



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ & ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

**Υλοποίηση συστήματος UAV, για την επίβλεψη και την
πρόληψη δασικών πυρκαγιών**



Φοιτητής: Σαββόπουλος Χρήστος

Αριθμός Μητρώου: 18389005

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρόσος Χρήστος



**DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND
PRODUCTION ENGINEERING**

**Implementation of a UAV system for forest fire
surveillance and prevention**



Student: Savvopoulos Christos

Registration Number: 18389005

Supervisor: Drosos Christos

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

Η Διπλωματική εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Δρόσος Χρήστος	ΛΑΣΚΑΡΗΣ ΝΙΚΟΣ	ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ ΑΒΡΑΑΜ

Ημερομηνία εξέτασης:

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/η **ΣΑΒΒΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ** του **ΙΩΑΝΝΗ**, με αριθμό μητρώου **18389005** φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής **ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ** του Τμήματος **ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

ΣΑΒΒΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ



Περίληψη

Η παρούσα μελέτη αυτή επικεντρώνεται στη διερεύνηση της εφαρμογής ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους (UAV) για την επιτήρηση και πρόληψη των δασικών πυρκαγιών. Η μελέτη ξεκινά με την εξέταση των υποκείμενων ζητημάτων που σχετίζονται με τις δασικές πυρκαγιές, όπως οι αιτίες, οι επιπτώσεις, οι τύποι και οι παράγοντες που συμβάλλουν στην έναρξη και εξάπλωσή τους. Επίσης, αναλύονται τα υφιστάμενα συστήματα ανίχνευσης, πρόληψης και διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα και παγκοσμίως. Στη συνέχεια, επικεντρώνεται στην χρήση των UAVs για την διαχείριση των πυρκαγιών, περιγράφοντας την ταξινόμησή τους, τη σύνθεση του συστήματός τους και το ρόλο τους στην παραγωγή μοντέλων φωτογραμμετρίας.

Οι συγκεκριμένες εφαρμογές των UAVs στη διαχείριση της πυρκαγιάς συζητούνται περαιτέρω μέσω πολλαπλών μελετών περιπτώσεων, υπογραμμίζοντας τις προκλήσεις και το ρυθμιστικό πλαίσιο που σχετίζονται με τη χρήση τους. Η μελέτη προχωρά στην λεπτομερή παρουσίαση ενός πρακτικού μοντέλου UAV - του Flame Wheel F450, περιγράφοντας το πλαίσιο του, το σύστημα κίνησης, τη μπαταρία Li-Po, το σύστημα τηλεχειρισμού και τον ελεγκτή πτήσης.

Στη συνέχεια, επεξηγούνται τα βασικά συστατικά μέρη του συστήματος επιτήρησης και του τηλεμετρίας που ενσωματώνονται στο UAV, συμπεριλαμβανομένης της κάμερας, του συστήματος εγγραφής βίντεο, της πλακέτας Arduino UNO, της ασπίδας DraginoLoRa, διάφορων αισθητήρων και του GPS module. Τέλος, συζητάται η δημιουργία ενός υποστηρικτικού ιστότοπου, χρησιμοποιώντας HTML, CSS, JavaScript, Bootstrap και ThingSpeak. Η μελέτη ολοκληρώνεται με μια πλήρη εκτίμηση του κόστους κατασκευής του UAV.

Λέξεις-κλειδιά: Δασικές πυρκαγιές, UAV, Επιτήρηση, Πρόληψη, Διαχείριση πυρκαγιάς, Flame Wheel F450, Αεροπορικό Σύστημα Επιτήρησης Βίντεο, Σύστημα Τηλεμετρίας, Ανάπτυξη Ιστοσελίδων, FPV κάμερα.

Summary

This thesis explores the application of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system for forest fire surveillance and prevention. The study begins by examining the underlying issues associated with forest fires, such as their causes, effects, types, and the factors that contribute to their ignition and spread. It also reviews the existing detection, prevention, and management systems of forest fires in Greece and globally. The focus then shifts to the utilization of UAVs in managing these fires, outlining their classification, system composition, and their role in producing photogrammetry models.

Specific applications of UAVs in fire management are further discussed through multiple case studies, highlighting the challenges and regulatory frameworks associated with their use. The thesis proceeds to detail the implementation of a practical UAV model - the Flame Wheel F450, outlining its frame, propulsion system, Li-Po battery, remote control system, and flight controller.

It elaborates on the components of an aerial video surveillance system and telemetry system integrated into the UAV, including the camera, video recording system, Arduino UNO board, Dragino LoRa shield, various sensors, and GPS module. Finally, the creation of a supporting website and its environment, employing HTML, CSS, JavaScript, Bootstrap, and ThingSpeak are discussed. The study concludes with a complete cost breakdown of the UAV construction.

Keywords: Forest fires, UAV, Surveillance, Prevention, Fire management, Flame Wheel F450, Aerial Video Surveillance, Telemetry System, Web Development, FPV Camera.

Περιεχόμενα

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ	3
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	4
A.Πρόλογος.....	11
B.Θεωρητικό μέρος	12
1.Εισαγωγή.....	12
2.Γενικές έννοιες	12
3.Προβληματική και αναγκαιότητα	12
4.Διαχείριση και πρόληψη δασικών πυρκαγιών	13
5.Αιτίες και επιπτώσεις δασικών πυρκαγιών	14
6.Παράγοντες έναρξης και εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών	17
7.Είδη των δασικών πυρκαγιών	19
8.Η χωροθέτηση των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα.....	21
9.Συστήματα πυρανίχνευσης δασικών πυρκαγιών	23
10.Συστήματα πρόληψης και διαχείρισης δασικών πυρκαγιών	28
10.1Στην Ελλάδα	28
10.2Διεθνής εικόνα	32
11.Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) και δασικές πυρκαγιές	34
11.1Κατηγοριοποίηση των UAVs	34
11.2Σύνθεση του συστήματος των UAVs.....	39
11.3Προγράμματα παραγωγής φωτογραμμετριών μοντέλων και χρήση στα UAVs	43
12.Εφαρμογή UAVs στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών.....	44
12.1Μελέτες περίπτωσης εφαρμογής	45
12.2Προκλήσεις στη χρήση των UAVs	46
12.3Κανονιστικό πλαίσιο	47
B.Πρακτικό Μέρος.....	49
1.Εισαγωγικό μέρος	49
2 Μη Επανδρωμένο Εναέριο όχημα(UAV).....	50
2.1 Ο σκελετός Flame Wheel F450.....	51
2.2Το σύστημα πρόωσης.....	53
2.3 Li-Po Μπαταρία SHANG YI 11.1V 35C	61
2.4.Σύστημα τηλεχειρισμού FrSky FSi6 (Transmitter and Receiver)	62
2.5 Ο ελεγκτής πτήσης KK2.1.5.....	63
3.Σύστημα εναέριας τηλεβιντεοσκόπησης	65

3.1 Οι ρόλοι της κάμερας στην εφαρμογή.....	65
3.2 Το σύστημα βιντεοσκόπησης.....	66
4.Σύστημα Τηλεμετρίας	70
4.1 Η πλακέτα Arduino UNO	71
4.2 Dragino LoRa 868MHz shield.....	75
4.3 Αισθητήρες.....	76
4.4 GPS module NEO-6M.....	90
4.5 ESP32 Devkit V1.....	92
4.6 ThingSpeak	93
5.Η ιστοσελίδα	94
5.1 HTML	94
5.2 CSS	94
5.3 Javascript.....	94
5.4 Bootstrap.....	95
5.5 Το περιβάλλον της ιστοσελίδας.....	95
Γ.ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΣΗΣ.....	96
Δ. Επίλογος.....	97
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	98

Περιεχόμενα εικόνων

<i>Εικόνα 1 Αιτία δασικών πυρκαγιών.....</i>	<i>15</i>
<i>Εικόνα 2 Άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών.....</i>	<i>16</i>
<i>Εικόνα 3 Παράγοντας έναρξης και εξάπλωσης των δασικών πυρκαγιών.....</i>	<i>18</i>
<i>Εικόνα 4 Τα είδη των δασικών πυρκαγιών.....</i>	<i>20</i>
<i>Εικόνα 5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία του σχεδιασμού του συστήματος για τη διαχείριση μιας πυρκαγιάς.....</i>	<i>24</i>
<i>Εικόνα 6 Χάρτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς.....</i>	<i>25</i>
<i>Εικόνα 7 Οργανισμοί που διαθέτουν δεδομένα χαρτογράφησης περιοχών.....</i>	<i>26</i>
<i>Εικόνα 8 Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό καπνού.....</i>	<i>27</i>
<i>Εικόνα 9 Χαρακτηριστικά βάσει των οποίων ταξινόμούνται τα UAVs.....</i>	<i>36</i>
<i>Εικόνα 10 Κατηγοριοποίηση αναλόγως του βάρους και του εύρους πτήσεως.....</i>	<i>37</i>
<i>Εικόνα 11 Κατηγοριοποίηση του εξοπλισμού των UAVs.....</i>	<i>41</i>
<i>Εικόνα 12 Εικόνα που λήφθηκε με drone από την καταστροφική φωτιά στην Εύβοια.....</i>	<i>46</i>
<i>Εικόνα 13 Block diagram με τα συστήματα της εφαρμογής.....</i>	<i>50</i>
<i>Εικόνα 14 Σκελετός DJI F450.....</i>	<i>51</i>
<i>Εικόνα 15 Τα τέσσερα flamewheel arms.....</i>	<i>51</i>
<i>Εικόνα 16 Top board.....</i>	<i>52</i>
<i>Εικόνα 17 Το Power distribution board του UAV.....</i>	<i>53</i>

Εικόνα 18 Ο βαθμός αποτελεσματικότητας σε συνάρτηση με το εφαρμοζόμενο ρεύμα στον κινητήρα A2212/13T	55
Εικόνα 19 Το μοτέρ A2212/13T	56
Εικόνα 20 Οι έλικες του UAV	56
Εικόνα 21 Τα χαρακτηριστικά της έλικας σε συνάρτηση με άλλα μεγέθη	57
Εικόνα 22 Το block diagram του KK2.1.5	65
Εικόνα 23 Η κάμερα CMOS 1200TVL	66
Εικόνα 24 Ο πομποδέκτης VTX TS5823Pro 5.8GHZ	68
Εικόνα 25 UVC OTG FPV Receiver	69
Εικόνα 26 Block diagram συστήματος τηλεμετρίας	71
Εικόνα 27 Το holder battery clip	72
Εικόνα 28 Σύνδεση της μπαταρίας με το Arduino UNO με την χρήση battery clip	73
Εικόνα 29 Dragino LoRaWAN 868Mhz Shield	75
Εικόνα 30 Οι ακροδέκτες του Dragino shield	76
Εικόνα 31 Ο αισθητήρας θερμοκρασίας/υγρασίας DHT22	78
Εικόνα 32 Οι ακροδέκτες του DHT22	79
Εικόνα 33 Το διάγραμμα αερίων του MQ-135 Πηγή: Abbas, Saadoon, Abdalrdha, & Abud, 2020	81
Εικόνα 34 Η αντίσταση RL	82
Εικόνα 35 Schematic image του MQ-135	82
Εικόνα 36 Επιλογή σημείων απο την γραφική παράσταση της ευθείας του CO	83
Εικόνα 37 Οι συντεταγμένες των επιλεγμένων σημείων	84
Εικόνα 38 Τα βήματα για την δημιουργία του γραφήματος	84
Εικόνα 39 Το γράφημα της συγκέντρωσης του CO	85
Εικόνα 40 Επιλογή προσθήκη γραμμής τάσης	85
Εικόνα 41 Επιλογές γραμμής τάσης	86
Εικόνα 42 Εμφάνιση εξίσωσης γραμμής τάσης για το αέριο CO	86
Εικόνα 43 Φωτοευαίσθητη αντίσταση	87
Εικόνα 44 Διάγραμμα της εντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε συνα΄ρτηση με την τιμή της αντίστασης	88
Εικόνα 45 Ο αισθητήρας φωτός σε σύνδεση με το Arduino	89
Εικόνα 46 Το GPS NEO-6M	90
Εικόνα 47 Το ESP32 board	92
Εικόνα 48 Το logo του Bootstrap	95
Εικόνα 49 Το περιβάλλον της ιστοσελίδας	95

A.Πρόλογος

Η όλο και αυξανόμενη σοβαρότητα και συχνότητα των δασικών πυρκαγιών, που τροφοδοτείται από έναν συνδυασμό παραγόντων όπως είναι η κλιματική αλλαγή, οι πρακτικές διαχείρισης της γης και οι ανθρώπινες δραστηριότητες, έχουν οδηγήσει στη διαμόρφωση της ανάγκης για πιο αποτελεσματικές στρατηγικές πρόληψης και διαχείρισης. Μεταξύ αυτών των στρατηγικών, η υιοθέτηση και η εφαρμογή των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAVs), που συχνά αναφέρονται ως drones, είναι πολλά υποσχόμενη. Η χρήση των UAVs μπορεί να φέρει επανάσταση στην διαχείριση των δασικών πυρκαγιών προσφέροντας δυνατότητες έγκαιρου εντοπισμού και παρακολούθησης. Η παρούσα διπλωματική εργασία θα εμβαθύνει στην πρακτική εφαρμογή συστημάτων UAVs στο πλαίσιο της πρόληψης και διαχείρισης δασικών πυρκαγιών, εστιάζοντας στην περίπτωση της Ελλάδας. Η μελέτη διερευνά τους παράγοντες που συμβάλλουν στις δασικές πυρκαγιές, τα διαφορετικά συστήματα UAVs, τις προκλήσεις τους και τις δυνατότητές τους όσον αφορά στην πρόληψη και διαχείριση δασικών πυρκαγιών.

Λέξεις – κλειδιά: UAVs, δασικές πυρκαγιές, drone.

B.Θεωρητικό μέρος

1.Εισαγωγή

Οι δασικές πυρκαγιές δημιουργούν σημαντική ανησυχία παγκοσμίως λόγω της καταστροφικής φύσης τους και των τεράστιων οικονομικών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων. Στην Ελλάδα, αυτές οι πυρκαγιές είναι ένας σημαντικός κίνδυνος, λόγω του μεσογειακού κλίματος της χώρας και των εκτεταμένων δασικών της εκτάσεων. Επομένως, μια μελέτη για την ανάπτυξη στρατηγικών για την πρόληψη και τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών είναι υψίστης σημασίας.

Η παρούσα εργασία διερευνά τη χρήση των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων (UAVs) για την παρακολούθηση και την πρόληψη δασικών πυρκαγιών. Τα τεχνολογικά αυτά συστήματα έχουν επιδείξει έχουν δείξει τεράστιες δυνατότητες όσον αφορά στη συμβολή τους στη διαχείριση και την πρόληψη των δασικών πυρκαγιών τα τελευταία χρόνια. Τα UAVs είναι ικανά να καλύπτουν μεγάλες περιοχές, παρέχοντας πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και ακριβή δεδομένα σχετικά με τις θέσεις στις οποίες ξεκινά ή εξελίσσεται μια πυρκαγιάς, την εξάπλωση και την έντασή τους, μειώνοντας παράλληλα τον κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή. Η κατανόηση των προκλήσεων των UAVs και του τρόπου με τον οποίο μπορούν να ενσωματωθούν αποτελεσματικά στις στρατηγικές διαχείρισης δασικών πυρκαγιών αποτελεί τον πυρήνα της έρευνας αυτής.

2.Γενικές έννοιες

Οι δασικές πυρκαγιές είναι πολύπλοκα φυσικά φαινόμενα που μπορούν να επηρεαστούν από διάφορους παράγοντες, όπως ο καιρός, ο τύπος βλάστησης και η ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν άμεσα την έναρξη και τη διάδοση των πυρκαγιών. Τα τελευταία χρόνια, η κλιματική αλλαγή έχει επιδεινώσει το πρόβλημα, με τις θερμότερες και ξηρότερες συνθήκες να δημιουργούν το ιδανικό περιβάλλον για την ανάπτυξη και εξάπλωση των δασικών πυρκαγιών.

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAVs), είναι αεροσκάφη που δεν χρειάζονται κάποιον άνθρωπο ως πιλότο επί του σκάφους. Ελέγχονται είτε εξ αποστάσεως από κάποιον χειριστή είτε αυτόνομα από υπολογιστές. Τα UAVs έχουν ποικίλες χρήσεις σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένης της επιτήρησης, της γεωργίας, της διαχείρισης καταστροφών, και όπως θα αναλυθεί σε αυτή η διατριβή, την πρόληψη και τη διαχείριση δασικών πυρκαγιών.

3.Προβληματική και αναγκαιότητα

Η συχνότητα και η ένταση των δασικών πυρκαγιών αυξάνεται παγκοσμίως, προκαλώντας σημαντικές ζημιές στο περιβάλλον, την οικονομία και τις ανθρώπινες ζωές. Οι παραδοσιακές μέθοδοι ανάχνευσης και διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών συχνά υπολείπονται λόγω της περιορισμένης εμβέλειάς τους, του χρόνου απόκρισης και του κινδύνου για την ανθρώπινη ζωή. Η κατάσταση απαιτεί μια πιο αποτελεσματική και αποδοτική λύση για την αντιμετώπιση του διογκωμένου αυτού προβλήματος.

Τα UAVs έχουν αναδειχθεί σήμερα ως μια πολλά υποσχόμενη λύση, προσφέροντας δυνατότητες έγκαιρης ανίχνευσης, παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο και γρήγορης απόκρισης. Παρά τις δυνατότητές τους, η υιοθέτηση UAVs για τη διαχείριση δασικών πυρκαγιών είναι αργή, κυρίως λόγω τεχνολογικών, κανονιστικών και επιχειρησιακών προκλήσεων. Ωστόσο, με τις εξελίξεις στην τεχνολογία και την αυξημένη κατανόηση των συστημάτων των UAVs, ο ρόλος τους στην πρόληψη και διαχείριση δασικών πυρκαγιών θα μπορούσε να είναι επαναστατικός.

Η παρούσα μελέτη στοχεύει να αναλύσει αυτά τα ζητήματα και να προτείνει λύσεις που θα διευκολύνουν την εφαρμογή UAV σε στρατηγικές πρόληψης και διαχείρισης δασικών πυρκαγιών, ειδικά στην Ελλάδα. Εξετάζοντας τα αίτια και τις επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών, κατανοώντας τη σύνθεση και τη λειτουργία των συστημάτων UAVs και συζητώντας τις προκλήσεις που σχετίζονται με τη χρήση τους, η έρευνα αυτή θα συμβάλλει στην αντιμετώπιση του κρίσιμου αυτού περιβαλλοντικού ζητήματος μέσω της πρακτικής εφαρμογής ενός UAV.

4. Διαχείριση και πρόληψη δασικών πυρκαγιών

Βάσει της Ελληνικής νομοθεσίας, ως *δασικό οικοσύστημα* γενικότερα ορίζεται ένα οργανικό σύνολο που αποτελείται από άγρια φυτά με ξυλώδη κορμό, το οποίο βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους. Το οργανικό αυτό σύνολο μαζί με την συνυπάρχουσα χλωρίδα και πανίδα, δημιουργούν μία βιοκοινότητα (Hellenicparliament, 2019, αρ. 24). Η δασική έκταση διαμορφώνεται στην περίπτωση που στο προηγούμενο σύνολο, η άγρια ξυλώδης βλάστηση, είτε αυτή είναι υψηλή είτε θαμνώδης, είναι αραιά. Στο ίδιο άρθρο του νόμου, έχει επίσης αναφερθεί ότι, το κράτος είναι υποχρεωμένο να προστατεύει το φυσικό και πολιτιστικό περιβάλλον. Για να εξασφαλίσει τη διαφύλαξη του περιβάλλοντος αυτού ο κρατικός μηχανισμός υποχρεούται να λαμβάνει είτε προληπτικά είτε κατασταλτικά μέτρα. Μέσω του νόμου, ορίζονται τα σχετικά μέτρα για την προστασία των δασών και των δασικών εκτάσεων (Hellenicparliament, 2019, αρ. 24).

Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, το δάσος ήταν από την αρχαιότερα μέχρι και σήμερα ένα από τα πιο πολύπλοκα φυσικά οικοσυστήματα, ενώ παράλληλα διαδραμάτιζε και διαδραματίζει έναν καθοριστικό και ουσιώδη ρόλο όσον αφορά στη διαφύλαξη της παγκόσμιας οικολογικής ισορροπίας. Σήμερα, ωστόσο παρατηρείται ότι οι δασικές εκτάσεις, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες ενώ παράλληλα, είναι ένα από τα πιο ευπαθή και απειλούμενα οικοσυστήματα (Μοσχοβίδης, 2007).

