 Αποτίμηση κινδύνου ελληνικής πλευράς διασυνοριακής ζώνης

Παρατηρούμε ότι ο κίνδυνος πυρκαγιάς για την ελληνική πλευρά της διασυνοριακής ζώνης κυμαίνεται από χαμηλός ως πολύ υψηλός ανάλογα τα με μορφολογικά στοιχεία της περιοχής. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να τονιστεί ότι ο υψηλός κίνδυνος για εκδήλωση φωτιάς επιβεβαιώνεται και από τις παρελθοντικές φωτιές. Πιο αναλυτικά στο πρόσφατο παρελθόν στο Εθνικό Πάρκο Δαδιάς-Λευκίμης-Σουφλίου εκδηλώθηκαν πυρκαγιές (στην πλειοψηφία τους λόγω πτώσης κεραυνών) και υπέστη μικρότερες και μεγαλύτερες οικολογικές καταστροφές. Σημαντικότερη, ως προς την έκταση που κατέκαψε, η πυρκαγιά τον Αύγουστο του 2011, (αιτία εκδήλωσης εμπρησμός από αμέλεια και συγκεκριμένα σπίθες από εξάτμιση αγροτικού μηχανήματος) με τη δορυφορική μέτρηση να εκτιμά την καμένη έκταση στα 57.000 στρέμματα και την προκληθείσα ζημία στη βιοποικιλότητα και στη σύνθεση των βιοτόπων να περιορίζεται στα όρια του Εθνικού Πάρκου και όχι στους πυρήνες του, σύμφωνα με τις αρμόδιες δασικές Αρχές. Επιπρόσθετα, τον Οκτώβριο του 2020 μια νέα πυρκαγιά που ευτυχώς, περιορίστηκε στα βορειοδυτικά του οικισμού της Λευκίμης, σε μία έκταση περίπου 6.000 στρεμμάτων, ενώ το 40% της έκτασης που κάηκε, είχε καεί και στην φωτιά του 2011 γεγονός που αποδεικνύει τα ευρήματα της μελέτης μας.

Επιπλέον κίνδυνοι των δασών είναι :

1. Ο διαμελισμός του δάσους: αποτελεί έναν σημαντικό κίνδυνο επειδή διασπά τη συνέχεια του δασικού τάπητα μειώνοντας έμμεσα τις δυνατότητες ανταλλαγής γενετικού υλικού. Επιπλέον, με το διαμελισμό του δάσους μειώνεται σημαντικά η δυνατότητα μετακίνησης και αναζήτησης τροφής για πολλά ζωικά είδη που, με τον περιορισμό του βιότοπου τους, κινδυνεύουν να εξαφανισθούν.
2. Οι κακές κατασκευές έργων υποδομής: γνωστό οπτικό φαινόμενο στα δάση οι κακο κατασκευασμένοι δασικοί δρόμοι που προκαλούν ανοικτές πληγές στα δασικό σύστημα αυξάνοντας τη διάβρωση και περιορίζοντας σημαντικά τις δασικές επιφάνειες γύρω τους με τις απαραίδεκτες -εκχωματώσεις και ρίψεις μπαζών.



3. Οι ρίψεις σκουπιδιών: αποτέλεσμα της χρήσης του δάσους από μη ευαισθητοποιημένους ανθρώπους, ως χώρου αναψυχής. Ανοικτές πηγές μικροβιακών οργανισμών, οι συγκεντρώσεις σκουπιδιών χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι λόγω της χημικής τους σύνθεσης - πλαστικά, σιδερένια κουτιά κτλ, δύσκολα, η καθόλου αποικοδομούνται, παραμένοντας ξένα στοιχεία στο δάσος μειώνοντας ταυτόχρονα σημαντικά την αισθητική του αξία.

4. Η λάθρο-υλοτομία: βασικός κίνδυνος για το δάσος επειδή αφαιρεί ποσότητες βιομάζας και κυρίως αναγεννητικού υλικού έξω από τα πλαίσια που θέτει η ορθολογική διαχείριση των δασών.

5. Η ατμοσφαιρική ρύπανση, σε μεγάλο βαθμό επηρεάζει τα φυτά μέσω της ενσωμάτωσης των αερίων ρύπων στους μεταβολικούς και φυσιολογικούς κύκλους τους. Η ρύπανση του εδάφους και των υδάτων επηρεάζει επίσης τα φυτά προκαλώντας ανάλογες μεταβολές στο οικοσύστημα.