Η σημασία των δασικών εκτάσεων είναι τεράστια. Το δάσος σαν ένα οικοσύστημα, αποτελεί το βασικότερο παράγοντα ρύθμισης της οικολογικής ισορροπίας, εφόσον φιλοξενεί μία μεγάλη ποικιλία χλωρίδας και πανίδας (Balshi et al., 2009). Επιπροσθέτως τα δάση είναι ρυθμιστές του κλίματος όλου του πλανήτη όσον αφορά στο οξυγόνο, και κατακρατούν μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα ενώ παράλληλα ενισχύουν την οικονομία των περιοχών μέσα από την παραγόμενη ξυλεία. Την ίδια στιγμή ωφελούν την υγεία και την ποιότητα ζωής του πληθυσμού (Trammel, 2009).

Οι δασικές πυρκαγιές, ένας από τους βασικούς παράγοντες καταστροφής των δασικών εκτάσεων, είναι ένα κομμάτι της οικολογίας των οικοσυστημάτων. Οι δασικές

πυρκαγιές επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τον υδρολογικό κύκλο, και για αυτό το λόγο παρατηρείται σε πολλές περιπτώσεις, μετά το πέρας μιας πυρκαγιάς η εκδήλωση πλημμυρών (Balshi et al., 2009). Στις περισσότερες περιπτώσεις, η καύση που οδηγεί στις δασικές πυρκαγιές προκύπτει μέσα από αντιδράσεις εξώθερμης οξειδωσης καυσίμου υλικού (Καϊλίδης και Καρανικόλας, 2004). Ωστόσο, για να προκληθεί η φωτιά από τη διαδικασία της καύσης, είναι απαραίτητη και η προσφορά θερμότητας από διάφορες εξωτερικές πηγές (Trammel, 2009).

Στις δασικές περιοχές λόγω του ότι παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση καύσιμης οργανικής ύλης διαμορφώνονται συγκεκριμένες συνθήκες που είναι κρίσιμες και σε περίπτωση που ξεπεραστούν, δημιουργείται ανάφλεξη και στη συνέχεια, η έναρξη της πυρκαγιάς.

Οι διαδικασίες και λειτουργίες που σχεδιάζονται για την πρόληψη των δασικών πυρκαγιών, είναι στην ουσία ο βασικός στόχος που επιδιώκεται να επιτευχθεί μέσω της εφαρμογής μέτρων αντιπυρικής προστασίας. Στα δασικά οικοσυστήματα ο στόχος αυτός αναμένεται να επιτευχθεί μέσω της αποδυνάμωσης των αιτιών οι οποίες - είτε άμεσα είτε έμμεσα - μπορεί να οδηγήσουν στην πρόκληση των πυρκαγιών που εκδηλώνονται στα δασικά οικοσυστήματα.

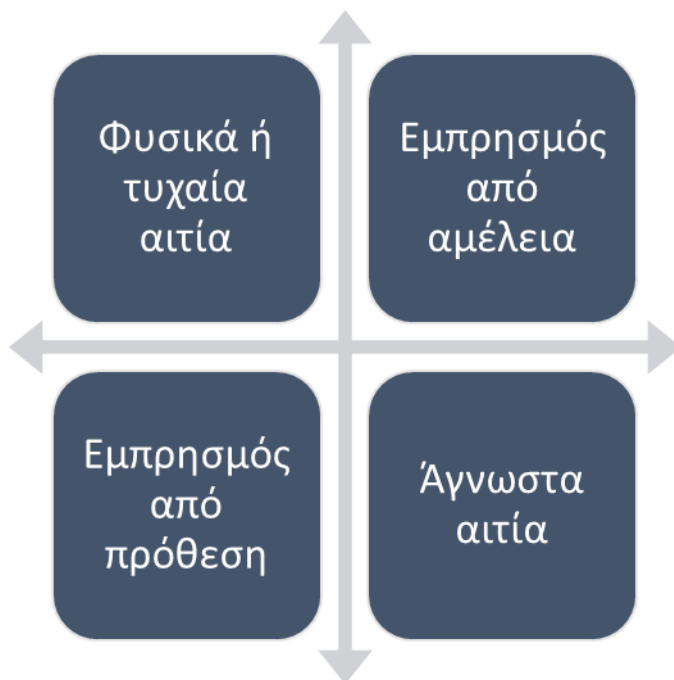
Στην Ελλάδα, με τον όρο *πρόληψη* συνήθως νοείται η χρήση των αντιπυρικών ζωνών, η δημιουργία ομβροδεξαμενών και η λειτουργία των πυροφυλακίων. Οι διαδικασίες αυτές ωστόσο, αποτελούν μόνο κάποια από τα μέτρα που λαμβάνονται έτσι ώστε να επιτευχθεί η καθυστέρηση της εξέλιξης μιας πυρκαγιάς (Trammel, 2009). Παρόλα αυτά, οι διεργασίες της πρόληψης θα πρέπει να επικεντρώνονται στην αντιμετώπιση των αιτιών που δημιουργούν τις πυρκαγιές και στη συνέχεια στον εκμηδενισμό τους.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το ποσοστό του 80% περίπου των πυρκαγιών, προέρχονται από εμπρησμό ή ανθρώπινη αμέλεια. Γι' αυτό ο κρατικός μηχανισμός για να μπορέσει να προλάβει την έναρξη και την εξέλιξη των δασικών πυρκαγιών είναι αναγκαίο να ευαισθητοποιήσει με τέτοιο τρόπο τους πολίτες σε διάφορα θέματα που έχουν να κάνουν με την προστασία των δασικών οικοσυστημάτων και γενικότερα με την αειφορία και την οικολογία αλλά και να τους δώσει πληροφορίες, με αποδοτικό τρόπο, σε σχέση με τις ενέργειες που θα πρέπει να εφαρμόσουν ή να αποφύγουν σε περίπτωση που βρίσκονται σε κάποιο δάσος.

Όσον αφορά στην καταστολή των δασικών πυρκαγιών, ο βασικότερος παράγοντας που συνεισφέρει ουσιαστικά στην αντιμετώπισή τους, είναι ο καλός συντονισμός του συνόλου των δυνάμεων και των υπηρεσιών που εμπλέκονται. Ενώ η απόδοση του συντονισμού λειτουργεί αντιστρόφως ανάλογα με το συνολικό πλήθος των συντονισμένων, στην Ελλάδα η άγνοια που υπάρχει στον τομέα αυτόν έχει οδηγήσει στη δημιουργία ενός πολυσύνθετου συστήματος που δρα για την προστασία των δασών. Με βασική ευθύνη για την προστασία των δασών, είναι επιφορτισμένη η Δασική Υπηρεσία, ενώ η κατάσβεση των πυρκαγιών είναι ευθύνη της Πυροσβεστικής. Από την άλλη, η Δασική Υπηρεσία στην Ελλάδα έχει μοιραστεί σε δύο διαφορετικά Υπουργεία, στο Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και στο Υπουργείο Εσωτερικών και Δημόσιας Διοίκησης έχοντας αυτό σαν αποτέλεσμα, να υπάρχει ασυμμετρία όσον αφορά στο επίπεδο εκτέλεσης των εντολών.

5. Αιτίες και επιπτώσεις δασικών πυρκαγιών

Αναλύοντας τις αιτίες και τις επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών, είναι σημαντικό να γίνει η κατηγοριοποίησή τους ανάλογα με τα αίτια που μπορεί να τις προκαλούν. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των αιτιών των πυρκαγιών.



Εικόνα 1 Αιτία δασικών πυρκαγιών

Πηγή: Επεξεργασία από Καϊλίδης και Καρανικόλας, 2004

Αρχικά όσον αφορά στα φυσικά ή τυχαία αιτία, στην κατηγορία αυτή εμπίπτουν κυρίως οι πυρκαγιές που προέρχονται από κάποιο κεραυνό. Στην περίπτωση που δεν κατασβηστεί μία πυρκαγιά από τη βροχή, συνήθως οδηγεί στην πρόκληση καταστροφών. Οι κεραυνοί, που χτυπούν συνήθως σε απόκρημνες περιοχές δημιουργούν πυρκαγιές που η κατάσβεσή τους είναι δύσκολη. Επιπροσθέτως στην κατηγορία των φυσικών αιτιών πρόκλησης των πυρκαγιών, θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν οι πυρκαγιές που προέρχονται από ηφαιστεια, πού παρ' όλα αυτά δεν υπάρχουν στην Ελλάδα. Σαν ποσοστό, οι φυσικές πυρκαγιές είναι λίγες σε αριθμό, εφόσον θεωρείται ότι δεν ξεπερνούν το 3% (Fireservice, 2014).

Στη συνέχεια, οι πυρκαγιές οι οποίες μπορεί να προκύψουν από αμέλεια είναι η βασικότερη αιτία που οδηγεί στην εκδήλωση των δασικών πυρκαγιών. Το ποσοστό της κατηγορίας αυτών των πυρκαγιών, ξεπερνά το 50%, και σε αυτές συμπεριλαμβάνονται, οι πυρκαγιές που μπορεί να προκύψουν από σκουπιδότοπο ή από σπινθήρες μηχανών, από απόρριψη τσιγάρου κ.α. (Fireservice, 2014).

Στη συνέχεια, έρχεται η κατηγορία των εμπρησμών από πρόθεση που φτάνει μέχρι και το 30% συνολικά, των δασικών πυρκαγιών που εκδηλώνονται. Το αίτιο αυτό μπορεί να χαρακτηριστεί ως το πιο καταστροφικό, εφόσον οι εμπρηστές παίρνουν συγκεκριμένα μέτρα και επιλέγουν τις ημέρες εκείνες που είναι ευνοϊκές για την εξάπλωση της πυρκαγιάς. Ο εμπρησμός που γίνεται από πρόθεση σύμφωνα με τους Καϊλίδη και Καρανικόλα, (2004), συνήθως στοχεύει στη δημιουργία βοσκοτόπων. Στην οικοπεδοποίηση κ.α. Τέλος, μία ακόμη κατηγορία πυρκαγιάς, αναλόγως των αιτιών που

τις προκαλούν, είναι τα άγνωστα αιτία. Στην κατηγορία αυτή ταξινομούνται τα αίτια εκείνα, που δεν υπάρχει δυνατότητα να εξηγηθούν με τη λογική, ή να αποδειχθούν. Το ποσοστό των πυρκαγιών της συγκεκριμένης κατηγορίας μπορεί να φτάσει και το 17% (Trammel, 2009).

Βάσει των προηγούμενων στοιχείων, οι δασικές πυρκαγιές συνήθως προκύπτουν από ανθρώπινη αμέλεια ή δραστηριότητα. Έχοντας εξηγήσει τα βασικότερα αίτια των δασικών πυρκαγιών σημαντικό σε αυτό το σημείο είναι να γίνει αναφορά στις βασικότερες επιπτώσεις τους.

Η κυρία κατηγοριοποίηση των δασικών πυρκαγιών είναι σε **άμεσες** και **έμμεσες**. Στην περίπτωση αυτή, στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι δύο κατηγορίες με τις υποκατηγορίες τους.

Άμεσες επιπτώσεις

Έμμεσες επιπτώσεις

- Οικολογικές
- Υδρολογικές
- Απώλεια θέσεων εργασίας
- Υπερβόσκηση
- Αισθητική υποβάθμιση
- Υγειονομική υποβάθμιση
- Κοινωνικό και Οικονομικό Κόστος

Εικόνα 2 Άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών

Πηγή: Επεξεργασία από Καϊλίδης και Καρανικόλας, 2004; Βορίσης, 2004

Αναφορικά με τις άμεσες επιπτώσεις, των δασικών πυρκαγιών είναι εκείνες που προκύπτουν λόγω της καύσης της ξυλείας των δασικών προϊόντων και σε ένα γενικότερο επίπεδο της βλάστησης. Επιπροσθέτως, άμεσες μπορούν να θεωρηθούν και οι συνέπειες που προκύπτουν λόγω της καταστροφής διαφόρων εγκαταστάσεων, είτε αυτές είναι κτηνοτροφικές είτε καλλιέργειες, ή βιοτεχνικών και τουριστικών εγκαταστάσεων (Abatzoglou and Williams, 2016).

Στη συνέχεια, όπως φαίνεται και στο προηγούμενο σχήμα οι έμμεσες επιπτώσεις προκύπτουν από τις έμμεσες ωφέλειες που χάνονται από την εκμετάλλευση του δάσους. Αρχικά, στις έμμεσες επιπτώσεις συμπεριλαμβάνονται οι οικολογικές επιπτώσεις (Trammel, 2009). Οι πυρκαγιές επηρεάζουν σε ένα μεγάλο βαθμό τη χλωρίδα και την

πανίδα μιας περιοχής με ένα τρόπο που είναι πολυσύνθετος. Από τη στιγμή που οι δασικές εκτάσεις αποτελούν αυτόνομα οικοσυστήματα, μετά από μία μεγάλη πυρκαγιά, εμφανίζονται πολλές διαταραχές εφόσον, κάποια από τα μικρότερα θηλαστικά, τα ερπετά αλλά και τα είδη πουλιών που ζουν στο δάσος δεν καταφέρνουν να διαφύγουν (Βορίσης, 2004). Οι επιπτώσεις μπορεί να είναι ακόμη πιο σοβαρές σε περίπτωση που τα συγκεκριμένα ήδη βρίσκονται σε περίοδο αναπαραγωγής. Έτσι, υπάρχει μία οπισθοδρόμηση συνολικά του οικοσυστήματος, και έως ότου να επιτευχθεί ο επανεπικρισμός του εγκαθίσταται σε αυτό διάφορα είδη που έχουν μικρότερη οικολογική αξία.

Εκτός των οικολογικών έμμεσων συνεπειών των δασικών πυρκαγιών, υπάρχουν και ορισμένες πολύ σημαντικές υδρολογικές συνέπειες. Οι δασικές εκτάσεις, συγκρατούν το βρόχινο νερό εμπλουτίζοντας με αυτό τον τρόπο τον υδροφόρο ορίζοντα. Μετά την καταστροφή τους, τα δάση αδυνατούν να συγκρατούν το νερό στο έδαφός τους έχοντας αυτό σαν συνέπεια την πρόκληση καταστροφικών πλημμυρών.

Στην κατηγορία των έμμεσων επιπτώσεων, συμπεριλαμβάνεται και η απώλεια των θέσεων εργασίας - κατά βάση υλοτόμων, δασεργατών και άλλων κατηγοριών εργατών που συνδέονται με το δάσος. Εκτός αυτού ωστόσο, η καταστροφή της βλάστησης της δασικής έκτασης, επιφέρει και την καταστροφή των φυσικών βοσκοτόπων έχοντας αυτό σαν αποτέλεσμα το συνωστισμό των κοπαδιών σε άλλες περιοχές ένα φαινόμενο που οδηγεί στην υπερβόσκηση. Σημαντικές είναι και οι επιπτώσεις που έχουν να κάνουν με την επιβάρυνση της υγείας των ατόμων με διάφορα αναπνευστικά προβλήματα λόγω της αύξησης του διοξειδίου στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο εκτός αυτού, το κοινωνικοοικονομικό κόστος των πυρκαγιών είναι τεράστιο εφόσον απαιτούνται τεράστιες δαπάνες για την κατάσβεση και την αποκατάσταση των ζημιών της πυρκαγιάς. Τέλος, μία βασική έμμεση επίπτωση των δασικών πυρκαγιών, είναι η υποβάθμιση της αισθητικής ομορφιάς μιας συγκεκριμένης περιοχής, ένα γεγονός που μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες και στην ψυχική υγεία των κατοίκων της (Βορίσης, 2004).

6. Παράγοντες έναρξης και εξάπλωσης δασικών πυρκαγιών

Ως επί το πλείστον, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως ο βασικός παράγοντας έναρξης των δασικών πυρκαγιών, είναι ο ανθρώπινος παράγοντας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι πυρκαγιές μπορεί να προκληθούν από αμέλεια ενώ υπάρχουν και εκείνες οι περιπτώσεις που υπάρχει δόλια πρόθεση για την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς, οι οποίες περιπτώσεις συντελούν τον εμπρησμό. Παρ' όλα αυτά, για να εξαπλωθεί για πυρκαγιά, υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες που επιδρούν στην εξάπλωση αυτή καθοριστικά (Βορίσης, 2004). Οι βασικότεροι από τους παράγοντες αυτούς, απεικονίζονται στο σχήμα που ακολουθεί και στη συνέχεια αναλύονται περαιτέρω.



Εικόνα 3 Παράγοντας έναρξης και εξάπλωσης των δασικών πυρκαγιών

Πηγή: Επεξεργασία από Βορίσης, 2004

Αρχικά όσον αφορά στους μετεωρολογικούς παράγοντας, οι βασικότεροι παράγοντες που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία και έχουν σημαντικές επιπτώσεις όχι μόνο στην έναρξη αλλά και στη συνέχεια στην εξάπλωση μιας δασικής πυρκαγιάς, είναι η θερμοκρασία, το ύψος της βροχής, ο άνεμος αλλά και η υγρασία του αέρα. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να αναφερθεί ότι δεν υπάρχει κανένας παράγοντας της συγκεκριμένης κατηγορίας που μπορεί να δράσει μεμονωμένα, αλλά αντίθετα ο συνδυασμός τους παίζει καθοριστικό ρόλο για τη δημιουργία του κατάλληλου περιβάλλοντος που θα πρέπει να διαμορφωθεί έτσι ώστε να ξεκινήσει και να εξαπλωθεί, στη συνέχεια η πυρκαγιά (Trammel, 2009).

Αρχικά, η θερμοκρασία του αέρα διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο, εφόσον είναι ένας παράγοντας που επιδρά στην ξήρανση αλλά και στην προθέρμανση της διαθέσιμης καύσιμης ύλης. Η υγρασία, μπορεί να επηρεάσει στην περίπτωση αυτή την έναρξη και την εξάπλωση της πυρκαγιάς εφόσον όταν βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα, τότε επικρατεί μία έντονη ξηρασία της βλάστησης, και θεωρείται πιο εύκολο για μία πυρκαγιά να εξαπλωθεί. Αντίθετα, όταν η υγρασία βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα, τότε η βλάστηση φλέγεται δύσκολα και ακόμη και σε περίπτωση που η πυρκαγιά ξεκίνησε εκείνη τη στιγμή, τότε η επέκτασή της είναι εξαιρετικά δύσκολη (Βορίσης, 2004).

Ένας ακόμη μετεωρολογικός παράγοντας - όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως - είναι το ύψος των βροχοπτώσεων, εφόσον μέσω των βροχοπτώσεων προσδίδεται υγρασία στην καύσιμη ύλη του δασικού οικοσυστήματος. Στην Ελλάδα, ειδικά κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, λόγω της κλιματικής αλλαγής και του φαινομένου του θερμοκηπίου, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού επικρατούν μεγάλες περίοδοι ξηρασίας, συνδυασμένες με την εκδήλωση των πιο καταστροφικών πυρκαγιών.

Παρακάτω, όσον αφορά στους τοπογραφικούς και εδαφολογικούς παράγοντες που μπορεί να προκαλέσουν την έναρξη και στη συνέχεια την εξάπλωση μίας πυρκαγιάς παρατηρείται ότι η τοπογραφία της εκάστοτε περιοχής διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο όσον αφορά στον καθορισμό της τελικής συμπεριφοράς και της εξέλιξής της. Τα στοιχεία που μπορούν να επιδράσουν άμεσα στην εξέλιξη μιας δασικής πυρκαγιάς, είναι το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται, η κλίση του εδάφους αλλά και άλλα χαρακτηριστικά της τοπογραφίας όπως είναι παραδείγματος χάριν οι κορυφογραμμές ή τα φαράγγια.

Ός επί το πλείστον οι πυρκαγιές εξαπλώνονται προς τα ψηλότερα σημεία της πλαγιάς εκτός και αν εκείνη τη στιγμή, ο άνεμος είναι δυνατός και κινείται αντίθετα. Όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση του εδάφους στο οποίο εξελίσσεται η πυρκαγιά, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ταχύτητα με την οποία εξαπλώνεται (Trammel, 2009).

Ένα ακόμη πρόβλημα που μπορεί να προκύψει λόγω του έντονου ανάγλυφου μιας περιοχής είναι ότι τα κομμάτια της καύσιμης ύλης που φλέγονται, μπορούν πιο εύκολα να κατρακυλήσουν έχοντας αυτός σα συνέπεια τη δημιουργία νέων εστιών πυρκαγιάς. Το υψόμετρο επίσης είναι ένας παράγοντας που διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο, εφόσον αναλόγως του υψομέτρου και της έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, διαμορφώνεται και η ανάλογη βλάστηση της κάθε περιοχής (Βορίσης, 2004). Έτσι, στις πλαγιές που βρίσκονται βόρεια η βλάστηση είναι πιο πλούσια συγκριτικά με τις νότιες πλαγιές που βρίσκονται σε χαμηλότερο υψόμετρο. Επιπροσθέτως τη θερμοκρασία και το υψόμετρο λειτουργούν αντιστρόφως ανάλογα. Έτσι όσο αυξάνεται το υψόμετρο, ακολουθεί αντίστοιχα μία μείωση της θερμοκρασίας.

Όπως γίνεται αντιληπτό, το μικροκλίμα που επικρατεί σε κάθε περιοχή μπορεί να έχει άμεσες επιπτώσεις στα χαρακτηριστικά της χλωρίδας και της πανίδας της και μπορεί να δράσει καταλυτικά σε περίπτωση που εκδηλωθεί κάποια πυρκαγιά.

Εκτός των προηγούμενων, υπάρχουν και άλλοι τοπογραφικοί και βαθμολογικοί παράγοντες που μπορεί να επιδράσουν σημαντικά στην εξάπλωση μιας πυρκαγιάς. Παράγοντες όπως είναι το βραχώδες τοπίο, τα φαράγγια και οι απότομες αλλαγές κλίσεις επηρεάζουν την εξέλιξη της πυρκαγιάς ενισχύοντας ή αντίθετα ανακόπτοντας την πορεία της ανά περίπτωση.

Συνεχίζοντας με την ανάλυση των χαρακτηριστικών της καύσιμης ύλης και τη βλάστηση, ως παράγοντες που μπορούν να συνεισφέρουν αρνητικά στην έναρξη και την εξάπλωση των δασικών πυρκαγιών, παρατηρείται ότι, συνολικά το δασικό οικοσύστημα αποτελεί μία καύσιμη ύλη εφόσον το σύνολο των μερών του είναι υλικά ανάφλεξης. Ωστόσο, ο τρόπος ανάφλεξης του κάθε υλικού, και η επίδρασή τους εν τέλει στη συμπεριφορά της φωτιάς είναι διαφορετική, αναλόγως της διάταξής τους στο χώρο, των χαρακτηριστικών τους, της θερμοκρασίας τους, της υγρασίας που εμπεριέχουν αλλά και της ποσότητας τους (ΕΘΙΑΓΕ, 2007). Ειδικά η περιεκτικότητα της καύσιμης ύλης σε υγρασία, συνδυαστικά με τις συνθήκες βλάστησης, είναι συνιστώσες που διαδραματίζουν πολύ βασικό ρόλο όσον αφορά στην τελική εξέλιξη της πυρκαγιάς. Επιπροσθέτως, η κατηγορία της βλάστησης σαν ένας παράγοντας που παίζει ρόλο στην εξάπλωση της πυρκαγιάς, ασκεί σημαντικές επιδράσεις όχι μόνο κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του φαινομένου, αλλά και για το σχεδιασμό της διαδικασίας της πρόληψης και για την επιλογή των καταλληλότερων ειδών για αναδάσωση (Abatzoglou and Williams, 2016).

7.Είδη των δασικών πυρκαγιών

Στη βιβλιογραφία, οι πυρκαγιές έχουν διακριθεί αναλόγως της κατηγορίας της καύσιμης ύλης και της θέσης στους, αναλογικά με την επιφάνεια του εδάφους. Έτσι σύμφωνα με τον Βορίση, (2004), στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα βασικότερα είδη των δασικών πυρκαγιών.



Εικόνα 4 Τα είδη των δασικών πυρκαγιών

Πηγή: Επεξεργασία από Βορίση, 2004;Θανασούλας,2011

Αρχικά, οι πυρκαγιές εδάφους ή υπόγειες πυρκαγιές, είναι μία κατηγορία πυρκαγιάς στην οποία η οργανική ύλη καίγεται κάτω από την επιφάνεια του στρώματος της δασικής έκτασης. Το συγκεκριμένο είδος πυρκαγιάς έχει σαν βασικό χαρακτηριστικό του τη βραδεία καύση και μπορεί να μην παραχθεί καπνός, έχοντας σαν συνέχεια, να γίνεται δύσκολα αντιληπτή. Το συγκεκριμένο είδος πυρκαγιών οδηγούν σε νέκρωση των φυτών που συναντούν εφόσον καταστρέφουν τις ρίζες τους (Abatzoglou and Williams, 2016). Η συγκεκριμένη κατηγορία πυρκαγιών μπορεί να διεισδύσει βαθύτερα στη δασική έκταση σε βάθος δύο μέτρων αλλά και να εξαπλωθεί υπόγεια.

Η εξάπλωση των πυρκαγιών εδάφους ή υπόγειων πυρκαγιών, είναι αργή και είναι μία κατηγορία πυρκαγιών η οποία θεωρείται ιδιαίτερα δύσκολη όσον αφορά στην κατάσβεσή της. Η κατηγορία αυτή των πυρκαγιών εμφανίζεται σπάνια στην Ελλάδα.

Ύστερα, οι έρπουσες πυρκαγιές ή αλλιώς πυρκαγιές επιφάνειας διαδίδονται ταχέως λόγω της ύπαρξης άφθονου αέρα, υψηλής θερμοκρασίας και οξυγόνου. Ο καπνός που παράγεται από το συγκεκριμένο είδος πυρκαγιών εξαπλώνεται σε μικρό ύψος, ωστόσο, στα πλατύφυλλα και τα δάση χαλεπίου που υπάρχουν στην Ελλάδα, μπορεί να φτάσει σε μεγάλο ύψος. Το χρώμα του καπνού που παράγεται από την καύση των ειδών αυτών, είναι μαύρο ή λευκό (Θανασούλας, 2011).

Το είδος αυτό των πυρκαγιών καίει τη νεκρή καύσιμη ύλη που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος ή και την ζωντανή βλάστηση. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του είδους της πυρκαγιάς αυτής είναι διαφορετικά ανά περίπτωση. Αναλόγως της καύσιμης

ύλης και των συνθηκών που επικρατούν το είδος αυτό της πυρκαγιάς μπορεί να είναι από ασήμαντη έως και εύκολα ελεγχόμενη αλλά να φτάσει και σε μεγάλη σοβαρότητα και να είναι δύσκολη στην κατάσβεση (Θανασούλας, 2011).

Ωστόσο ένα κοινό χαρακτηριστικό των ειδών αυτών της πυρκαγιάς είναι ότι υπάρχει άφθονη φλόγα εφόσον διατίθεται το οξυγόνο που είναι αναγκαίο για την τροφοδοσία τους. Οι πυρκαγιές επιφάνειας αντιστοίχως, προκαλούν την καύση της οργανικής ύλης και της χαμηλής βλάστησης μέχρι και δύο μέτρα. Οι πυρκαγιές επιφάνειας μπορεί να οδηγήσουν σε μία πυρκαγιά που βασικό χαρακτηριστικό της είναι η μεγάλη ταχύτητα διάδοσης και η εξάπλωση του καπνού τους σε σχετικά μικρό ύψος. Οι πυρκαγιές στη συνέχεια που συνήθως αποτελούν μία εξέλιξη των πυρκαγιών επιφάνειας προκαλούν την καύση της κόμης των δέντρων και ύστερα, τη νέκρωσή τους (Θανασούλας, 2011).

Οι πυρκαγιές της συγκεκριμένης κατηγορίας πλήττουν κυρίως τα φυσικά είδη των οποίων η κόμη θεωρείται εύφλεκτη όπως είναι παραδείγματος χάριν τα κωνοφόρα δέντρα. Ως επί το πλείστον στη χώρα μας παρουσιάζονται μικρές και μεγάλες μικτές πυρκαγιές οι οποίες μπορεί να προκύψουν από έρπουσες πυρκαγιές. Αντιθέτως, οι πυρκαγιές οι οποίες είναι μεμονωμένα πυρκαγιές κόμης, παρουσιάζονται σπάνια στην Ελλάδα. Στην κατηγορία αυτή, ο άνεμος μπορεί σε μεγάλη απόσταση να παρασύρει φύλλα και κλαδιά που καίγονται, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο νέες εστίες πυρκαγιάς. Η ταχύτητα της εξάπλωσης των πυρκαγιών στη συγκεκριμένη κατηγορία είναι πιο μεγάλη σε σχέση με την προηγούμενη (Abatzoglou and Williams, 2016).

Επίσης, ο καπνός που παράγεται από το συγκεκριμένο είδος πυρκαγιάς, λαμβάνει το σχήμα μανιταριού ενώ το χρώμα του είναι πιο σκοτεινό σε σχέση με αυτόν της προηγούμενης κατηγορίας. Το συγκεκριμένο είδος πυρκαγιάς προκαλεί καύση της εναέριας καύσιμης ύλης η οποία χωροθετείται σε μεγαλύτερο ύψος από αυτόν των δύο μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους (Θανασούλας, 2011). Το είδος των πυρκαγιών αυτών είναι υπεύθυνο για την καταστροφή του φυλλώματος των δέντρων και βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η μεγάλη ταχύτητα διάδοσης και η εκτόξευση των τεμαχίων καύσιμης ύλης από τον άνεμο. Το είδος αυτό πυρκαγιάς θεωρείται ως ένα από τα πιο καταστροφικά είδη εφόσον μπορεί να οδηγήσει στην πρόκληση μεγάλων καταστροφών σε δασικές εκτάσεις.

Το τελευταίο είδος πυρκαγιών στο οποίο γίνεται αναφορά είναι οι μικτές ή αντίστοιχα, οι σαρωτικές πυρκαγιές. Σε περίπτωση που συνυπάρχουν τα τρία είδη πυρκαγιάς που αναφέρθηκαν προηγουμένως, τότε το είδος το οποίο διαμορφώνεται καλείται ως μεικτή ή σαρωτική πυρκαγιά. Σε περίπτωση που η πυρκαγιά που εξαπλώνεται είναι έρπουσα ή επικόρυφη τότε επέρχεται η δημιουργία ενός μετώπου φλόγας το οποίο επεκτείνεται από το έδαφος μέχρι τις κορυφές των δέντρων, και κινείται καίγοντας όλη την υπάρχουσα βλάστηση. Λόγω της μεγάλης έντασης, η σαρωτική πυρκαγιά θεωρείται χαρακτηριστική του μεγάλου ύψους που μπορεί να φτάσει εφόσον, η πρόβλεψη της συμπεριφοράς της είναι αρκετά δύσκολη (Furgang and Graham, 2019).

8.Η χωροθέτηση των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα

Για να μπορέσει να γίνει πλήρως αντιληπτό το φαινόμενο της έναρξης και εξάπλωσης των δασικών πυρκαγιών, θα πρέπει να γίνει μία μελέτη του χώρου στον οποίον ξεκινούν και εξελίσσονται. Στον ελλαδικό χώρο, οι πυρκαγιές λαμβάνουν χώρα κυρίως στην μεσογειακή ζώνη δηλαδή στην παράκτια περιοχή της Ελλάδας που βρίσκεται κάτω από 600 μέτρα υψόμετρο αλλά και σχεδόν σε όλα τα νησιά της Ελλάδας.

Οι περιοχές τις οποίες πλήττουν ως επί το πλείστον πυρκαγιές, είναι περιοχές στις οποίες υπάρχουν πουρνάρια, πεύκα και κουμαριές. Στις περιοχές αυτές, ξεκίνα και εξελίσσεται το ποσοστό του 95% περίπου των πυρκαγιών.

Το μεσογειακό κλίμα που επικρατεί στην Ελλάδα, χαρακτηρίζεται από πολύ θερμά καλοκαίρια και ξηρασίες, ενώ οι χειμώνες έχουν μέτριες βροχοπτώσεις (Κωνσταντινίδης, 2003). Τα βασικά χαρακτηριστικά δηλαδή του μεσογειακού κλίματος. Οι λιγοστές σε αριθμό βροχές, πέφτουν κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Στα δασικά οικοσυστήματα τα οποία αναπτύσσονται στο μεσογειακό κλίμα, οι συνθήκες είναι τέτοιες έτσι ώστε ο ρυθμός σύμφωνα με τον οποίον παράγεται η φυτική βιομάζα μέσα από τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης είναι μεγαλύτερος σε σύγκριση με το ρυθμό διάσπασης της νεκρής βιομάζας που γίνεται μέσω της σήψης και της δραστηριότητας των μικροοργανισμών (Papastavrou, Technology and Nations, 1991). Έτσι μπορεί να δημιουργηθεί ένα πλεόνασμα το οποίο μπορεί αν δεν υπάρχει κάποιος άλλος τρόπος διάσπασης της βιομάζας, θα μπορούσε δυνητικά να οδηγήσει σε μεγάλη συσσώρευση της, έτσι ώστε στο τέλος, η ανανέωση των οικοσυστημάτων θα ήταν αδύνατη. Ωστόσο, ο η φύση λειτουργεί με έναν εναλλακτικό τρόπο διάσπασης της νεκρής βιομάζας ο οποίος είναι η φωτιά. Έτσι σε περίπτωση που η πλεονάζουσα βιομάζα δεν απομακρυνθεί αλλιώς, η φυσική τους κατάληξη θα είναι η πυρκαγιά (Κουράκος, 2008).

Επιπροσθέτως, λόγω της έντονης γεωργικής δραστηριότητας που επικρατεί κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, στο φυσικό οικοσύστημα, παρατηρείται μεγάλη ανάπτυξη της δασικής βλάστησης, με τη χρήση ελάχιστου νερού έχοντας αυτό σαν αποτέλεσμα, η επιβίωση των φυτών να εξαρτάται από την προσαρμογή των βιολογικών τους αναγκών έτσι ώστε να μπορούν να διαχειριστούν τη μεγαλύτερη ποσότητα του νερού. Η διαδικασία αυτή, πραγματοποιείται μέσω ενός ειδικού μηχανισμού των οποίων διαθέτουν τα φυτά.

Η βλάστηση του εδάφους αποτελείται από διάφορους πυκνούς θάμνους οι οποίοι είτε εμποδίζουν την ανάπτυξη των ριζών των νέων φυτών είτε, καλύπτουν το έδαφος αποτρέποντας με αυτό τον τρόπο τους νέους πόρους που έρχονται σε επαφή με το έδαφος να φυτρώνουν. Έτσι, αναστέλλεται η ανάπτυξη νέων φυτών, εξοικονομώντας υγρασία στο έδαφος. Στη βιβλιογραφία έχει γίνει αναφορά στο συγκεκριμένο θέμα υποστηρίζοντας ότι τα πεύκα που αναπτύσσονται σε μεσογειακά κλίμακα, δεν μπορούν να ανανεωθούν εκτός από την περίπτωση που υπάρξει κάποια προσωρινή απελευθέρωση του εδάφους από τους πυκνούς θάμνους και την αλληλοπάθεια στην οποία οδηγούν (Κωνσταντινίδης, 2003). Ένα πεύκο, μπορεί να ρίχνει σπόρους για δεκάδες χρόνια, και αυτούς από αυτούς να μην φυτρώσει κανείς έχοντας αυτό σαν αποτέλεσμα, με την πάροδο των ετών, να προκαλείται υποβάθμιση η οποία είναι μη αναστρέψιμη. Μόνο μετά το πέρασμα της πυρκαγιάς, υπάρχει καθαρισμένο έδαφος το οποίο θεωρείται κατάλληλο για τη φύτευση νέων σπόρων. Η φωτιά ανέκαθεν καθάριζε το έδαφος έτσι ώστε, να συμβάλλει στη δημιουργία των κατάλληλων συνθηκών, για ανανεωθούν τα δάση με νέα δέντρα (Κουράκος, 2008).

Παρ' όλα αυτά, η συχνότητα των δασικών πυρκαγιών, είναι πολύ μεγάλη και η μείωση των διαστημάτων ανάμεσα στην εκδήλωσή τους, λόγω του ανθρώπινου παράγοντα είναι το βασικότερο και κρίσιμότερο ζήτημα που προκαλεί το μεγαλύτερο πρόβλημα στα δασικά οικοσυστήματα. Έτσι, δάση τα οποία θα έπρεπε να καίγονται μία φορά το χρονικό διάστημα των 100 ετών, καίγονται μία φορά κάθε 30 χρόνια. Αυτό σημαίνει ότι προτού το δασικό οικοσύστημα φτάσει στο σημείο ωρίμανσής του, και δημιουργήσει απόθεμα σπόρων τότε ξανά καίγεται. Για αυτό το λόγο, θα πρέπει να δοθεί

μεγάλη προτεραιότητα στην προστασία των νεαρών δασών τα οποία δεν έχουν δημιουργήσει ακόμη σημαντικό απόθεμα σπόρων (Κουράκος, 2008).

Αναφορικά με τη συχνότητα των δασικών πυρκαγιών που εκδηλώνονται ανά έτος στην Ελλάδα, αυτές κατά μέσο όρο συμβαίνουν στο 80% κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος από την 1^η Ιουνίου μέχρι και την 31^η Οκτωβρίου. Ωστόσο, ιδίως κατά τη διάρκεια των ξηρών ετών, σε μεγάλη συχνότητα εμφανίζονται και πυρκαγιές το Νοέμβριο ή το Μάιο. Το 90% των πυρκαγιών, λαμβάνει χώρα από τις 8 έως το 11:00 το βράδυ, και κυρίως στο διάστημα από τις 2:00 ως τις 7:00. Το φαινόμενο αυτό, όπως εκδηλώνεται φαίνεται να συσχετίζεται σημαντικά με την πορεία διακύμανσης της υγρασίας, του αέρα και της θερμοκρασίας στην Ελλάδα (Κατσάνος, 1970).

9. Συστήματα πυρανίχνευσης δασικών πυρκαγιών

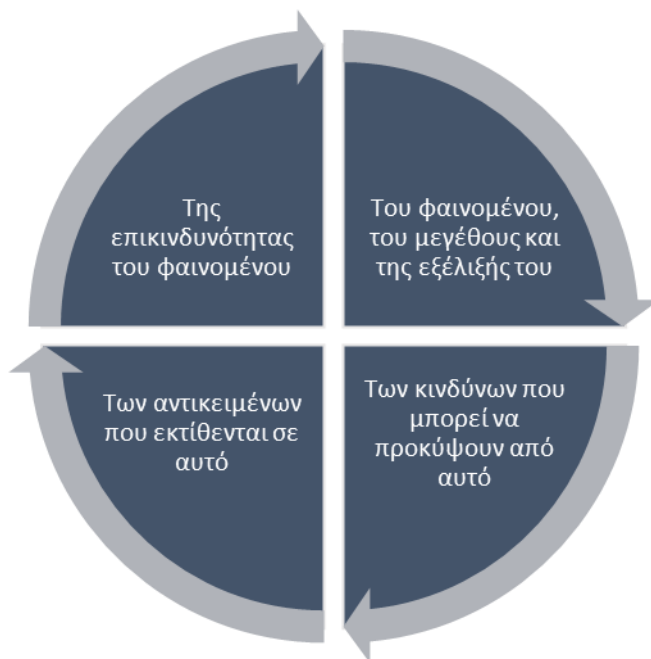
Εφόσον ενώ η τεχνολογία αναπτύσσεται ραγδαία, παγκοσμίως, άμεσο επακόλουθο είναι η δημιουργία και η εξέλιξη των συστημάτων βελτίωσης της ανίχνευσης των δασικών πυρκαγιών. Τα συστήματα αυτά έχουν επικεντρωθεί στην επίτευξη του στόχου της μείωσης του χρόνου εντοπισμού της πυρκαγιάς, της εκτίμησης της τοποθεσίας της και της βελτίωσης της ποιότητας των ενημερώσεων που αποστέλλονται στα συντονιστικά κέντρα. Την ίδια στιγμή, δημιουργούνται συνεχώς και εξελίσσονται διάφορα συστήματα για την παρακολούθηση των κινήσεων των μετώπων της πυρκαγιάς, κατά τη διάρκεια της εφαρμογής ενός σχεδίου κατάσβεσης (Trammel, 2009).