Τέλος , πολύ σημαντικός κίνδυνος για το δάσος είναι η υπερβόσκηση: Ορισμένα ζώα, όπως τα αιγοπρόβατα και τα βοοειδή τα οποία ο άνθρωπος εκτρέφει, αποτελούν σοβαρό κίνδυνο για τα ελληνικά φυσικά οικοσυστήματα. Τα ζώα αυτά βόσκουν στο δάσος και προκαλούν ζημιές στην υψηλή βλάστηση, καταστρέφουν τη φυσική αναγέννηση, ποδοπατούν το έδαφος και υποβαθμίζουν τις φυσικές του ιδιότητες.

7.2 Ολοκληρωμένη Αποτίμηση κινδύνου βιοποικιλότητας

Η Βιοποικιλότητα, είναι ένας όρος που χρησιμοποιούμε για τον φυσικό πλούτο ή την ποικιλία των οργανισμών που ζουν στον πλανήτη. Ο αριθμός και η ποικιλία των οργανισμών, μειώνεται με ανησυχητικούς ρυθμούς τα τελευταία χρόνια. Φυτά και ζώα εξαφανίζονται συνεχώς, κυρίως λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως οι αλλαγές στις χρήσεις της γης, η ρύπανση, οι ανεξέλεγκτες υλοτομίες και η κλιματική αλλαγή. Το δάσος της Δαδιάς εμφανίζει εξαιρετικά μεγάλη βιοποικιλότητα. Από την πανίδα του Εθνικού Πάρκου, τα αρπακτικά πουλιά, εμφανίζουν αναμφίβολα το μεγαλύτερο ενδιαφέρον και είναι αυτά που προσελκύουν το μεγαλύτερο μέρος των ερευνητών και των επισκεπτών στην περιοχή. Εδώ έχουν παρατηρηθεί περισσότερα από τα μισά είδη πουλιών που έχουν καταγραφεί στην Ελλάδα. Θηλαστικά, που απειλούνται



με εξαφάνιση, συντηρούνται στην περιοχή της Δαδιάς. Επίσης η παρουσία μεγάλου αριθμού ερπετών και αμφιβίων στο Εθνικό Πάρκο είναι πολύ σημαντική, αφού αποτελούν βασική πηγή τροφής για τα αρπακτικά πουλιά. Οι κυριότεροι λοιπόν κίνδυνοι της βιοποικιλότητας είναι :

- 1) Δασικές πυρκαγιές υπήρχαν πάντα στην περιοχή κυρίως από αμέλεια ή φυσικά αίτια ενώ σε ελάχιστες περιπτώσεις εκδηλώθηκε πυρκαγιά από πρόθεση. Ο κίνδυνος δασικών πυρκαγιών λόγω των εκτεταμένων πευκοδασών και της ξηρής καλοκαιρινής περιόδου παρουσιάζεται υψηλός. Οι πυρκαγιές επιφέρουν αλλαγές στη δομή του δάσους για μεγάλα χρονικά διαστήματα, καθόσον οι καμένες εκτάσεις αποτελούν για τα πρώτα χρόνια μετά την πυρκαγιά μια ανοικτή περιοχή που σταδιακά καλύπτεται από τη φυσική αναγέννηση ή από την ανάπτυξη των φυτεμένων δένδρων σε περίπτωση αναδάσωσης τους. Όμως, η πυρκαγιά δεν επηρεάζει μόνο την εξέλιξη της βλάστησης στην καμένη περιοχή, αλλά μεταβάλλει και τη χρήση της από τα αρπακτικά πουλιά. Αυτές οι εκτάσεις μπορεί να μη χρησιμεύουν ως βιότοποι φωλιάσματος των αρπακτικών πουλιών για πολλά χρόνια μετά τη φωτιά, ωστόσο αποτελούν δυνάμει χώρους κυνηγίου έως το στάδιο της πύκνωσης του δάσους.
- 2) Ο άνεμος μπορεί να προκαλέσει παρόμοια αποτελέσματα με εκείνα της φωτιάς, καταστρέφοντας τη φυσική βλάστηση, σε μικρότερη κλίμακα. Με την καταστροφή του ανώροφου, συχνά δημιουργείται διαθέσιμος χώρος ώστε ο υπώροφος και ο μεσόροφος να ανέλθουν ψηλότερα, μεταβάλλοντας τη σύνθεση των δασοπονικών ειδών στον ανώροφο και αυξάνοντας την ετερογένεια των συστάδων. Στην περιοχή δεν υπάρχουν μεγάλες καταστροφές από τον άνεμο. Οι κύριες προσβολές εμφανίζονται τον χειμώνα, ειδικά σε περιόδους που έχει προηγηθεί χιονόπτωση.
- 3) Η επίδραση των εντόμων και των παθογόνων οργανισμών, ειδικά σε επιδημική μορφή, μπορεί να επηρεάσει έντονα την εξέλιξη της βλάστησης. Η επίδραση αυτή μπορεί να προκαλεί αλλαγές στη δασοκάλυψη περιοχών, στη σύνθεση των ηλικιών σε μεγάλη ή μικρή κλίμακα όπως και στη σύνθεση των δασοπονικών ειδών. Για το δάσος Δαδιάς, έχουν παρατηρηθεί μόνον φαινόμενα έξαρσης της