Ένα βασικό στοιχείο των συστημάτων αυτών, είναι ότι σε πραγματικό χρόνο αποδίδουν τα διάφορα κινούμενα χαρακτηριστικά της διαδικασίας όπως είναι το προσωπικό και τα οχήματα, αλλά και την πορεία εξέλιξης της ίδιας της πυρκαγιάς. Τα χαρακτηριστικά αυτά που αναφέρονται, συμμετέχουν σαν γεωγραφικά χαρακτηριστικά στις διαδικασίες που εφαρμόζονται από τα ΓΣΠ (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών) όπως η θεματική αναπαράσταση, τα ερωτήματα και η τοπολογία μαζί με τα υπόλοιπα συστατικά χαρακτηριστικά μιας τυπικής εφαρμογής.

Η εξέλιξη των συστημάτων αυτών, έχει να κάνει με τον τρόπο εισαγωγής των γεωγραφικών χαρακτηριστικών από το πεδίο σε ένα ΓΣΠ αλλά και με τη δυνατότητα απόδοσης των εργασιών του τελευταίου, σε κινούμενους χρήστες. Μέσω της μεθόδου αυτής που παρουσιάζεται, μπορούν να αξιοποιηθούν ευρέως διαδεδομένα με μέσα τα οποία είναι χαμηλό χαμηλού κόστους και δεν προϋποθέτουν, οι χρήστες τους να είναι εξειδικευμένοι (Furgang and Graham, 2019)..

Μέσω του συνδυασμού των δυνατοτήτων που προσφέρονται από τη χρήση ενός ασύρματου και μιας συσκευής GPS μπορεί να γίνει σε πραγματικό χρόνο η διαδικασία της καταγραφής και απόδοσης των χαρακτηριστικών του φυσικού χώρου σε ΓΣΠ. Παράλληλα από τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις διεργασίες ενός ΓΣΠ υπάρχει δυνατότητα να μεταφερθούν, σε μη εξειδικευμένους χρήστες οι οποίοι βρίσκονται στο πεδίο, χωρίς να διαθέτουν οι ίδιοι εξειδικευμένο λογισμικό ή γνώσεις. Την ίδια στιγμή, με τη χρήση της ίδιας εφαρμογής μπορεί να αναπτύσσεται διαρκής επικοινωνία μέσω των ασύρματων (Furgang and Graham, 2019)..

Η διαδικασία του σχεδιασμού του συστήματος για τη διαχείριση μιας πυρκαγιάς γίνεται αναλόγως των χαρακτηριστικών της, δηλαδή αυτών που παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί.

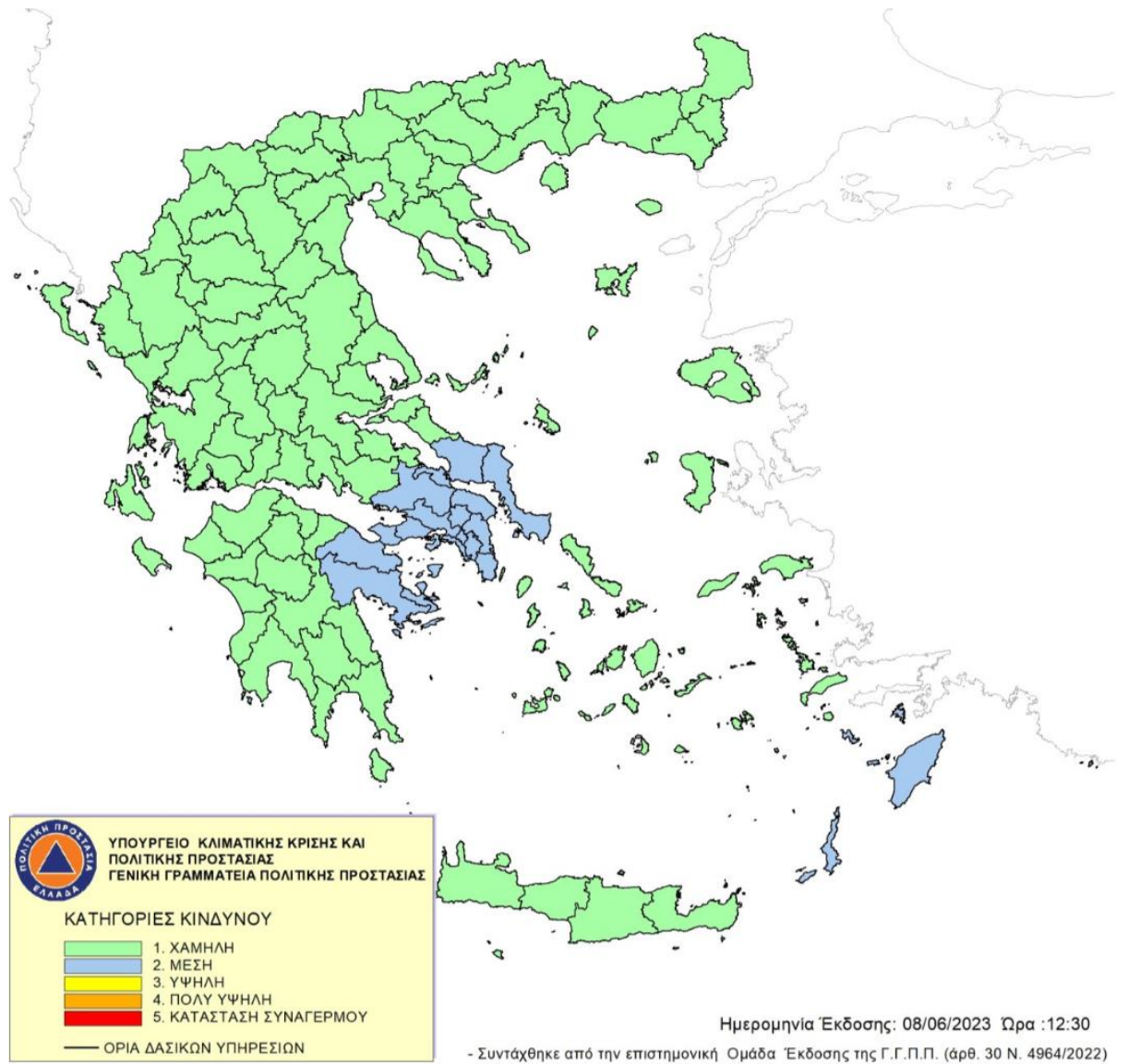


Εικόνα 5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία του σχεδιασμού του συστήματος για τη διαχείριση μιας πυρκαγιάς

Πηγή: Ίδια επεξεργασία

Κατά τη διάρκεια της εξέλιξης μιας πυρκαγιάς αρχικά, θα πρέπει να παρακολουθείται και ένα οπτικοποιείται η εξέλιξη της κατάστασης, να υπάρχει υποστηρικτική λειτουργία του σχετικού προσωπικού, και αυτοματοποιημένη λήψη αποφάσεων. Μία βασική προϋπόθεση που θα πρέπει να ισχύει για το σύνολο των προαναφερθέντων, είναι ότι, θα πρέπει το σύστημα να λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι απρόσκοπτα θα πρέπει να εξασφαλίζεται η μεταφορά πραγματικών δεδομένων στο ΓΣΠ. Για να μεταφερθούν πραγματικά δεδομένα στο ΓΣΠ αρχικά θα πρέπει να ορίζονται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του χώρου όπως είναι η μορφολογία, οι κατασκευές που υπάρχουν, η χρήση της γης και άλλα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά κτλ. Την ίδια στιγμή, θα πρέπει να ορίζονται και ορισμένα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή των συνθηκών όπως είναι παραδείγματος χάρη η έκταση του φαινομένου, η κατάσταση της λειτουργίας των υποδομών, η ένταση κ.α.

Τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως, διαφοροποιούνται ως προς το ρυθμό σύμφωνα με τον οποίον μεταβάλλονται. Η πρώτη ομάδα χαρακτηριστικών, θεωρείται ότι εξακολουθεί να παραμένει αμετάβλητη σε αντίθεση με τη δεύτερη της οποίας τα χαρακτηριστικά της μεταβάλλονται με γρήγορο ρυθμό ακόμη και από λεπτό σε λεπτό. Έτσι, μπορούν να προκύψουν οι ακόλουθοι χάρτες μέσω των οποίων αξιολογείται η επικινδυνότητα μιας περιοχής. Σαν παράδειγμα δίνεται ο χάρτης της 08.06.2023.



Εικόνα 6 Χάρτης επικινδυνότητας πυρκαγιάς

Πηγή: Civilprotection.gov.gr

Οι χάρτες αυτοί που δημοσιεύονται ημερησίως από την σελίδα Civilprotection.gov.gr, απεικονίζουν τον κίνδυνο εκδήλωσης μιας δασικής πυρκαγιάς αναλόγως των μετεωρολογικών φαινομένων που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή.

Όσον αφορά στα συστήματα πυρανίχνευσης, αποτελούν ένα ολοκληρωμένο σύστημα βάσει του οποίου γίνεται η διαχείριση μιας πυρκαγιάς. Αρχικά πραγματοποιείται η μελέτη της εκάστοτε περιοχής που επιθυμείται να προστατευτεί, οι ιδιαιτερότητες της περιοχής αυτής όσον αφορά στο υψόμετρο ή το ανάγλυφό της και πραγματοποιείται η χαρτογράφηση της περιοχής. Τα περιγραφικά και γεωγραφικά δεδομένα και πληροφορίες που θα χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό ενός συστήματος διαχείρισης πυρκαγιάς αποτελούν το υπόβαθρο του συνόλου των διαδικασιών του συστήματος (Furgang and Graham, 2019).. Ο σχεδιασμός ενός τέτοιου συστήματος, σε

μεγάλο βαθμό καθορίζεται από τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα αλλά και από την εισαγωγή νέων πληροφοριών.

Κατά την παρούσα περίοδο στην Ελλάδα, υπάρχουν ορισμένοι δημόσιοι οργανισμοί, που διαθέτουν τα χαρτογραφικά τους δεδομένα σε ιδιώτες, είτε σε αναλογική είτε σε ψηφιακή μορφή. Οι δημόσιοι αυτοί οργανισμοί, παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί.



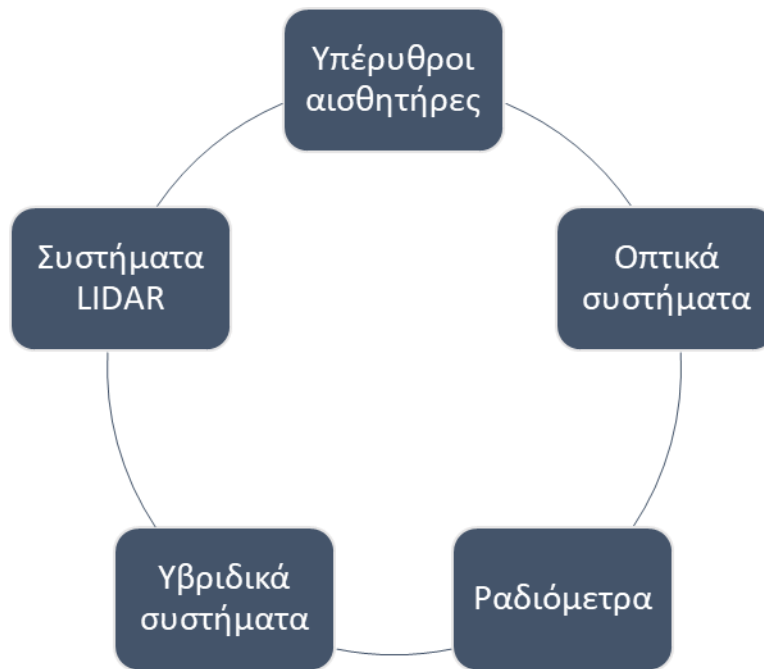
Εικόνα 7 Οργανισμοί που διαθέτουν δεδομένα χαρτογράφησης περιοχών

Πηγή: ίδια επεξεργασία

Την ίδια στιγμή, σε πολλές νομαρχίες ή σε τεχνικές υπηρεσίες των ΟΤΑ, διατίθεται δεδομένα που προκύπτουν είτε από τους προηγούμενους δημόσιους οργανισμούς είτε μέσα από διάφορες μελέτες και έργα που διεξάγονται. Τέλος, υπάρχουν σημαντικές πληροφορίες μετά την ολοκλήρωση μεγάλων έργων όπως το κτηματολόγιο η δασολόγιο.

Σε πολλά τέτοια συστήματα γίνεται η χρήση διαφόρων δορυφορικών εικόνων, ορίζοντας εκ των προτέρων την έκταση και την ημερομηνία που είναι αναγκαίες για τον καθορισμό των συνθηκών. Οι δορυφορικές εικόνες χρησιμεύουν σε μεγάλο βαθμό, για το σχεδιασμό ενός ευρέος φάσματος εφαρμογών που σχετίζονται με το περιβάλλον, και αυτό το στοιχείο έχει συντελέσει στην ύπαρξη και στην ανάπτυξη πολλών προϊόντων που εντάσσονται στην κατηγορία αυτή.

Εφόσον η διαδικασία της χαρτογράφησης μιας περιοχής έχει ολοκληρωθεί, στη συνέχεια θα πρέπει να ληφθούν ορισμένες αποφάσεις αναφορικά με τη μέθοδο που πρόκειται να εφαρμοστεί για την ανίχνευση μιας πυρκαγιάς. Η ανίχνευση μιας πυρκαγιάς μπορεί να γίνει είτε χρησιμοποιώντας επίγειους σταθμούς για την παρατήρηση, είτε αξιοποιώντας μεταφερόμενες μονάδες παρατήρησης (Trammel, 2009). Επίσης, η παρατήρηση μπορεί να γίνει με τη χρήση εναέριων μέσων ή διαστημικών πλατφορμών. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τεχνολογίες που ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται για να εντοπιστεί ο καπνός.



Εικόνα 8 Τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό καπνού

Πηγή: Επεξεργία από:

Αρχικά οι υπέρυθροι αισθητήρες, είναι υπεύθυνοι για τον εντοπισμό της πηγής από την οποία εκπέμπεται η θερμότητα. Η υπέρυθρη ακτινοβολία, εκπέμπεται από οποιοδήποτε αντικείμενο και καταγράφεται από την κάμερα. Η θερμοκρασία του αντικείμενου, συγκρίνεται στη συνέχεια με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σχηματίζοντας ξεκάθαρα τη μορφή του. Για τις κάμερες της συγκεκριμένης κατηγορίας δεν διαδραματίζει κανένα ρόλο η παρουσία φωτισμού στο χώρο. Στην απεικόνιση, ο μόνος παράγοντας που επιδρά είναι αυτός της θερμοκρασίας.

Ύστερα τα οπτικά συστήματα, χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό του αυξανόμενου ίχνους του καπνού κατά τη διάρκεια της ημέρας και τη διαφορά έντασης που παρουσιάζεται στο φωτισμό κατά τη διάρκεια της νύχτας. Τα οπτικά συστήματα έχουν χαμηλότερο κόστος σε σχέση με τους υπερέρυθρους αισθητήρες, και μπορούν να απεικονίσουν έγχρωμα τα αποτελέσματα κατά τη διάρκεια της ημέρας και ασπρόμαυρα κατά τη διάρκεια της νύχτας (Diamantes, 2016).

Στη συνέχεια, τα υβριδικά συστήματα κάνουν χρήση πολλαπλών μεθόδων παραγωγής ενέργειας ή αντίστοιχα λειτουργούν βάσει ενός συνδυασμού ανανεώσιμων και συμβατικών πηγών ενέργειας για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου διακοπής τροφοδοσίας. Τα συστήματα αυτά, χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της χρονικής εξέλιξης της κατανομής των εκλυόμενων αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα και της χωρικής καταγραφής. Η χρονική καταγραφή έχει μεγάλη ακρίβεια με (10-30 s) όπως και η χωρική καταγραφή (7.5 - 15 m).

Τέλος, τα ραδιόμετρα χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό των ραδιομετρικών στοιχείων, του καπνού. Το μέτρο αυτό, στην ουσία συνιστά υπέρυθρους θερμικούς απεικονιστικές δηλαδή φωτογραφικές μηχανές οι οποίες μπορούν να ανιχνεύσουν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια η οποία ακτινοβολείται από ένα αντικείμενο στην υπέρυθρη

φασματική ζώνη και η ενέργεια αυτή μετατρέπεται στη συνέχεια σε ηλεκτρικό σήμα μέσω των ραδιόμετρων.

Τέλος, για την ολοκλήρωση της διαδικασίας θα πρέπει να ληφθούν στοιχεία και δεδομένα αναφορικά με τη μετεωρολογική κατάσταση της περιοχής. Έτσι, θα πρέπει να εγκαθίστανται μετεωρολογικοί σταθμοί σε διάφορα σημεία, οι οποίοι σταθμοί θα είναι εξοπλισμένοι με διάφορα όργανα και εργαλεία που χρησιμεύουν για την παρατήρηση της κατάστασης της ατμόσφαιρας έτσι ώστε να συλλέγουν πληροφορίες για το κλίμα (Trammel, 2009). Με αυτό τον τρόπο, λαμβάνονται δεδομένα που έχουν να κάνουν με την υγρασία, τη θερμοκρασία, το ύψος της βροχής και την πίεση μιας περιοχής αλλά και άλλες πληροφορίες που έχουν να κάνουν με την ένταση των ανέμων.

Διαχρονικά, έχουν αναπτυχθεί διάφορα δίκτυα μετεωρολογικών σταθμών, τα οποία μελετούν την εξέλιξη διαφόρων ατμοσφαιρικών φαινομένων. Στους σταθμούς αυτούς συγκεντρώνονται οι πληροφορίες σε κεντρικούς εξυπηρετητές δικτύου και γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων, έτσι ώστε να προκύψουν συγκεκριμένα μοντέλα παρατήρησης.

10.Συστήματα πρόληψης και διαχείρισης δασικών πυρκαγιών

10.1Στην Ελλάδα

Μέχρι σήμερα, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες στο πεδίο της πυρανίχνευσης. Η εξέλιξη των τεχνολογιών αυτών βασίζεται στην ανάπτυξη των επικοινωνιακών και τεχνολογικών δομών συνδυαστικά με την εξειδίκευση του ανθρώπινου δυναμικού.

Στο σημείο αυτό, γίνεται αναφορά στην εξέλιξη των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, και στη μετέπειτα εντάξει τους στις διαδικασίες για την καταγραφή, τη διαχείριση, την ανάλυση και τη χαρτογράφηση πληροφοριών σχετικά με το γεωγραφικό χώρο. Στη συνέχεια, γίνεται μία συνοπτική αναφορά στα σημαντικότερα συστήματα που έχουν εφαρμοστεί σήμερα, στην Ελλάδα και διεθνώς.

Ένα σύστημα για την πρόληψη και διαχείριση δασικών πυρκαγιών που έχει αναπτυχθεί για την ελληνική επικράτεια είναι το σύστημα *Σίθων*. Σκοπός του συστήματος αυτού, είναι η ανάπτυξη μεθόδων μέσω των οποίων θα γίνεται εφικτός ο εντοπισμός της εξέλιξης των δασικών πυρκαγιών αλλά και η μείωση του χρόνου που χρειάζεται για να ληφθούν αποφάσεις για τη διαχείρισή τους. Επίσης μέσω του συστήματος δημιουργείται μία κοινή βάση δεδομένων, στην οποία έχουν πρόσβαση όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς έτσι ώστε να μπορέσουν να λάβουν αποφάσεις για την πρόληψη αλλά και για την καταστολή των πυρκαγιών (Χριστοδούλου και συν, 2007).

Στο πλαίσιο του προγράμματος αυτού, αναπτύσσονται διάφορα συστήματα για την επίγεια και εναέρια τηλεανίχνευσης των πυρκαγιών, ενώ παράλληλα αξιολογούνται οι δυνατότητες που προσφέρονται από τη σύγχρονη τεχνολογία όσον αφορά στις τοπικές συνθήκες της Ελλάδας. Επίσης συγκρίνονται, οι μέθοδοι τόσο σε επιχειρησιακό όσο και σε οικονομικό επίπεδο με το υπάρχον σύστημα του δικτύου πυροφυλακίων, και στοχεύεται η ελάττωση του χρόνου επέμβασης των πυροσβεστικών οχημάτων (Χριστοδούλου και συν, 2007).

Για να καλυφθούν οι ανάγκες του προγράμματος ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι του έγινε καταγραφή της καύσιμης ύλης και αξιολόγηση του συνολικού κινδύνου πυρκαγιάς στην επιλεγμένη περιοχή. Τα δεδομένα αναφορικά με την καύσιμη ύλη, είναι

αναγκαία έτσι ώστε να γίνεται αποδοτικά ο σχεδιασμός των δράσεων πρόληψης και διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών. Μέσω του συστήματος δημιουργήθηκε στην περιοχή έρευνας, στη Σιθωνία ένα δίκτυο ασύρματων εικονοληπτών που βρίσκονται εκεί σε σταθερή βάση και είναι τοποθετημένοι σε καίρια σημεία της περιοχής έρευνας. Οι εικονολήπτες αυτοί σαρώνουν την περιοχή και συλλέγουν δεδομένα τα οποία αποστέλλονται σε πραγματικό χρόνο στο κέντρο συντονισμού του προγράμματος (Χριστοδούλου και συν, 2007).

Ένα από τα βασικότερα συστήματα που έχουν εφαρμοστεί στην Ελλάδα για την πρόληψη και τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών είναι το σύστημα G-Fmis. Το συγκεκριμένο σύστημα, έχει χρησιμοποιηθεί στο όρος *Όλυμπος* για λογαριασμό της Διεύθυνσης Δασών Πιερίας. Επιπροσθέτως, έχει χρησιμοποιηθεί στο δήμο Ομηρούπολης Χίου που εγκαταστάθηκε ένα ηλεκτρονικό σύστημα δασοπροστασίας. Αναφορικά με την επιχειρησιακή λειτουργία του συστήματος, σε αυτό εμπλέκονται διάφοροι τοπικοί φορείς. Το σύστημα, επικεντρώνεται στη λειτουργία για την πρόβλεψη της δασικής πυρκαγιάς, και σήμερα καλύπτει το μεγαλύτερο τμήμα της Χίου, όπου λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της, με δύσκολο ανάγλυφο και απομονωμένα τοπία, έχει προτεραιότητα. Επιπλέον, το σύστημα αυτό έχει εφαρμοστεί στο Νότιο Αιγαίο, στο δάσος της Σύμης, στο Ηράκλειο Κρήτης αλλά και στον Ταξιάρχη του Νομού Χαλκιδικής (Kochilakis et al., 2016).

Παρακάτω, το σύστημα Infofire είναι ένα σύστημα ολοκληρωμένης πρόληψης και διαχείρισης και ελέγχου των δασικών πυρκαγιών. Το σύστημα αυτό, υλοποιήθηκε και εφαρμόστηκε στο όρος Βόρας και ολοκληρώθηκε σε πέντε διαφορετικές φάσεις. Η πρώτη φάση συμπεριέλαβε τη δημιουργία των ορθοφωτοχαρτών της περιοχής και τη συλλογή και ψηφιοποίηση των χαρτογραφικών δεδομένων αλλά και των χωρικών πληροφοριών. Στη συνέχεια ακολούθησε η δημιουργία του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών, εξασφαλίστηκε ο κατάλληλος εξοπλισμός στο επιχειρησιακό κέντρο και διαμορφώθηκαν κατάλληλα οι μετεωρολογικοί σταθμοί ενώ έγινε και εκπαίδευση του προσωπικού (Infodim.gr, 2023).

Ολοκληρώνοντας, πραγματοποιήθηκαν διάφορες δράσεις ενημέρωσης του κοινού, και δημιουργήθηκε διαδικτυακή πύλη για την προώθηση του έργου. Παρόμοιο σύστημα στη συνέχεια εγκαταστάθηκε και στα χάνια της Κρήτης κοντά στο φαράγγι της Σαμαριάς, στο Νότιο Ηράκλειο και στο φοινικόδασος της μονής Πρέβελης. Βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος, είναι το ασύρματο δίκτυο διανομής, αναμετάδοση αλλά και πρόσβασης που χρησιμεύει στη μεταφορά πληροφοριών με υψηλές ταχύτητες, έτσι ώστε να διασυνδέονται τα κέντρα διαχείρισης κρίσεων με ένα δίκτυο εικονοληπτών που χρησιμοποιείται για την κάλυψη των προαναφερόμενων δασικών περιοχών και ως βάση του είναι η δημιουργία ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (Infodim.gr, 2023).

Συνεχίζοντας με την ανάλυση των συστημάτων πρόληψης και διαχείρισης πυρκαγιών που χρησιμοποιούνται στην ελληνική επικράτεια, αναφορά θα πρέπει να γίνει και στο σύστημα Fire mentor. Το σύστημα αυτό, αποτελεί ένα επιχειρησιακό σύστημα για το σχεδιασμό και τη λήψη αποφάσεων, το οποίο εφαρμόστηκε πιλοτικά στο δάσος της νέας Πεντέλης σε μία έκταση συνολικά 500 τετραγωνικών μέτρων με τη βοήθεια εθελοντών. (Μαρκάτος, Βεσκούδης και Κυρανούδης, 2013)

Υστερα, το FFRMIS είναι ένα σύστημα που αποτελείται από υπολογιστικό, μετεωρολογικό και τηλεματική εξοπλισμό και ως στόχος του τίθεται η παροχή δεδομένων στους αρμόδιους φορείς της περιφέρειας Ιονίων Νήσων αναφορικά με τη

διαχείριση των πυρκαγιών. Το σύστημα αυτό, είναι ένα βασικό εργαλείο για την πληροφόρηση και τη διαχείριση των πυρκαγιών, και χρησιμοποιείται κυρίως από την τοπική διοίκηση πυροσβεστικών υπηρεσιών των Ιονίων Νήσων.

Ένα ακόμη σύστημα που χρησιμοποιείται είναι το σύστημα για την ανίχνευση πυρκαγιών είναι το AEGIS το οποίο στοχεύει στην ανάπτυξη του διαδικτυακού γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών, που θα χρησίμευε στην πρόληψη αλλά και τη διαχείριση των πυρκαγιών. Το σύστημα, δίνει πρόσβαση σε δεδομένα για την πρόληψη πυρκαγιών, αλλά και σε άλλα στοιχεία, αναφορικά με την κάλυψη υγείας, τα δίκτυα, της χρήσης της γης, τις πυροσβεστικές υπηρεσίες κ.α. Επίσης, το σύστημα συλλέγει τα δεδομένα για τη δημιουργία προγνωστικών χαρτών κάλυψης, των οποίων, των οποίων η δημιουργία βασίζεται κατά βάση σε δορυφορικές εικόνες του πολυφασματική δορυφόρου rapideye αλλά και σε άλλες πληροφορίες που προκύπτουν από το σύστημα ταξινόμησης βλάστησης CORINE 2000 (Καλαμποκίδης et al., 2014).

Το σύστημα χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές για την εκτίμηση του κινδύνου έναρξης πυρκαγιάς ενώ παράλληλα μοντελοποιεί τη συμπεριφορά της εκάστοτε πυρκαγιάς συνεργαζόμενο, με διάφορες επιστημονικές ομάδες παγκοσμίως. Τα μαθηματικά μοντέλα που εφαρμόζονται στα πλαίσια του προγράμματος δημιουργούνται έχοντας σαν βάση τις διάφορες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης, που υπολογίζουν την πιθανότητα έναρξης μιας πυρκαγιάς αλλά και άλλες μεθόδους προσομοίωσης χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Minimum Travel Time και το σύστημα flammmap (Καλαμποκίδης et al., 2014).

Η δομή των πληροφοριών που χρησιμοποιεί το σύστημα έχει σαν βάση της διάφορες τεχνικές παράλληλης επεξεργασίας όπως είναι παραδείγματος χάριν η τεχνική του υπολογιστικού νέφους αλλά και τεχνικές υπολογιστικής απόδοσης έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ταχύτητα και η ισχύς των υπολογισμών. Το σύστημα αυτό, δίνει ανοιχτή πρόσβαση στα δεδομένα σε όλους τους εξουσιοδοτημένους χρήστες, ενώ μπορεί να συντηρείται και να αναπτύσσεται τακτικά. Οι λειτουργίες που προσφέρονται, είναι δωρεάν προσβάσιμες στις Πυροσβεστικές Δασικές Υπηρεσίες και στις Αρχές Πολιτικής Προστασίας, έτσι ώστε να μπορούν πιο έγκυρα και γρήγορα να λαμβάνουν τις αποφάσεις τους για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών (Καλαμποκίδης et al., 2014).

Υστερα, γίνεται αναφορά στο σύστημα πρόληψης και διαχείρισης δασικών πυρκαγιών, Firetactic το οποίο αναπτύχθηκε για λογαριασμό της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Κορινθίας και στόχος του ήταν να παρέχει εξειδικευμένες υπηρεσίες και χαρτογραφημένα δεδομένα υψηλής ευκρίνειας, έτσι ώστε να παρέχει την απαραίτητη υποστήριξη στους φορείς που είναι αρμόδιοι για τη λήψη αποφάσεων αναφορικά με τη διαχείριση του κινδύνου των πυρκαγιών. Η υποστήριξη από την πλευρά του προγράμματος παρέχεται σε όλα τα στάδια εξέλιξης του φαινομένου της πυρκαγιάς ενώ για τις απαιτήσεις του έργου, είχε προγραμματιστεί πτήση από την map E.P.E. σε συνεργασία με την Blom Aerofilms Ltd ενώ για την πτήση διατέθηκε εξοπλισμένο αεροσκάφος το οποίο είχε ενσωματωμένη φωτογραμμετρική μηχανή εναέριων λήψεων (Vexcel ultracam-D). Συνολικά, για τις ανάγκες του προγράμματος λήφθηκαν 4100 εικόνες υψηλής ανάλυσης ενώ την ίδια στιγμή, πραγματοποιήθηκαν ορισμένες μετρήσεις GPS/IMU. Τα δεδομένα που εξασφαλίστηκαν, αναλύθηκαν έτσι ώστε να πληρείται το κριτήριο της ακρίβειας με σημαντικά μικρότερο αριθμό φωτοσταθερών ένα γεγονός το οποίο οδηγεί στην επιτάχυνση όλων των διαδικασιών για την παραγωγή και τη μείωση των εργασιών που απαιτούνται στην ύπαιθρο (Υφαντή, 2015).

Το έργο που δημιουργήθηκε, είχε ως βασικό του στόχο την ανάπτυξη ενός συνολικού συστήματος για την πρόληψη του κινδύνου της πυρκαγιάς και τη διαχείρισή της, χρησιμοποιώντας ειδικό εξοπλισμό και εξειδικευμένες υπηρεσίες. Το σύστημα, παρείχε δεδομένα και πληροφορική υποστήριξη στους αρμόδιους φορείς στοχεύοντας στην αντιμετώπιση του κινδύνου των δασικών πυρκαγιών.

Παρακάτω, το σύστημα ARCFIRE το οποίο αναπτύχθηκε για την ελληνική επικράτεια, μελετά τα στοιχεία που έχουν να κάνουν με την εκτίμηση της επικινδυνότητας, τα μετεωρολογικά στοιχεία, τη γεωπληροφορική, την καύσιμη ύλη, ενώ παράλληλα κάνει χρήση ασύρματων αισθητήρων και τηλεπικοινωνιών. Στο σύστημα αυτό, η καύσιμη ύλη κατηγοριοποιείται με τη χρήση διαφόρων πολυπαραμετρικών μοντέλων, τα οποία χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση των ιδιοτήτων της έχοντας σαν σημείο αναφοράς την λεπτότητα και την καύση της. Η κατηγοριοποίηση πραγματοποιείται με τη χρήση δειγματοληπτικών ερευνών αλλά και της τηλεπισκόπησης, έτσι ώστε να γίνεται πιο εύκολη η οργάνωση των μοντέλων με τη χρήση των καταλόγων. Με αυτό τον τρόπο, το σύστημα αυτό δίνει τη δυνατότητα σε εμπλεκόμενους φορείς και ομάδες όπως είναι οι δασολόγοι να μπορούν να σχεδιάσουν καταλόγους χρησιμοποιώντας μοντέλα μεγάλης ακρίβειας τα οποία προσαρμόζονται σε πραγματικό χρόνο (Υφαντή, 2015).

Για την εκτίμηση του βαθμού επικινδυνότητας με τη χρήση του συγκεκριμένου μοντέλου γίνεται ο υπολογισμός των τριών διαφορετικών παραγόντων, της πιθανότητας εκδήλωσης της πυρκαγιάς, της έντασης που ενδεχομένως να έχει και του μεγέθους των επιπτώσεων στην βιώσιμη ανάπτυξη. Η λειτουργία του ARCFIRE, επικεντρώνεται στην ανάλυση της επικινδυνότητας της πυρκαγιάς χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές χωρικής επεξεργασίας αξιοποιώντας παράλληλα τις δυνατότητες του GIS και της στατιστικής ανάλυσης. Το εργαλείο αυτό, αναπτύσσει συνεργασίες με διάφορα δίκτυα μετεωρολογικών και οπτικών αισθητήρων στοχεύοντας εντέλει στο να πετύχει τον έγκαιρο εντοπισμό της εξέλιξης της πυρκαγιάς (Υφαντή, 2015).

Στην περίπτωση αυτή, χρησιμοποιείται διαφορετικό δίκτυο αισθητήρων, σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις. Αρχικά, το δίκτυο ασύρματων αισθητήρων WSN χρησιμοποιείται σε μικρές περιοχές όπου το ρίσκο πυρκαγιάς είναι υψηλό ενώ σε ευρύτερες περιοχές, για τον εντοπισμό χρησιμοποιείται επίγειο δίκτυο εικονοληπτών. Επιπροσθέτως, το σύστημα συνεργάζεται με διάφορες υπηρεσίες μετεωρολογικών προβλέψεων για τη συγκέντρωση μετρήσεων υψηλής χώρο - χρονικής ακρίβειας. Το μοντέλο, για την προσομοίωση έχει σαν βάση του τη θεωρία του Rothermel (Andrews, 2012) και στις εξισώσεις BEHAVE της Andrews (Andrews, 2003).

Κατά συνέπεια, προκύπτει ότι δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης της εξέλιξης της πυρκαγιάς εφαρμόζοντας τη διαδικασία του επαναληπτικού μηχανισμού. Ολοκληρώνοντας, το λογισμικό οργανώνεται βάση ενός ασύρματου επίγειου τηλεπικοινωνιακού αλλά και δορυφορικού δικτύου. Συνολικά τα δεδομένα οργανώνονται σε διάφορες γεωβάσεις κάνοντας χρήση του λειτουργικού της ESRI.

Ολοκληρώνοντας, το σύστημα LIDAR που αναφέρθηκε και προηγουμένως έχει χρησιμοποιηθεί μόνο πιλοτικά σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας, λόγω κυρίως του υψηλού κόστους. Ωστόσο, ευρέως έχει χρησιμοποιηθεί διεθνώς, παράγοντας πολύ σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά στην πρόληψη αλλά και τη διαχείριση των πυρκαγιών που εξελίσσονται σε δασικές εκτάσεις. Το σύστημα αυτό, συνδυάζει δύο διαφορετικά όργανα, μία συσκευή λέιζερ και ένα τηλεσκόπιο. Μέσω του συστήματος σκανάρεται η ατμόσφαιρα και η ακτίνα laser υψώνεται σε 20 έως 30 km από την

επιφάνεια του πλανήτη φθάνοντας μέχρι τη στρατόσφαιρα. Μέρος του φωτός που διαδίδεται στην ατμόσφαιρα, αντανακλάται από αιωρούμενα σωματίδια που περιέχουν ενδεχομένως καπνό και επιστρέφει στη γη. Το σύνολο των δεδομένων αυτών, συγκεντρώνονται μέσω του τηλεσκοπίου και αναλύονται από φωτό - ανιχνευτές. Η τεχνολογία αυτή που περιγράφεται, χρησιμοποιείται και για την έγκαιρη προειδοποίηση για την εξέλιξη της φωτιάς, εφόσον σε περίπτωση που τα LIDAR εντοπίσουν στον ουρανό ίχνη καπνού δίνεται το σχετικό σήμα. Το σύστημα αυτό, διαθέτει ένα τρισδιάστατο εργαλείο ανάγνωσης, και έτσι οι συντεταγμένες της πυρκαγιάς δίδονται με μεγάλη ακρίβεια (Moran, Kane and Seielstad, 2020).

10.2 Διεθνής εικόνα

Βάσει των διαθέσιμων στατιστικών στοιχείων για τις χώρες της Ευρώπης, σε ετήσια βάση λόγω πυρκαγιών καταστρέφονται πάνω από 10.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα βλάστησης. Οι δραστηριότητες αυτές οδηγούν στην αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, σε ποσοστό που φτάνει μέχρι το 20%. Στη συνέχεια, γίνεται μία αναφορά στα συστήματα πρόληψης και διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών, τα οποία εφαρμόζονται διεθνώς.

Αρχικά, γίνεται αναφορά στο σύστημα IFFED το οποίο αξιοποιείται στο πεδίο της ανίχνευσης αλλά και της διαχείρισης δασικών πυρκαγιών. Το σύστημα αυτό λειτουργεί αυτόματα όλο το 24ωρο και αποτελείται από πολλά σημεία παρατήρησης που είναι διασκορπισμένα στην περιοχή ενδιαφέροντος και από ένα κέντρο ελέγχου (Kolaric, Skala and Dubravac, 2008). Η ανίχνευση των πυρκαγιών, γίνεται χρησιμοποιώντας τα σημεία παρατήρησης, τα οποία είναι στην ουσία πύργοι που αποτελούνται από διάφορους αισθητήρες οι οποίοι λαμβάνουν εικόνες, από το μετεωρολογικό σταθμό και από ένα σύστημα που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των δεδομένων (Europa.eu, 2015).

Οι πύργοι εγκαθίστανται σε σημεία που καλύπτουν μεγάλες περιοχές και έχουν ενσωματωμένα συστήματα εντοπισμού θέσης που χρησιμοποιούν υπέρυθρες και οπτικές κάμερες. Οι υπέρυθρες κάμερες που χρησιμοποιούν οι πύργοι, καλύπτουν μεγάλη ακτίνα και έχουν υψηλή ανάλυση. Συνολικά το σύστημα, είναι εξοπλισμένο με ένα ολοκληρωμένο δίκτυο αισθητήρων που συγκεντρώνουν τις μετεωρολογικές πληροφορίες ενώ το κέντρο ελέγχου, μεταφέρει τις πληροφορίες που λαμβάνει σε ένα κεντρικό υπολογιστή, έτσι ώστε να αναλυθεί η περίπτωση συναγερμού με τη χρήση των δεδομένων αυτών (Kolaric, Skala and Dubravac, 2008).

Εφόσον διαπιστωθεί η εγκυρότητα του συναγερμού, ακολουθεί τροφοδότηση του κέντρου μέσω θεματικών χαρτών με δεδομένα για τα χαρακτηριστικά της περιοχής. Ύστερα με τη χρήση των ΓΠΣ το κέντρο αναπαράγει χάρτες κινδύνου, και προσομοιώνει τη συμπεριφορά της φωτιάς έτσι ώστε να γίνει πιο ορθά η διαχείριση της. Στη συνέχεια γίνεται ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός προγράμματος για την καταπολέμηση του κινδύνου μέσω των διαθέσιμων μέσων πυροπροστασίας. Το σύστημα αυτό στο οποίο έγινε αναφορά, εφαρμόζεται στην Κροατία (Υφαντή, 2015).

Παρακάτω το EYEFi είναι ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται διεθνώς για την πρόληψη και τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών. Το σύστημα αυτό αποτελεί στην ουσία ένα πιλοτικό εργαλείο για την ανίχνευση των δασικών πυρκαγιών, το οποίο χρησιμοποιείται ως επί το πλείστον στην Αυστραλία και σχεδιάστηκε το 2009. Το σύστημα, έχει ορισμένες βασικές λειτουργίες που έχουν να κάνουν με την ανίχνευση, την παρακολούθηση και διαχείριση των πυρκαγιών, αμβλύνοντας παράλληλα τις αρνητικές συνέπειες στις οποίες οδηγούν οι πυρκαγιές (Heywood, 2018). Ο πυρήνας εφαρμογής του συστήματος βασίζεται στο eyefi Navigator, όπου γίνεται η σύνδεση του περιβάλλοντος

του χρήστη με ένα σύστημα περιήγησης με τη βοήθεια του διαδικτύου, δίνοντας τη δυνατότητα παρακολούθησης συνολικά της περιοχής ελέγχοντας την κάμερα του συστήματος και λαμβάνοντας εικόνες από τους αισθητήρες. Επίσης ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αποστείλει συντεταγμένες του σημείου ανάφλεξης (Chowdary et al., 2018).