Πευκόκαμπιας *Thaumatococcus panyocampa* και του Λεπιδόπτερου *Limantria dispar* ορισμένες χρονιές. Παρόλα αυτά η φυσική προέλευση και εξέλιξη του δάσους στο μεγαλύτερο τμήμα του, πιθανώς να παρέχει μια προστατευτική βιολογική ασπίδα απέναντι σε αυτές τις καταστροφές και το δάσος ανακάμπτει.

- 4) Τέλος ειδικά για τη Δαδιά υπάρχει ακόμα ένας κίνδυνος που αφορά τη Θανάτωση με δηλητηριασμένα δολώματα. Η χρήση των δηλητηριασμένων δολωμάτων για την εξόντωση του Λύκου *Canis lupus* αποτέλεσε μια σημαντική αιτία θνησιμότητας πολλών μεγάλων αρπακτικών (γύπες και μεγάλοι αετοί) στο παρελθόν. Σήμερα η χρήση των δολωμάτων, παρότι παράνομη, δεν έχει σταματήσει εντελώς. Μεμονωμένα κρούσματα δηλητηρίασης Μαυρόγυπων, Ασπροπάρηδων και Χρυσασετών καταγράφονται στην περιοχή και οφείλονται σε δηλητηριασμένα με φυτοφάρμακα δολώματα που στόχο έχουν την εξόντωση Αλεπούδων *Vulpes vulpes*, Ασβών *Meles meles*, Κουναβιών *Martes spp* και σκυλιών, κυνηγετικών ή τσοπανόσκυλων.



8 Αποτελέσματα και Σχολιασμός

8.1 Σύνδεση κινδύνων και συχνότητας παρακολούθησης

Πριν γίνει η ανάλυση μεταξύ των κινδύνων και της συχνότητας παρακολούθησης κατά τη διάρκεια της χρονιάς θα πρέπει αξιολογήσουμε ιεραρχικά τους κινδύνους του Δάσους της Δαδιάς. Αρχικά υπάρχουν δύο κατηγορίες, στη πρώτη ανήκουν οι φυσικοί κίνδυνοι με σημαντικότερο τη φωτιά. Στη δεύτερη είναι οι ανθρωπογενείς κίνδυνοι με κυριότερους τη λαθρο υλοτομία, τη λαθρο θήρευση και την «παράνομη» βόσκηση. Επομένως θα πρέπει να δούμε τη χρονική κατανομή των φαινομένων αυτό στη διάρκεια του χρόνου.

- Οι δασικές πυρκαγιές εμφανίζονται κατά κύριο λόγο το καλοκαίρι και μειώνονται τη φθινοπωρινή περίοδο.
- Οι «παράνομες» ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχουν μια μεγαλύτερη διάρκεια που ξεκινάν από την άνοιξη και φτάνουν μέχρι τις αρχές του χειμώνα.

Συμπερασματικά το σύστημα παρακολούθησης είναι εφικτό να μειώσει τους κινδύνους του δάσους σχεδόν ετήσια αλλά και εκεί που πραγματικά αποδεικνύεται σωτήριο είναι το χρονικό διάστημα των καλοκαιρινών και φθινοπωρινών μηνών αφού μειώνει το κίνδυνο της φωτιάς και εξασφαλίζει την έγκαιρη αντίδραση των φορέων για την αντιμετώπιση των κινδύνων.

Με βάση τα παραπάνω, το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιείται

- από τον Μάιο μέχρι και τον Οκτώβριο για την ανίχνευση φωτιάς
- τους υπόλοιπους μήνες για ανίχνευση ανθρωπογενών απειλών.