Παρακάτω, το σύστημα IQ firewatch εφαρμόζεται σε χώρες όπως είναι η Κύπρος, η Τσεχία, η γερμανία και άλλες. Το σύστημα χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό καπνού, και εφαρμόζεται ευρέως στη γερμανία εφόσον αποτελεί και τη χώρα παραγωγής του. Μέσω της χρήσης του, εντός του χρονικού διαστήματος των 10 ετών, έχει οδηγήσει σε ουσιαστική μείωση των καταστροφών των δασικών εκτάσεων από τις πυρκαγιές σε ποσοστό της τάξεως του 80 έως 90% (byteKultur GmbH, 2017).

Στη γερμανία, που εφαρμόζεται το σύστημα IQ firewatch βάσει του οποίου λειτουργούν συνολικά 178 πηγές για την παρατήρηση και 22 κέντρα ελέγχου. Το σύστημα στην ουσία, αποτελεί ένα ψηφιακό τηλεσκοπικό εργαλείο, του οποίου η τοποθέτηση γίνεται σε επίγειους σταθμούς. Σκοπός του συστήματος είναι η συγκέντρωση, ανάλυση και αποθήκευση των δεδομένων που προκύπτουν από την παρατήρηση σε δασικές εκτάσεις. Μέσω του συστήματος μπορούν να αξιολογηθούν τα δεδομένα έτσι ώστε, σε περίπτωση ανάφλεξης να αποσταλεί αυτοματοποιημένα συναγερμός. Στα συστατικά μέρη του συστήματος IQ firewatch συμπεριλαμβάνεται το σύστημα των οπτικών αισθητήρων που περιστρέφεται 360 μοίρες σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, η ασύρματη σύνδεση και το κέντρο ελέγχου (Chowdary et al., 2018).

Παρακάτω ένα ακόμη σύστημα που εφαρμόζει για την πρόληψη και τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών διεθνώς είναι το σύστημα FIREHAWK. Το σύστημα αυτό, για πρώτη φορά αναπτύχθηκε το 1994. Η εταιρεία ανάπτυξής του είχε σαν στόχο την αντικατάσταση των παραδοσιακών επανδρωμένων συστημάτων που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των πυρκαγιών, με πιο εξελιγμένα τεχνολογικά μέσα. Η εταιρεία προχώρησε στην ανάπτυξη ενός συστήματος που έλαβε την ονομασία FIREHAWK, μέσω του οποίου λαμβάνονται με τη χρήση ψηφιακών καμερών εικόνες που καλύπτουν μεγάλο εύρος των περιοχών. Εκτός της κάλυψης που παρέχουν τα συστήματα της εταιρείας, είναι σημαντικά και για την αποστολή πληροφοριών σε ένα κεντρικό σταθμό όπου γίνεται η διάκριση των πληροφοριών οι οποίες προέρχονται από τη φωτιά σε σχέση με εκείνες που προέρχεται από τον καπνό. Εφόσον διαχωριστούν οι πληροφορίες αποστέλλεται ένα σήμα συναγερμού (Hausheer, 2018).

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται σε οκτώ κεντρικούς πύργους στο σύνολο, που βρίσκονται σε απομακρυσμένες τοποθεσίες και συνδέονται με ένα κεντρικό επεξεργαστή. Παρόλα αυτά, ο κεντρικός σταθμός της βάσης, συνδέεται με ένα μεγάλο πλήθος επεξεργαστών. Οι κάμερες του FIREHAWK, έχουν τη δυνατότητα να εκτελέσουν μία πλήρη περιστροφή 360 μοιρών σκανάροντας την περιοχή εξολοκλήρου (Hausheer, 2018).

Ολοκληρώνοντας γίνεται αναφορά στο σύστημα AlarmEye το οποίο ως επί το πλείστο εφαρμόζεται στην Ταϊλάνδη. Στην περιοχή εκείνη, οι περισσότερες πυρκαγιές εξελίσσονται και κατά τη διάρκεια των ξηρών περιόδων, δηλαδή μεταξύ Δεκεμβρίου και Μαΐου. Ένας κρίσιμος παράγοντας για την εκδήλωση των πυρκαγιών είναι οι παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας. Το σύστημα AlarmEye έχει ως βασικό του χαρακτηριστικό ένα σύστημα για την απεικόνιση βίντεο δασικών πυρκαγιών, το οποίο σύστημα βασίζεται στην ανίχνευση μέσω υπερύθρων αισθητήρων οι οποίοι ξεχωρίζουν

την φωτιά από τον καπνό. Το μηχάνημα αυτό, είναι το πρώτο που μπορεί να έχει τη δυνατότητα λήψης βίντεο και εικόνας και μπορεί να ανιχνεύσει την καταστροφή και να προειδοποιήσει αποστέλλοντας σήματα κινδύνου (Alkhatib, 2017).

Επιπροσθέτως, ένα σημαντικό στοιχείο για το σύστημα AlarmEye είναι ότι μπορεί να εντοπίσει πυρκαγιές με διαφανές φλόγες οι οποίες βρίσκονται σε αρχικό στάδιο εκδήλωσης. Το σύστημα αυτό, μπορεί να πραγματοποιήσει πολλαπλές λήψεις εικόνας και βίντεο και έχει σαν στόχο τον προσδιορισμό της ακριβούς θέσης της εξέλιξης του περιστατικού. Το σύστημα λειτουργεί σε δυσμενείς καιρικές συνθήκες, και μπορεί να χρησιμοποιείται σαν ανεξάρτητο εργαλείο ή σε συνεργασία με το υπόλοιπο δίκτυο. Ανάλογα με το είδος της κάμερας που χρησιμοποιείται για το σύστημα, παρουσιάζεται και διαφορετική ικανότητα όσον αφορά στη μέτρηση της απόστασης. Για να εξασφαλίζεται η ορθή λειτουργία του συστήματος, είναι ενσωματωμένη στο λογισμικό του διάφοροι αλγόριθμοι που εξυπηρετούν διαφορετικούς σκοπούς αναφορικά με τη μείωση των σφαλμάτων, αυξάνοντας παράλληλα την αξιοπιστία του συστήματος (Ahmad, 2014).

Τέλος, το σύστημα έχει ενσωματωμένο έναν αλγόριθμο ο DSP, με κάμερα RS485 και θύρα εξόδου δεδομένων, η οποία έχει συμβατότητα με το σύστημα συναγερμού που χρησιμοποιεί. Βάσει της μεθοδολογίας αυτής εντός ενός ευρέος δικτύου παρακολούθησης γίνεται η εγγραφή βίντεο. Σε ένα γενικότερο πλαίσιο, το σύστημα κάνει χρήση του VFD το οποίο αξιοποιείται για να εξασφαλίζεται η ασφάλεια από την εκδήλωση της πυρκαγιάς σε μεγάλες εκτάσεις, ανιχνεύοντας το ενδεχόμενο αυτό έγκαιρα. Η τεχνολογία που χρησιμοποιεί, είναι στην ουσία κάμερες CCTV έτσι ώστε να μειώνεται το κόστος και να αυξάνεται η αποδοτικότητα. Στο δίκτυο που εγκαθίστανται, αναπτύσσεται διαδικτυακή σύνδεση με συσκευές που δραστηριοποιούνται στην παρακολούθηση επιτυγχάνοντας έγκαιρη ανταπόκριση και καλύτερη διαχείριση της κατάστασης (Ahmad, 2014; Alkhatib, 2017).

11.Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (UAV) και δασικές πυρκαγιές

11.1Κατηγοριοποίηση των UAVs

Τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα ή αλλιώς UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) αξιοποιούνται σήμερα ευρέως, τόσο σε στρατιωτικές όσο και σε υποβοηθητικές στους ανθρώπους εφαρμογές. Ο λόγος που αξιοποιούνται σε τέτοιο βαθμό τα μη επανδρωμένα οχήματα, είναι το χαμηλό κόστος που καταβάλλεται για τη συντήρησή τους, η ευκολία με την οποία να αναπτύσσονται και η υψηλή κινητικότητα τους. Συνήθως, τα UAVs σήμερα αναφέρονται ως drones ενώ ως επί το πλείστον, συναντάται και ως συστήματα μη επανδρωμένου αεροσκάφους, ένας όρος που αναφέρεται όχι μόνο στο UAV αλλά και στο χειριστή του (Memos and Psannis, 2021).

Σε πολλές περιπτώσεις τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα, είναι εξοπλισμένα με κάμερα και χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων που προκύπτουν από την επιτήρηση, την παρακολούθηση ή την επιθεώρηση. Παραδοσιακά, τα UAVs αξιοποιούνται σε στρατιωτικές αποστολές επιτήρησης ενώ παράλληλα μπορεί να συνδράμουν ουσιαστικά στο έργο της τροχαίας για την παρακολούθηση των συνθηκών που επικρατούν στους αυτοκινητόδρομους και για την καθοδήγηση οχημάτων έκτακτης

ανάγκης (Memos and Psannis, 2021). Επιπροσθέτως, χρησιμοποιούνται για την επιτήρηση των θαλάσσιων ή των χερσαίων συνόρων μιας χώρας, και την αντιμετώπιση παράνομων δραστηριοτήτων μετανάστευσης ή λαθρεμπορίου μειώνοντας με αυτό τον τρόπο το πλήθος του ανθρώπινου δυναμικού που είναι αναγκαίο για την παρακολούθηση της διαδικασίας. Στον τομέα της προστασίας του περιβάλλοντος, ως επί το πλείστον αξιοποιούνται για την επιτήρηση και την παρακολούθηση των άγριων ζώων, ενώ παράλληλα σε πολλές περιπτώσεις, εφαρμόζονται και για την πρόληψη και τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών. Ακόμη πραγματοποιούν διάφορες εργασίες επιθεώρησης για τη διεξαγωγή δικτύων ηλεκτροδότησης, οδικών δικτύων και άλλων υποδομών (Li and Savkin, 2021; Tahir et al., 2019).

Όσον αφορά στο κομμάτι των δασικών πυρκαγιών, τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα, αξιοποιούνται κυρίως στις επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης, χωρίς να εκτίθεται σε κίνδυνο το ανθρώπινο δυναμικό (Shakhatreh et al., 2019).

Ένας νέος τομέας στον οποίο χρησιμοποιούνται σήμερα τα UAVs, είναι αυτός των τηλεπικοινωνιών. Τα UAVs στην περίπτωση αυτή αναλαμβάνουν το ρόλο της πύλης δικτύου, της συλλογής δεδομένων και του κόμβου αναμετάδοσης. Πολλές φορές, στην κατηγορία αυτή θα η αιώρηση πάνω από ένα σημείο είναι αναγκαία, και έτσι τα UAVs πολλαπλών στροφείων αποτελούν την πλέον ενδεδειγμένη λύση (Shakhatreh et al., 2019).

Για τη συλλογή δεδομένων στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί δύο διαφορετικές προσεγγίσεις είτε με τη χρήση των UAVs με πολλαπλά στροφεία είτε με τη χρήση των UAVs με σταθερά φτερά. Αρχικά η χρήση των UAVs πολλαπλών στροφείων, μπορούν να αιωρηθούν πάνω από μία θέση και έτσι μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια η θέση συλλογής. Αντίστοιχως τα UAVs σταθερή πτέρυγα, έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα και μικρότερη κατανάλωση ενέργειας. Έτσι, για την ταχεία συλλογή δεδομένων γίνεται χρήση UAVs με σταθερή πτέρυγα και αντιστοίχως για τη συλλογή δεδομένων, που χρειάζεται η απώλειες να είναι ελάχιστες γίνεται χρήση των UAVs πολλαπλών στροφείων (Nazib et al., 2021).

Τα UAVs ταξινομούνται έχοντας σαν σημείο αναφοράς ορισμένα χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά περιγράφονται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 9 Χαρακτηριστικά βάσει των οποίων ταξινόμούνται τα UAVs

Πηγή: Επεξεργασία από: Shakhatreh et al., 2019

Ωστόσο η συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση, αντιμετωπίζει ορισμένα εμπόδια, εφόσον τα όρια που υπάρχουν μεταξύ των διαφορετικών χαρακτηριστικών δεν είναι επακριβώς καθορισμένα.

Ξεκινώντας, έχοντας ως σημείο αναφοράς το πεδίο εφαρμογής υπάρχει κατηγοριοποίηση των UAVs , στις χρήσεις της πολιτικής και της στρατιωτικής αεροπορίας. Στη συνέχεια, έχοντας ως σημείο αναφοράς στην κατεύθυνση της απογείωσης και προσγείωσης των στροφείων, η ταξινόμησή τους γίνεται ως εξής (Shakhatreh et al., 2019):

- Αρχικά η κατεύθυνση της απογείωσης μπορεί να είναι είτε οριζόντια, είτε κάθετη και σε πολλαπλή ανύψωση.
- Η κατεύθυνση της απογείωσης εξαρτάται άμεσα από τον τύπο της πτέρυγας, από τις δυνατότητες των UAVs όσον αφορά στην απογείωση και την προσγείωση και από τη δορυφορική τεχνολογία.

Ύστερα, ένας ακόμη διαχωρισμός είναι αυτός της κατεύθυνσης της προσγείωσης, βάσει του οποίου διαχωρισμού, τα UAVs κατηγοριοποιούνται στις ακόλουθες τάξεις (Shakhatreh et al., 2019):

- Την οριζόντια (H)
- Την κάθετη (V)
- Το αλεξίπτωτο (P)
- Τον ιστό (M)
- Το πολλαπλό πηδάλιο

Επιπροσθέτως, αναλόγως τους βάρους αλλά και του μέγιστου εύρους πτήσης που μπορούν να κατηγοριοποιούνται σε τακτικά, λειτουργικά - τακτικά, στρατηγικά - λειτουργικά, στρατηγικά και ειδικά. Στο σχήμα που ακολουθεί, γίνεται αναλυτικότερη προσέγγιση της προηγούμενης κατηγοριοποίησης.

Τακτικά

- Τα Nano, Micro, Μίνι, κλειστής εμβέλειας-Close Range (CR)

Λειτουργικά - τακτικά

- Μικρής εμβέλειας-Short Range (SR), μεσαίας εμβέλειαςMedium Range (MR), μεσαίας εμβέλειας αντοχής-Medium Range Endurance (MRE) και αυτά με βαθιά διείσδυση σε χαμηλό υψόμετρο-Low Altitude Deep Penetration (LADP).

Στρατηγικά - λειτουργικά

- Μεσαίου υψομέτρου μεγάλης αντοχής-Medium Altitude Long Endurance (MALE) και τα χαμηλού υψομέτρου μεγάλης αντοχής-Low Altitude Long Endurance (LALE)

Στρατηγικά

- Μεγάλης αντοχής μεγάλου υψομέτρου-High Altitude Long Endurance (HALE).

Ειδικά

- Μη επανδρωμένα αεροσκάφη μάχης (UCAV), τα Θανατηφόρα-Lethal (LETH), τα Decoy (DEC), τα Stratospheric (STRATO), τα Exostratospheric (EXO) και τα SPACE

Εικόνα 10 Κατηγοριοποίηση αναλόγως του βάρους και του εύρους πτήσεως

Πηγή: Επεξεργασία από Shakhathreh et al., 2019

Στον πίνακα που ακολουθεί, γίνεται παρουσίαση των ειδικών χαρακτηριστικών της κάθε μίας υποκατηγορίας αναλόγως της μάζας αλλά και του μέγιστου εύρους δράσης τους.

Πίνακας 1 Κατηγοριοποίηση UAV

Κατηγορία	Υποκατηγορία	Μάζα (kg)	Μέγιστο εύρος δράσης (km)	
			με επιστροφή	χωρίς επιστροφή
Τακτικά (κτήσεις κοντινής εμβέλειας)	Nano	0,025	έως 1	
	Micro	κάτω των 5	κάτω των 10	κάτω από 20
	Mini	20-150	κάτω από 30	κάτω από 60
	Κλείσιμο εύρους (CR)	25-150	10-30	30-80
Λειτουργικά-Τακτικά	Μικρής εμβέλειας (SR)	50-250	30-80	90-160
	Μέση εμβέλεια (MR)	150-500	80-200	240-400
	Μεσαία Αντοχή (MRE)	500-1500	200-500	600-1000
	Βαθιά διείσδυση σε χαμηλό υψόμετρο (LADP)	250-2500	250-300	700-800
Στρατηγικά-Λειτουργικά	Χαμηλός υψόμετρο μακράς αντοχής(LALE)	150-250	500-800	1500-1600
	Μεσαίο υψόμετρο μεγάλη αντοχή (MALE)	1000-1500	500-800	1500-1600
Στρατηγικά	Μεγάλο υψόμετρο μεγάλη αντοχή (HALE)	2500-5000	Κάτω από το 2000	Κάτω από το 2000
Ειδικά	Μη επανδρωμένο αεροσκάφος μάχης (UCAV)	Πάνω από 1000	Μέχρι 1500	Μέχρι 1500
	Lethal (LETH)			
	Decoy (DEC)			
	Stratospheric (STRATO)			
	Exostratospheric (EXO)			
	SPACE			

Πηγή: Επεξεργασία από Korchenko and Ilyash, 2013

Ολοκληρώνοντας έχοντας σαν σημείο αναφοράς το είδος τους, τα UAVs διακρίνονται σε ελικόπτερα αεροπλάνα, μεταφορικά αεροπλάνα, αερόπλοια και τέλος σε υβριδικά. Αρχικά τα αεροπλάνα ελικόπτερα και τα αεροπλανάκια, φαίνεται να είναι παρόμοια ως προς τα χαρακτηριστικά τους ενώ τα μεταφορικά και τα υβριδικά, παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά με εκείνα των ελικοπτέρων. Όπως αναφέρεται, τα ίδια UAVs που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, φέρουν είτε σταθερά είτε περιστρεφόμενα πτερύγια και ενδεχομένως να είναι είτε ελαφρύτερα είτε βαρύτερα σε σχέση με τον αέρα. Η τροφοδότηση τους, μπορεί να γίνει με μπαταρίες ή και όχι (Korchenko and Ilyash, 2013).

Τα UAVs εκείνα τα οποία είναι ελαφρύτερα σε σχέση με τον αέρα, είναι λιγότερα σε πληθώρα συγκριτικά με τα βαρύτερα και κατηγοριοποιούνται, βάσει των δύο αυτών των ταξινομήσεων στα μπαλόνια και στα αεροπλάνα (Eisenbeiss, 2022). Αρχικά, όπως αναφέρεται τα μπαλόνια είναι μη τροφοδοτούμενα και κατά τη διάρκεια της πτήσης τους πραγματοποιείται έλεγχος από τα σχοινιά έχοντας αυτό σαν αποτέλεσμα, το ύψος να περιορίζεται μέχρι εκεί που μπορούν να φτάσουν τα σκοινιά. Τα αεροπλάνα στη συνέχεια, είναι αυτοτροφοδοτούμενα και μπορούν να παραμείνουν στον αέρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα ενώ παράλληλα θεωρούνται κατάλληλα για εφαρμογές που μελετώνται σε βάθος χρόνου (Eisenbeiss, 2022).

Η κατηγορία των UAVs που είναι βαρύτερα σε σχέση με τον αέρα, μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις υποκατηγορίες έχοντας ως σημείο αναφοράς το είδος των πτερυγίων τους. Οι κατηγορίες αυτές συμπεριλαμβάνουν τα ευέλικτα, τα σταθερά και των περιστροφικών πτερυγίων. Αρχικά τα UAVs ευέλικτων πτερυγίων μπορούν να κατανεμηθούν στα αιωρόπτερα και είναι μη τροφοδοτούμενα. Τα παρά πέντε υπάρχουν ως τροφοδοτούμενα αλλά και μη τροφοδοτούμενα. Τα ανεμόπτερα, είναι UAVs σταθερών πτερυγίων και είναι μη τροφοδοτούμενα. Η συγκεκριμένη κατηγορία κάνει χρήση του ανέμου για να ανυψωθεί και να κινηθεί, ωστόσο παρουσιάζουν μειωμένη ευελιξία όσον αφορά στους ελιγμούς. Η κατηγορία αυτή των UAVs μπορεί να μείνει για μεγάλα χρονικά διαστήματα στον αέρα, και χρησιμοποιείται για την επιτήρηση περιοχών μεγάλης έκτασης.

Ολοκληρώνοντας, τα UAVs περιστρεφόμενων πτερυγίων είναι στην ουσία οι χαρταετοί. Στη συγκεκριμένη κατηγορία UAVs, το σύστημα είναι μη τροφοδοτούμενο και απαρτίζεται από μόνα, διπλά, τετραπλά η και πολύ ρομποτικά συστήματα. Στην κατηγορία αυτή των UAVs, τα συστήματα μόνου ρότορα χρησιμοποιούν ένα βασικό στροφείο που είναι υποστηρικτικό της ανύψωσης και παρέχει την ώθηση που χρειάζεται το UAV. Επίσης υπάρχει και ένα επιπρόσθετο στροφείο που βρίσκεται στην ουρά του συστήματος για την αντιστάθμιση της περιστροφικής κίνησης (Eisenbeiss, 2022).

Ύστερα τα συστήματα που χρησιμοποιούν διπλό ρότορα, ή αντιστοίχως τα ομοαξονικά συστήματα λειτουργούν σε μεγάλο υψόμετρο με χαμηλό επίπεδο θορύβου και αυξημένο ωφέλιμο φορτίο. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν ένα σημαντικό μειονέκτημα που έχει να κάνει με το γεγονός ότι οι δύο κύριοι ρότορες, συναρμολογούνται στον ίδιο άξονα του δρομέα και πρέπει να περιστρέφονται σε αντίθετες κατευθύνσεις. Ολοκληρώνοντας, πολύ - ροτορικά συστήματα έχουν σαν βασικό χαρακτηριστικό τους το μικρό ωφέλιμο φορτίο, και σε σχέση με τα προηγούμενα, η ευελιξία τους είναι αυξημένη λόγω του μικρού τους μεγέθους (Eisenbeiss, 2022).

11.2 Σύνθεση του συστήματος των UAVs

Τα βασικά υποσυστήματα, από τα οποία συντίθεται ένα σύστημα UAVs παρουσιάζονται παρακάτω ενώ στη συνέχεια αναλύονται περαιτέρω (Austin, 2010; Eisenbeiss, 2022):

- Ο σταθμός ελέγχου
- Το ωφέλιμο φορτίο
- Το αεροσκάφος
- Το σύστημα πλοήγησης
- Ο εξοπλισμός δρομολόγησης αποκατάστασης και ανάκτησης
- Οι επικοινωνίες
- Οι διασυνδέσεις
- Το εγχειρίδιου υποστήριξης
- Η μεταφορά

Το σύνολο των υποσυστημάτων, συμβάλλουν ουσιαστικά στην ολοκλήρωση του UAV, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται σε κάθε περίπτωση η ορθή λειτουργία του. Για να γίνει αυτό, το κάθε υποσύστημα θα πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν ένα ξεχωριστό

κομμάτι του συνόλου και ανάλογα με τον τύπο των UAVs , οι διασυνδέσεις των υποσυστημάτων, είναι μεγάλης σημασίας. Τα υποσυστήματα που παρουσιάστηκαν προηγουμένως, ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες οι οποίες παρουσιάζονται στη συνέχεια (Austin, 2010; Eisenbeiss, 2022).

Αρχικά, ο **σταθμός εδάφους ελέγχου**, αντιπροσωπεύει το κέντρο ελέγχου από το οποίο, πραγματοποιείται η πτήση των UAVs και γίνεται σε αυτόν η καταγραφή και προβολή των εντολών αλλά και των δεδομένων του οχήματος. Ο σταθμός εδάφους ελέγχου αποτελεί στην ουσία μια συσκευή που βρίσκεται σε σταθερή ή σε μεταφερόμενη βάση και χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση και τη διαχείριση του UAV (Colomina and Molina, 2014).

Για οποιαδήποτε μεταβολή πραγματοποιηθεί στην πορεία του UAV, γίνεται αποστολή των δεδομένων των αισθητήρων του ωφέλιμου φορτίου έτσι ώστε να ελεγχθούν κατάλληλα στο σταθμό ελέγχου. Το μέσο μετάδοσης, που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των δεδομένων από το σταθμό ελέγχου στο αεροσκάφος, μπορεί να είναι είτε ακτίνα λέιζερ, είτε οπτικές ίνες είτε ραδιοσυχνότητες. Επιπροσθέτως, μέσω του σταθμού ελέγχου μπορεί να πραγματοποιηθεί η επικοινωνία με την προς τα πάνω σύνδεση είτε με την προς τα κάτω σύνδεση (Austin, 2010; Eisenbeiss, 2022).

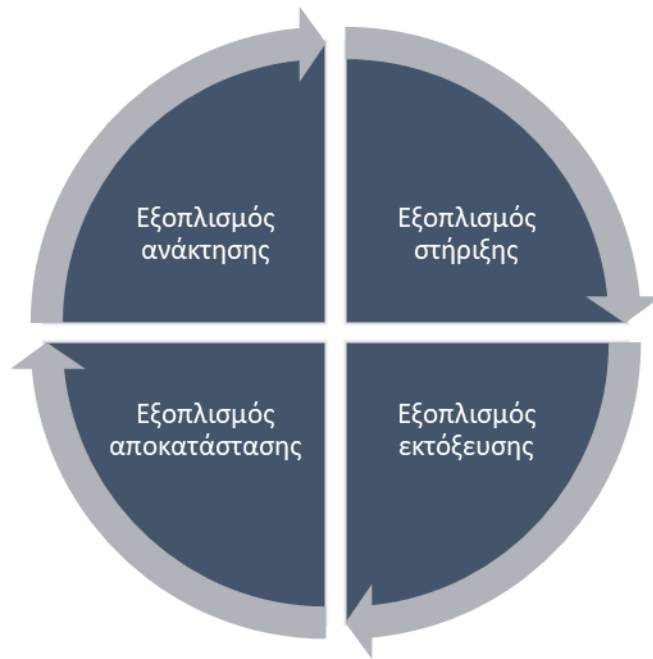
Ακόμη, το κέντρο ελέγχου, προσχεδιάζει τις διαδικασίες της διαχείρισης της διασύνδεσης του χειριστή και του συστήματος, έτσι ώστε να δρομολογηθεί και να ανακτηθεί κατάλληλα το UAVs (Colomina and Molina, 2014). Όλα τα παραπάνω στοιχεία, του κέντρου ελέγχου μπορούν να συμπεριλαμβάνουν την απόκτηση καιρικών δεδομένων, τη μεταφορά πληροφοριών αλλά κι άλλα συστήματα του δικτύου.

Ολοκληρώνοντας, θα πρέπει να αναφερθούν τα UAVs εκείνα που χρησιμοποιούνται για κάποιο εμπορικό σκοπό. Αυτά τα UAVs δεν αξιοποιούν ένα διαχωριζόμενο σύνολο UAVs και σταθμών ελέγχου αλλά άλλες καινοτομίες όπως είναι οι φορητοί επίγειοι σταθμοί ελέγχου (Colomina and Molina, 2014).

Η επόμενη κατηγορία, που αφορά τις **πλατφόρμες εξάρτησης** συμπεριλαμβάνει τα μπαλόνια, τους χαρταετούς και τα αεροσκάφη. Στην ουσία, όπως αναφέρεται στη σχετική βιβλιογραφία, ο τύπος και η απόδοση των συστημάτων, καθορίζεται από τις ανάγκες που τίθενται από την εκάστοτε αποστολή. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που καθορίζουν τη σχεδιαστική διαδικασία και την τελική διαμόρφωση του αεροσκάφους είναι η αντοχή, η ταχύτητα του ανέμου και το εύρος λειτουργίας του αεροσκάφους (Austin, 2010).

Αναλυτικότερα όσον αφορά στους παράγοντες της αντοχής και του εύρους, αυτοί είναι καθοριστικοί συνολικά του φορτίου καυσίμου το οποίο θεωρείται απαραίτητο για την διεξαγωγή της αποστολής. Στη συνέχεια, η ταχύτητά του, προορίζεται το από το αν το αεροσκάφος, έχει μεγαλύτερο ή μικρότερο βάρος συγκριτικά με τον αέρα και αν είναι αεροσκάφος σταθερών ή περιστρεφόμενη πτερυγίων. Επιπλέον, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη αποτελούνται από μία πλατφόρμα εξάρτησης εναέριας μορφής η οποία συνοδεύεται από σταθερές βάσεις και για τη μεταφορά τους, υπάρχει δυνατότητα αποσυναρμολόγησης τους. Επίσης, τα UAVs μεταφέρουν μία κάμερα ορατού φάσματος, και η πτήση τους γίνεται αυτόματα (Austin, 2010).

Κατά την πτήση των αεροσκαφών, η ταχύτητα είναι σταθερή, και υπάρχει δυνατότητα αιώρησης. Ο ειδικός εξοπλισμός, των UAVs, κατηγοριοποιείται ως εξής, στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 11 Κατηγοριοποίηση του εξοπλισμού των UAVs

Πηγή: Επεξεργασία από Austin, 2010

Η τρίτη κατηγορία στην περίπτωση αυτή είναι αυτή του **ωφέλιμου φορτίου**, το οποίο αποτελεί στην ουσία ένα κομμάτι του οχήματος που μεταφέρεται για την διεκπεραίωση της κάθε αποστολής. Στην ουσία το ωφέλιμο φορτίο συμπεριλαμβάνει το λέιζερ, τους αισθητήρες, τις κάμερες κ.α. Ένα σύστημα τέτοιου τύπου αναλόγως του είδους της αποστολής, μπορεί να διαθέτει διαφορετικά είδη ωφέλιμου φορτίου. Επιπροσθέτως, η απόδοση και ο τύπος του εκάστοτε ωφέλιμου φορτίου μπορεί να προσδιοριστεί από τις ανάγκες της κάθε αποστολής. Το ωφέλιμο φορτίο μπορεί να συμπεριλαμβάνει μία βιντεοκάμερα, με σταθερό φακό και με συνολική μάζα που φτάνει τα 200 g μέχρι και ραντάρ ισχύος με τροφοδοτικά και με μάζα που φτάνει τα 1000kg (Colomina and Molina, 2014; Austin, 2010).

Σήμερα, τα UAVs έχουν εξελιχθεί και έχουν διαφορετικό τύπο αισθητήρων εντός του ωφέλιμου φορτίου τους. Τα δεδομένα που συλλέγουν, υποβάλλονται σε επεξεργασία έχοντας ως σκοπό την παραγωγή πληροφοριών, που δεν γίνεται να παρασχεθούν με τη χρήση ενός τύπου αισθητήρα. Για τις εφαρμογές απεικόνισης, το ωφέλιμο φορτίο της πλοήγησης και του προσανατολισμού, αναφέρεται στους αισθητήρες του και συμπεριλαμβάνει τις ακόλουθες δύο κατηγορίες:

- τους εικονοληπτικούς αισθητήρες και
- τους αισθητήρες πλοήγησης

Στο εικονοληπτικούς αισθητήρες, στην ουσία γίνεται ταξινόμηση ανάμεσα στους αισθητήρες ορατού φάσματος, τις πολυφασματικές κάμερες, τις υπερφασματικές κάμερες, τις κάμερες θερμικής απεικόνισης και τέλος τους σαρωτές λέιζερ και τα ραντάρ.

Στον πίνακα που ακολουθεί, για την κάθε μία υποκατηγορία, παρουσιάζονται συνοπτικά ορισμένες πληροφορίες.

Πίνακας 2 Κατηγορίες εικονοληπτικού αισθητήρα

Κατηγορία εικονοληπτικού αισθητήρα	Περιγραφή
Αισθητήρες ορατού φάσματος	Λειτουργούν σε κλίμακα μήκους κύματος 0,4-0,7μm. Η εστίαση του φωτός γίνεται με τη χρήση φακών και η μετατροπή της εικόνας, γίνεται σε ειδικούς υποδοχείς
Πολυφασματικές κάμερες	Λειτουργούν σε 350nm έως 1000nm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ο εντοπισμός, η συλλογή πληροφοριών γίνεται από τις στενές ζώνες φώτων έτσι ώστε να είναι πιο εύκολος ο εντοπισμός μιας ανωμαλίας του εδάφους.
Υπερφασματικές κάμερες	Η κάθε εικόνα αντιπροσωπεύεται από ένα εύρος μήκους κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ο συνδυασμός των εικόνων γίνεται για τον σχηματισμό ενός τρισδιάστατου υπερβατικού κύβου δεδομένων με σκοπό την επεξεργασία.
Κάμερα θερμικής απεικόνισης	Μπορεί να καλύψει τα δύο τμήματα των 3-5μm και 7-15μm αντίστοιχα. Η θερμική ακτινοβολία επικεντρώνεται σε ειδικούς υποδοχείς της κάμερας οι οποίοι μετατρέπουν την οθόνη σε μονόχρωμη.
Laser σαρωτές	Η εκπομπή laser γίνεται σε μήκος κύματος που είναι μονοχρωματική. Οι ακτίνες λέιζερ καλύπτουν ένα μεγάλο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
Radar	Χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση του εδάφους από το UAV Το εύρος του μήκους κύματος των ραντάρ συνήθως 5-15cm

Πηγή: Επεξεργασία από Colomina and Molina, 2014; Austin, 2010

Η επόμενη κατηγορία είναι εκείνη των **αισθητήρων πλοήγησης**. Σε όλες τις πτήσεις των UAVs ανά πάσα στιγμή, είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η τοποθεσία τους. Στο UAV, ο αυτόματος πιλότος αποτελεί το βασικό αισθητήρα πλοήγησης, και τον εγκέφαλο του συστήματος που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της τοποθεσίας του, και της ταχύτητάς του. Ο αυτόματος πιλότος κάνει χρήση παραμέτρων για την τροφοδότηση του συστήματος ελέγχου και για την καθοδήγησή του. Στο σύστημα αυτό, κάποια από τα συστατικά στοιχεία του, είναι το βαρόμετρο, το GNSS, το γυροσκόπιο, ο αισθητήρας προσδιορισμού ύψους. Επιπροσθέτως, ο έλεγχος του αυτόματου πιλότου μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από το σύστημα ραδιοελέγχου, το οποίο σχεδιάζεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ακολουθεί το σχέδιο πτήσης και να προσδιορίζεται η διαδικασία απογείωσης και προσγείωσης αλλά και η αιώρηση του UAV πάνω από κάποιο σημείο (Colomina and Molina, 2014; Austin, 2010).

Παλαιότερα, τα UAVs που χρησιμοποιούνταν για να εντοπίσουν ένα αντικείμενο, θα έπρεπε να μεταφέρουν ένα αδρανειακό σύστημα πλοήγησης (INS), το οποίο ήταν περίπλοκο και δαπανηρό ή αντιστοίχως, ένα σύστημα INS του οποίου το κόστος θα ήταν χαμηλό αλλά θα απαιτούσε συχνές ενημερώσεις της θέσης τους. Σήμερα, με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την ενσωμάτωση του συστήματος εντοπισμού θέσης GPS δίνεται

πρόσβαση σε πληροφορίες θέσης, και υπολογίζεται η τοποθεσία του UAV κάνοντας χρήση σημάτων από τέσσερις διαφορετικούς δορυφόρους.

11.3 Προγράμματα παραγωγής φωτογραμμετρικών μοντέλων και χρήση στα

UAVs

Η εξέλιξη της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στα UAVs σήμερα δίνει τη δυνατότητα πρόσβασης σε υψηλής ανάλυσης γεωγραφικά δεδομένα, παρέχοντας έτσι την ευκαιρία στους ερευνητές να προσεγγίσουν περιοχές, τις οποίες προηγουμένως δεν μπορούσαν λόγω των δύσκολων θεμάτων και απομακρυσμένων χαρακτηριστικών τους. Επίσης μπορούν να λυθούν διάφορα προβλήματα που προηγουμένως, θα ήταν αδύνατο, με τη χρήση επίγειων μεθόδων αποτύπωσης (Bemis et al., 2014). Τα UAVs μπορούν να προσφέρουν διάφορες λύσεις, και ιδίως κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών που υπάρχει ανάγκη μελέτης των περιοχών που έχουν περιβαλλοντικό ενδιαφέρον, έχει αναπτυχθεί μία πληθώρα προγραμμάτων φωτογραμμετρικών μοντέλων, με τη χρήση των οποίων η λήψη των φωτογραφιών γίνεται μέσα στο UAV.

Η φωτογραμμετρία, η επιστήμη της λήψης μετρήσεων από φωτογραφίες, έχει φέρει επανάσταση με την εφαρμογή της τεχνολογίας UAV, επιτρέποντας λήψεις με μεγαλύτερη ακρίβεια, μικρότερους χρόνους ολοκλήρωσης και αυξημένη απόδοση κόστους. Η φωτογραμμετρία που βασίζεται σε UAV συνδυάζει τεχνικές τηλεπισκόπησης και φωτογραμμετρίας (Holman et al., 2016). Ένα UAV εξοπλισμένο με κάμερα υψηλής ανάλυσης μπορεί να τραβήξει αεροφωτογραφίες από πολλές οπτικές γωνίες. Αυτές οι φωτογραφίες χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την κατασκευή ενός τρισδιάστατου μοντέλου της επιφάνειας της γης (Bemis et al., 2014).

Υπάρχουν πολλά προγράμματα λογισμικού φωτογραμμετρίας στην αγορά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με UAVs. Κάποια προγράμματα που περιλαμβάνονται στην κατηγορία αυτή αναλύονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 3 Προγράμματα λογισμικού φωτογραμμετρίας

Πρόγραμμα	Περιγραφή
Pix4D	Είναι ένα κορυφαίο λογισμικό φωτογραμμετρίας που μπορεί να μετατρέψει πολυφασματικές εικόνες σε ακριβή, γεωαναφορικά 2D μωσαϊκά, τρισδιάστατα μοντέλα και νέφη σημείων (Point Cloud). Έχει σχεδιαστεί για να είναι συμβατό με οποιοδήποτε UAV και παρέχει λειτουργίες όπως αυτόματο σχεδιασμό πτήσης και βελτιστοποίηση κάμερας.
Agisoft Metashape	Παλαιότερα ήταν γνωστό ως Agisoft Photoscan. Σήμερα, το Metashape είναι ένα επαγγελματικό εργαλείο για φωτογραμμετρία και ανάλυση 3D χωρικών δεδομένων. Λειτουργεί υποστηρικτικά σε όλα τα στάδια επεξεργασίας δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της ευθυγράμμισης φωτογραφιών, της κατασκευής τρισδιάστατων μοντέλων και προηγμένων αναλυτικών στοιχείων.
Autodesk recap	Είναι ένα λογισμικό φωτογραμμετρίας που δημιουργεί τρισδιάστατα μοντέλα από φωτογραφίες ή σαρώσεις λέιζερ. Τα δεδομένα που παράγονται από το recap είναι έτοιμα για περαιτέρω σχεδιασμό σε εφαρμογές CAD, BIM, VR και AR.

Πηγή: Επεξεργασία από Holman et al., 2016; Feng, Liu and Gong, 2015

Η φωτογραμμετρία που βασίζεται σε UAV μπορεί να παίζει κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών. Εφόσον παράγουν εικόνες υψηλής ανάλυσης και τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους, τα UAVs μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό κινδύνων πυρκαγιάς, όπως στις περιοχές με ξηρή βλάστηση ή σημεία πρόσβασης για τις δυνάμεις πυρόσβεσης. Κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς, τα UAVs μπορούν να παρέχουν παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και να βοηθήσουν στην κατεύθυνση των δυνάμεων πυρόσβεσης στις περιοχές όπου χρειάζονται περισσότερο. Επιπλέον, μετά από πυρκαγιά, τα συστήματα αυτά είναι ιδιαίτερα βοηθητικά όσον στην εκτίμηση της ζημιάς και στη διαδικασία αναδάσωσης (Feng, Liu and Gong, 2015). Μέσω των τρισδιάστατων μοντέλων είναι πιο εύκολη η μέτρηση της έκτασης της περιοχής που κάηκε.

Συμπερασματικά, η χρήση του λογισμικού φωτογραμμετρίας στα UAVs αποτελεί ένα ισχυρό εργαλείο στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών, από την πρόληψη και τον εντοπισμό τους μέχρι την καταπολέμησή τους και την ανάκαμψη μετά την πυρκαγιά.