9 Συμπεράσματα

Η περιοχή Ζώνης Ειδικής Προστασίας - ΖΕΠ (Special Protection Areas - SPA) του δικτύου Natura 2000, με κωδικό GR1110002 και ονομασία «Δάσος Δαδιάς - Σουφλί» έχει τεράστια οικολογική σημασία, ιδιαίτερα λόγω της πολύ σημαντικής βιοποικιλότητας της, και η προστασία της είναι επιβεβλημένη.

Τα Περιβαλλοντικά Δίκτυα απομακρυσμένων Αισθητήρων τείνουν να γίνουν ένα βασικό εργαλείο έρευνας για την Επιστήμη του Περιβάλλοντος αλλά και προστασίας του περιβάλλοντος.

Το σύστημα Ανίχνευσης Φωτιάς που έχει εγκατασταθεί στην Περιοχή του Εθνικού Πάρκου δάσους Δαδιάς – Λευκίμης – Σουφλίου μπορεί να αποτελέσει ένα ακόμη συμπληρωματικό των υφιστάμενων εργαλείο προστασίας του δάσους και της βιοποικιλότητας του από φωτιές αλλά και ανθρωπογενείς απειλές.

Σύγχρονες τεχνολογίες και εξειδικευμένο λογισμό όπως και Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (G.I.S.) μπορούν να βοηθήσουν στην αποτίμηση των κινδύνων στην προστατευόμενη περιοχή.



10 Βιβλιογραφία

10.1 Ελληνική βιβλιογραφία

Ζιγκρικά Ν., (2009). Ανάπτυξη ευφυούς πληροφοριακού συστήματος εκτίμησης ενιαίου δείκτη επικινδυνότητας για τις δασικές πυρκαγιές της περιφέρειας ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

Ηλιάδης Λ., (2007). Ευφυή πληροφορικά συστήματα και εφαρμογές στην εκτίμηση κινδύνου, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, εκδόσεις: Αντ. Σταμούλη

Καϊλίδης Δ. & Καρανικόλα Π.(2004), Δασικές Πυρκαγιές 1900-2000, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, εκδόσεις: Γιαχούδη

Καλαμποκίδης Κ., Ν. Ηλιόπουλος & Δ. Γλιγλίνος (2012), Πυρό-Μετεωρολογία και συμπεριφορά δασικών πυρκαγιών σε ένα μεταβαλλόμενο κλίμα, εκδόσεις: Ίων

Κολοβός, Σ. (2019). Συστήματα Wireless Sensor Network (WSN) για περιβαλλοντικές εφαρμογές. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών.

Ντάφης Σ.,(1986). Δασική Οικολογία: *Φωτιά και δάσος*, σελ.214-218, Θεσσαλονίκη, Ελλάδα, εκδόσεις: Γιαχούδη

Πανάρετος Ι. & Ε. Ξεκαλάκη, (2000). Εισαγωγή στη Στατιστική Σκέψη, τόμος ΙΙ (Εκτιμητική και Έλεγχοι Υποθέσεων) *σχέσεις ενδεχομένων – τυχαίες μεταβλητές – κατανομή πιθανότητας*, Αθήνα

Ποϊραζίδης, Κ., Σκαρτσή, Θ., & Κατσαδωράκης, Γ. (2002). Σχέδιο Συστηματικής Παρακολούθησης της Προστατευόμενης Περιοχής του Δάσους Δαδιάς-Λευκίμης-Σουφλίου. Δαδιά: WWF.

Ταμπάκης, Σ., & Καρανικόλα, Π. (2015). Δασικές Πυρκαγιές και Κοινωνία. Ορεστιάδα: ΔΠΘ.

Τσαγκάρη Κ., Γ. Καρέτσος και Ν. Προύτσος, 2011. Δασικές πυρκαγιές Ελλάδας, 1983-2008. Έκδ. WWF Ελλάς και ΕΘΙΑΓΕ-ΙΜΔΟ & ΤΔΠ, σελ. 112.

Τσαγκάρη Κ., Γ. Καρέτσος και Ν. Προύτσος, (2011). Δασικές πυρκαγιές Κρήτης, 1983-2005. Ελλάδα, Αθήνα, εκδόσεις WWF Ελλάς και ΕΘΙΑΓΕ-ΙΜΔΟ & ΤΔΠ, σελ. 192.



Τσαγκάρη Κ., Γ. Καρέτσος & Ν. Προύτσος, (2011). Δασικές πυρκαγιές Πελοποννήσου, 1983-2005. Ελλάδα, Αθήνα, εκδόσεις WWF Ελλάς και ΕΘΙΑΓΕ-ΙΜΔΟ & ΤΔΠ, σελ. 266.

Τσαταλτζινός Θ., (2012). Ανάπτυξη και εφαρμογή πρωτότυπου πληροφοριακού συστήματος με την χρήση μηχανισμών νόησης βάσει κανόνων και περιπτώσεων για την διαχείριση προβλημάτων φυσικών καταστροφών, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Δασολογίας & Διαχείρισης Περιβάλλοντος & Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης.

10.2 Διεθνής βιβλιογραφία

Arianoutsou M., (2001). The role of fire in the Mediterranean forests: past, present and future perspectives. In: SCBD, Assessment, Conservation and Sustainable use of forest Biodiversity, pp. 76-78, CBD Technical Series 3, Montreal, 130p.

Arianoutsou M., C.A. Thanos, (1996). Legumes in the Fire-Prone Mediterranean Regions: an Example from Greece *Int.J. Wildland Fire* 6(2): 77-82.

ARCS, 2008. Sri Lanka, (2008). Forest Fire Risk Mapping by Using Satellite Imagery and GIS for Quang Ninh Province, Vietnam, Anh, T. T., Ngoc, D.D. Danh, T.H., Nguyen, T. and Vivarad, P.

Argyroudi, A., Chatzinikolaou, Y., Poirazidis, C. and Lazaridou, M. (2008) Do intermittent and ephemeral Mediterranean rivers belong to the same river type? *Aquatic Ecology*, 43 (2) May, pp. 465-476.

Bradshaw L., J. Deeming, R. Burgan, J. Cohen, (1984). The 1978 National Fire-Danger Rating System: technical documentation, General Technical Report INT-169. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 44 p.

Brown, A.A. and Davis, K.P., 1973. *Forest Fire: Control and Use*, Second edition, McGraw Hill, New York.



Camia A., G. Amatulli, P. Barbosa, J. San-Miguel-Ayanz (2007) Fire Danger Forecast in the European Forest Fire Information System (EFFIS). In: Proc. Wildfire2007 IV International Wildland Fire Conference. Seville, Spain 13-17 May.

Cox E., (2005) Fuzzy Modeling and Genetic Algorithms for Data Mining and Exploration Elsevier Science, USA

Chuvieco, E. and Congalton, R.G. (1988) Mapping and inventory of forest fires from digital processing of TM data. Geocarto International, 3 (4) June, pp. 41-51.

Dafis, S. A. (1973). Classification of the forest vegetation of Greece, no. 15. Thessaloniki, Scientific Annals of the Agronomy and Forestry School. (In Greek)

Demitris, K. (1986) Technical Geology - Aristotle University of Thessaloniki, University Studio Press, Thessaloniki (in Greek).

Emilio, C., Andrea, C., German, B., Thomas, M., Nikos, K., and Jesus, M. (2005). Using Remote Sensing and GIS for Global Assessment of Fire Danger. In: Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference.

Emilio, C. and Russell, G.C. (1989) Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to forest fire hazard mapping. In: Remote Sensing of the Environment, 1989, USA, New York, Elsevier Science Publishing, pp. 147-159.

Erten, E., Kurgun, V. and Musaoglu, N. (2004) Geo-Imagery Bridging Continents. In: Forum, Y. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS a case study. Istanbul Turkey, pp.33-39.

Galtie, J.F., Hubschman, J., and Trabaud, L., Thessaloniki, European Commission. Vasconcelos, J. M. (1993) Modeling Spatial Dynamic Ecological Processes with DEVS-Scheme and Geographical Information Systems, Ph.D. thesis, University of Arizona.

Goncalves, G., Seco, L., Reyes, F., Miranda, D. (2008) Land cover classification of rural areas using LiDAR data: a comparative study in the context of fire risk. In: Evelyn, H. ed. 8th international conference on LiDAR applications in forest assessment and inventory, September, 2008, Edinburg UK, Northern Research Station, p. 427-437.



Iliadis L., A. Papastavrou, P. Lefakis, (2002). “A Heuristic Expert System for Forest Fire Guidance in Greece” JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT Vol. 65, Issue 3. pp. 327-336 August 2002. Academic Press, Cambridge

Iliadis L., A. Papastavrou, P. Lefakis, (2002). “A computer-system that classifies the prefectures of Greece in forest fire risk zones using fuzzy sets” FOREST POLICY AND ECONOMICS 4/1 (2002) pp. 43-54. ISSN: 1389-9341. Amsterdam Elsevier Science

Iliadis L., (2005) “A decision support system applying an integrated Fuzzy model for long - term forest fire risk estimation” EMS ENVIRONMENTAL MODELLING AND SOFTWARE Volume 20, Issue 5, pp. 613-621, May 2005

Iliadis L., S. Spartalis, (2005). “Fundamental Fuzzy Relation Concepts of a D.S.S. for the estimation of Natural Disasters Risk (The case of a Trapezoidal Membership Function)” JOURNAL OF MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING Volume 42, pp. 747-758

Iliadis L., M. Vangeloudh, S. Spartalis, (2010). “An intelligent system employing an enhanced fuzzy c-means clustering model: Application in the case of forest fires”. Journal COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE Volume 70 Issue 2, March 2010 pp. 276-284 Elsevier Science

Iliadis L.S., N. Zigkrika, (2011) “Evaluating fuzzy multi-feature scenarios for forest fire risk estimation” JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY IN AGRICULTURE Volume 4 #1 /2011, ISSN: 1546-959X

Iliadis L., S. Skopianos, S. Tachos, S.Spartalis, (2011) “Testing Sigmoid and Gaussian fuzzy sets towards forest fire risk modeling” Engineering Intelligence Systems Volume 18 Nos ¾ September/December 2010 pp.125-132

Kandel A., (1992). “Fuzzy Expert Systems”, CRC Press Florida, USA

Katerinopoulos, A., Voudouris, P. and Kanellopoulos, C. (2004). Granatitic skarn development in amphibolites, near the Therapio village, Evros Prefecture. In: Proceedings of the 10th International Congress, April 2004, Thessaloniki, Bulletin of the Geological Society of Greece, pp. 518-525.



- Kecman V., (2001). "Learning and Soft Computing", MIT Press, London, England
- Maris F, Vasileiou A , 2010. Hydrology and the torrential environment. In: The Dadia-Lefkimi-Soufli forest national park, Greece: Biodiversity, management and conservation. WWF publication ISBN
- Leondes C., (1998). Fuzzy logic and Expert Systems Applications. Academic Press, California, USA
- Naveh Z., (1975). The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region. Vegetatio 29: 199-208
- Rawat, G.S. (2003) Fire Risk Assessment For Fire Control Management In Chilla Forest Range of Rajaji National Park Uttaranchal (India). MSc thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands.
- Siachalou, S., Doxani, G. and Tsakiri-Strati, M. (2008) Integrating Remote Sensing Processing and GIS to Fire Risk Zone Mapping: A Case Study for the Seih-Sou Forest of Thessaloniki. Ph.D. thesis, Aristotle University of Thessaloniki.
- Schmuck G., J. San-Miguel-Ayanz, A. Camia, J. Kucera, G. Libertà, R. Boca, T. Durrant, G. Amatulli, (2008) Forest Fires in Europe 2007. EUR 23492 EN. Luxembourg (Luxembourg). JRC47446
- Subin, K.J., Santhosh, K., Jesnamol, M. M., Sreraj N. K., Madhu , G., Ambat, B (2010) Forest Fire Risk Analysis and Management System Using Geoinformation Technology, In: Applied Geoinformatics for Society and Environment 2010. Nairobi, Kenya.
- The International Workshop "Satellite technology and GIS for Mediterranean forest mapping and fire management, 1993. Thessaloniki, (1993). Using remote sensing and geographical information system for monitoring wildland fire hazards in an exposed area of the Mediterranean Eastern Pyrenees.
- The ISPRS XXI congress: Silk road for information from imagery: the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2008. Beijing, (2008). The application of remote sensing and GIS in modelling forest fire hazard in Mongolia.



Yousif A. H., Mutumwa, M. and Narangeral, Z. Beijing. Beijing, The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Tsatalzinos T., L. Iliadis, S. Spartalis ,(2010). “A fuzzy Inference rule-Based System for the estimation of Forest Fire Risk: The case of Greece” JOURNAL ENGINEERING INTELLIGENT SYSTEMS Volume 18 /2010, no 1, March 2010 pp. 59-67 Curtin University of Technology, Australia

Yves, D. (2009) An applied step in forest fire spread modeling. In: ECMS ed. 23rd European Conference on Modeling and Simulation, June, 2009, Madrid, Spain, pp.97-106

WWF, Forest fires in the Mediterranean: a burning issue, WWF, 2003. Gland Switzerland.

Zadeh L.A., (1968), Fuzzy Sets. Information Control 12, 94-102.