12.Εφαρμογή UAVs στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών

Η εφαρμογή των UAVs στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο οι αρμόδιοι φορείς παρακολουθούν και αντιμετωπίζουν την έναρξη και εξάπλωση των δασικών πυρκαγιών. Τα UAVs παρέχουν μία εναέρια άποψη των πληγεισών περιοχών, προσφέροντας δεδομένα υψηλής ανάλυσης και σε πραγματικό χρόνο που βελτιώνουν σημαντικά τη διαδικασία παρακολούθησης και απόκρισης στην πυρκαγιά (Gupta, Reif, and Sturdevant, 2023). Συχνά είναι εξοπλισμένα με θερμικούς και πολυφασματικούς αισθητήρες ικανούς να ανιχνεύουν μικρές αλλαγές στη θερμοκρασία, επιτρέποντας έτσι την έγκαιρη ανίχνευση πιθανοτήτων εκδήλωσης πυρκαγιάς (Stachura, Chybicki, and Myller, 2022).

Εκτός από την ανίχνευση, τα UAV διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην καταστολή της πυρκαγιάς. Παρέχοντας εικόνες και θερμικά δεδομένα των ενεργών ζωνών πυρκαγιάς σε πραγματικό χρόνο, διευκολύνουν τη λήψη αποφάσεων σχετικά με στρατηγικές πυρόσβεσης (Jensen, McRae, and Pickering, 2023). Επιπλέον, ορισμένοι τύποι UAVs έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν και να απελευθερώνουν κατασταλτικές ουσίες για την κατάσβεση της πυρκαγιάς σε δυσπρόσιτες περιοχές, περιορίζοντας την εξάπλωσή της (Maus, Krajzewicz, and Schmidt, 2023).

Μία από τις πιο κρίσιμες εφαρμογές των UAV στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών είναι η αξιολόγηση μετά την πυρκαγιά. Μετά από μία πυρκαγιά, τα UAVs μπορούν να συγκεντρώσουν εικόνες υψηλής ανάλυσης, δημιουργώντας λεπτομερείς χάρτες των καμένων περιοχών. Η διαδικασία αυτή βοηθά στην εκτίμηση της σοβαρότητας της ζημιάς και στη διαμόρφωση σχεδίων αποκατάστασης (Petrovic, Smiljanic, and Tomic, 2023).

Όσον αφορά στην Ελλάδα η εφαρμογή των UAVs στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών κερδίζει σταδιακά δυναμική. Δεδομένης της ευπάθειας της χώρας στις δασικές πυρκαγιές, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο, η ενσωμάτωση των UAVs στις στρατηγικές διαχείρισης πυρκαγιών θεωρείται μια πολλά υποσχόμενη λύση. Τα UAVs χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση περιοχών υψηλού κινδύνου, ενισχύοντας την έγκαιρη ανίχνευση και την ταχεία απόκριση (Apostolakis et al., 2022). Η ικανότητά τους

να αποκτούν πρόσβαση σε δυσπρόσιτες περιοχές, σε συνδυασμό με τη δυνατότητα λειτουργίας κατά τη διάρκεια της νύχτας, συμβάλλει σημαντικά στις προσπάθειες πρόληψης των δασικών πυρκαγιών στην Ελλάδα.

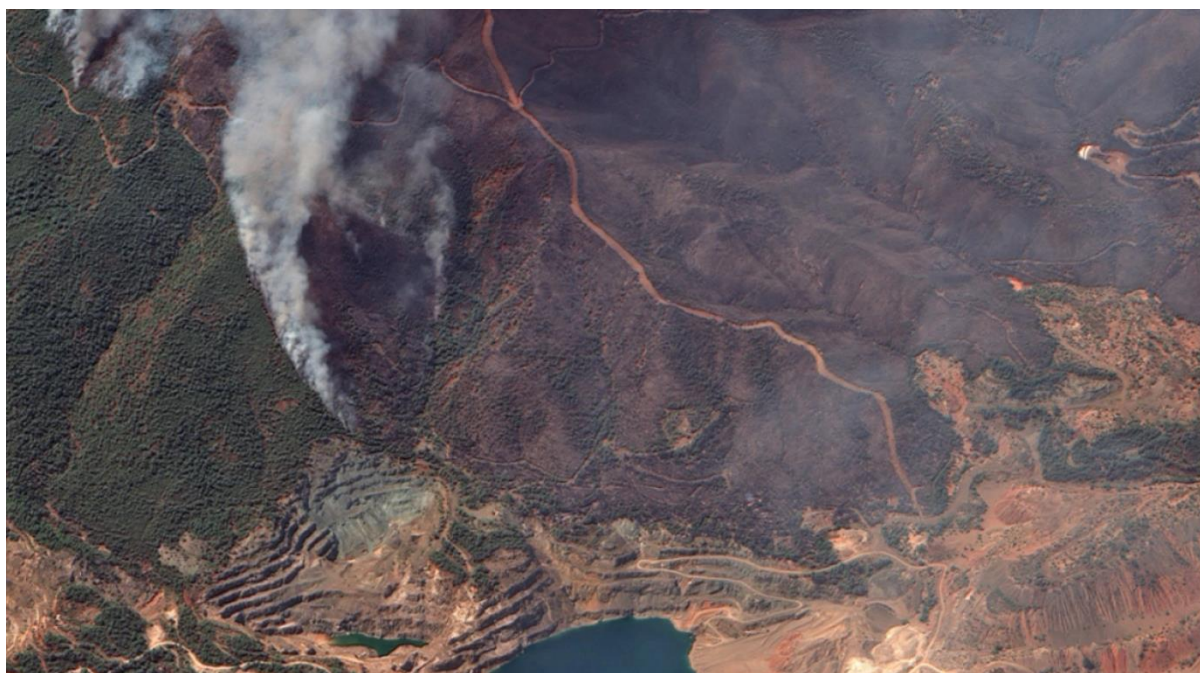
Η εφαρμογή των UAV στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών, τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και στην Ελλάδα, σηματοδοτεί μια κρίσιμη πρόοδο στην καταπολέμηση των δασικών πυρκαγιών. Η ικανότητα της τεχνολογίας να βελτιώνει τις διαδικασίες έγκαιρης ανίχνευσης, πυρόσβεσης και αξιολόγησης μετά την πυρκαγιά υπογραμμίζει τη σημασία της στο μέλλον της διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών.

12.1 Μελέτες περίπτωσης εφαρμογής

Σε όλο τον κόσμο, υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις μέσα από τις οποίες έχει αναδειχθεί η αποτελεσματική εφαρμογή των UAVs στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών. Για παράδειγμα, στην Αυστραλία, τα UAVs διαδραμάτισαν καθοριστικό ρόλο στην καταπολέμηση των καταστροφικών πυρκαγιών που έλαβαν χώρα κατά το διάστημα 2019-2020. Οι εικόνες υψηλής ανάλυσης και τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο που παρείχαν από τα UAV επέτρεψαν βελτιωμένη λήψη αποφάσεων και τον κατάλληλο επιχειρησιακό σχεδιασμό, σώζοντας πολλές ζωές και περιουσίες (Smith, Poole, and Wightman, 2023). Ομοίως, στις Ηνωμένες Πολιτείες, η χρήση UAVs κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών στην Καλιφόρνια του 2020 έπαιξε κρίσιμο ρόλο στον εντοπισμό και την καταστολή πυρκαγιάς (Bartlett and Anderson, 2023).

Στην Ευρώπη, η αποτελεσματική εφαρμογή των UAVs στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών είναι επίσης ευρέως εκτεταμένη. Μια περίπτωση είναι αυτή της Σουηδία κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών του 2018. Τα UAVs παρείχαν ζωτικής σημασίας πληροφορίες στα πληρώματα πυρόσβεσης και οι θερμικές τους εικόνες ήταν κρίσιμες για τον εντοπισμό μικρών εστιών πυρκαγιάς (Gustafsson, Prinz, and Seielstad, 2023). Στην Πορτογαλία, οι πυρκαγιές του 2017 που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, αντιμετωπίστηκαν με τη χρήση UAVs που αξιοποιήθηκαν για τον εντοπισμό και την αξιολόγηση της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς. Τα εργαλεία αυτά αποδείχθηκαν ζωτικής σημασίας για την παροχή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και τη διευκόλυνση της αποτελεσματικής κατανομής των πόρων (Marques, Sá, and Pinto, 2023).

Στην Ελλάδα, μια πρόσφατη περίπτωση εφαρμογής UAVs στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών σημειώθηκε κατά τη διάρκεια των καταστροφικών πυρκαγιών στο νησί της Εύβοιας το 2021. Τα UAVs χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή ζωτικής σημασίας δεδομένων σχετικά με τη συμπεριφορά και την εξέλιξη της πυρκαγιάς, προσφέροντας ανεκτίμητες πληροφορίες για τους πυροσβέστες. Η χρήση τους έδωσε τη δυνατότητα στις πυροσβεστικές δυνάμεις να κατευθύνουν τις προσπάθειές τους πιο αποτελεσματικά, βοηθώντας στη διάσωση σημαντικών περιοχών του οικοσυστήματος του νησιού.



Εικόνα 12 Εικόνα που λήφθηκε με drone από την καταστροφική φωτιά στην Εύβοια

Πηγή: ProtoThema, 2022

Συνοπτικά, αυτές οι περιπτώσιολογικές μελέτες υπογραμμίζουν τις δυνατότητες των UAV στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών, ενισχύοντας την έγκαιρη ανίχνευση, την καταστολή πυρκαγιάς και την εκτίμηση των ζημιών μετά την πυρκαγιά.

12.2 Προκλήσεις στη χρήση των UAVs

Όπως γίνεται αντιληπτό και από τα προηγούμενα, οι δυνατότητες των UAVs όσον αφορά στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών είναι πολύ σημαντικές σήμερα. Τα UAVs προσφέρουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο ενισχύοντας την έγκαιρη ανίχνευση των πυρκαγιών και την αποτελεσματική κατανομή των επιχειρησιακών πόρων (Núñez, Moreno, and Zarco-Tejada, 2023). Η εξέλιξη των UAVs με την ενσωμάτωση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης (AI) είναι ένας μία εξέλιξη πολλά υποσχόμενη εφόσον η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να βοηθήσει στην ανάλυση δεδομένων που συλλέγονται από τα UAVs για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς της πυρκαγιάς, ακόμη και την πρόβλεψη πιθανής έναρξης πυρκαγιάς, ενισχύοντας τη συνολική αποτελεσματικότητα των στρατηγικών διαχείρισης (Mkhabela, Bullock, Raj, Wang, and Kirilenko, 2023).

Παρά τις σημαντικές δυνατότητές τους, η εφαρμογή των UAVs στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών συνοδεύεται επίσης από περιορισμούς. Τεχνολογικά ζητήματα όπως η περιορισμένη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και η ευαισθησία σε αντίξοες καιρικές συνθήκες μπορούν να παρεμποδίσουν τις λειτουργίες UAVs (Maus, Krajzewicz, and Schmidt, 2023). Επιπλέον, οι πολυπλοκότητα που σχετίζεται με τη διαχείριση δεδομένων,

ειδικά όταν πρόκειται για μεγάλους όγκους δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, μπορεί να δημιουργήσει πολλαπλές προκλήσεις (Yousefi, Khosravi, Pradhan, and Hong, 2023).

Οι κανονιστικές προκλήσεις θέτουν ένα ακόμη σημαντικό εμπόδιο στην εφαρμογή των UAVs στη διαχείριση πυρκαγιάς. Το νομικό πλαίσιο που ρυθμίζει τις λειτουργίες των UAVs διαφέρει από χώρα σε χώρα και η προσαρμογή σε αυτούς τους κανονισμούς μπορεί να είναι δύσκολη (Chowdhury, Emami, and Izbicki, 2023). Αξιοσημείωτα είναι και τα ζητήματα που σχετίζονται με την ιδιωτικότητα και την ασφάλεια, ειδικά όταν τα UAVs πετούν σε κατοικημένες περιοχές (Sullivan and Finn, 2023).

12.3 Κανονιστικό πλαίσιο

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο Διεθνής Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO) είναι ο υπεύθυνος φορέας για την παροχή ενός πλαισίου γενικών κατευθυντήριων για τη λειτουργία των UAVs. Οι βασικές αρχές που ορίζονται από τον οργανισμό σχετίζονται με τη διατήρηση της ασφάλειας της διεθνούς αεροπορίας, επιτρέποντας παράλληλα την ολοκληρωμένη λειτουργία των UAVs (Icao.int, 2021). Ωστόσο, το ρυθμιστικό πλαίσιο του ICAO είναι ευρύ και δεν προσδιορίζει τη χρήση UAVs στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών, αφήνοντας τα έθνη μεμονωμένα να εφαρμόσουν πιο συγκεκριμένους κανονισμούς.

Στην Ευρώπη, ο Οργανισμός Ασφάλειας της Αεροπορίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (EASA) ρυθμίζει τη λειτουργία των UAVs. Ο EASA ταξινομεί τα UAVs σε τρεις κατηγορίες: «ανοικτή», «ειδική» και «πιστοποιημένη», ανάλογα με το επίπεδο κινδύνου που συνδέεται με τη λειτουργία τους. Για εφαρμογές διαχείρισης πυρκαγιάς, οι οποίες συχνά περιλαμβάνουν λειτουργίες υψηλότερου κινδύνου, τα UAVs συνήθως εμπίπτουν στην κατηγορία «ειδικά», η οποία απαιτεί αξιολόγηση κινδύνου και επιχειρησιακή άδεια (EASA, 2022). Ο EASA επιτρέπει επίσης διαδικασίες έκτακτης ανάγκης, οι οποίες μπορούν να επιταχύνουν τη διαδικασία έγκρισης σε επείγουσες καταστάσεις όπως είναι και η περίπτωση των δασικών πυρκαγιών (European Commission, 2021).

Στην Ελλάδα, η Ελληνική Αρχή Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ) ρυθμίζει τις λειτουργίες των UAVs. Η ΥΠΑ συμμορφώνεται με τις οδηγίες του EASA, αλλά έχει θέσει επιπρόσθετα ορισμένες απαιτήσεις σε επίπεδο χώρας. Για παράδειγμα, για τη «ειδική» κατηγορία, οι χειριστές UAVs στην Ελλάδα πρέπει να λάβουν ειδική άδεια και να ενημερώνουν την ΥΠΑ για τη συγκεκριμένη αποστολή του UAV (Hcaa.gov.gr, 2022). Στην περίπτωση της διαχείρισης δασικών πυρκαγιών, υπάρχουν διατάξεις για την επίσπευση των εγκρίσεων σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, παρόμοιες με τους ευρύτερους κανονισμούς της EASA.

Παρά τους καθιερωμένους κανονισμούς, τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όσο και εντός της Ευρώπης και της Ελλάδας, υπάρχουν κενά στο κανονιστικό πλαίσιο σχετικά με την ειδική εφαρμογή των UAVs στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών. Δεδομένης της επείγουσας και συχνά απρόβλεπτης φύσης των δασικών πυρκαγιών, η τυπική διαδικασία έγκρισης για επιχειρήσεις UAVs μπορεί συχνά να είναι χρονοβόρα. Επιπλέον, οι κανονισμοί που αφορούν το απόρρητο των δεδομένων και τις ανησυχίες για την ασφάλεια που προκύπτουν από επιχειρήσεις UAVs κοντά σε κατοικημένες περιοχές πρέπει να βελτιωθούν περαιτέρω. Στον πίνακα που ακολουθεί συγκεντρώνονται οι απαιτήσεις του ρυθμιστικού πλαισίου.

Πίνακας 4 Ρυθμιστικό πλαίσιο για τα UAVs στη Διαχείριση Δασικών Πυρκαγιών

	Παγκοσμίως (ICAO)	Ευρώπη (EASA)	Ελλάδα (ΥΠΑ)
Κανονιστικό πλαίσιο	Παρέχει γενικές κατευθυντήριες γραμμές για την ολοκληρωμένη λειτουργία των UAVs, με επίκεντρο την ασφάλεια.	Ταξινομεί τα UAVs σε κατηγορίες «ανοιχτή», «ειδική» και «πιστοποιημένη» με βάση τον κίνδυνο. Επιτρέπει διαδικασίες έκτακτης ανάγκης.	Ακολουθεί τις ταξινομήσεις του EASA, προσθέτει εθνικές απαιτήσεις. Απαιτείται ειδική άδεια για την «ειδική» κατηγορία.
Κενά	Δεν υπάρχουν λεπτομέρειες για UAV στη διαχείριση δασικών πυρκαγιών.	Πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία έγκρισης για λειτουργίες υψηλότερου κινδύνου.	Ίδιο με τον EASA, αλλά με πρόσθετες εθνικές απαιτήσεις.

Πηγή: Επεξεργασία από Icao.int, 2021; EASA, 2022; European Commission, 2021; Hcaa.gov.gr, 2022

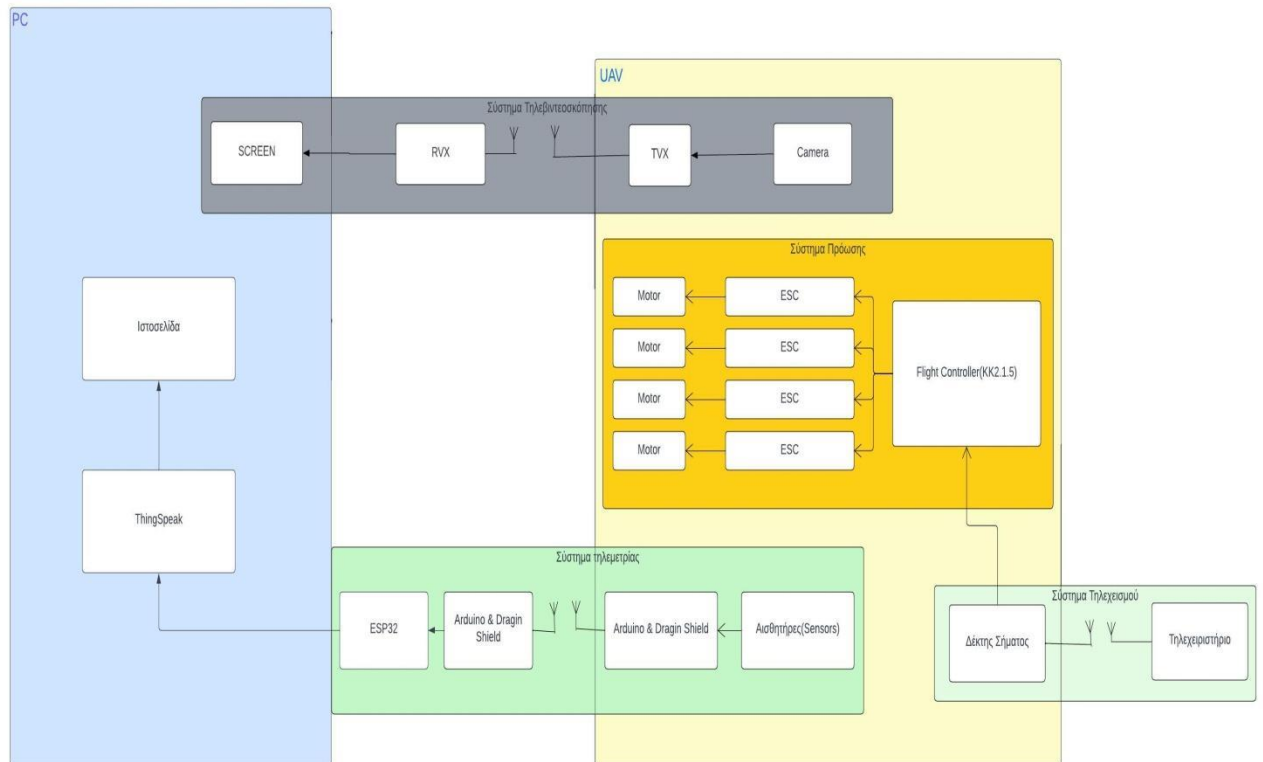
Β.Πρακτικό Μέρος

1.Εισαγωγικό μέρος

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται χρόνο με τον χρόνο, οι εφαρμογές που υλοποιούνται πάνω στην χρήση μη Επανδρωμένων Συσκευών γίνονται ολοένα και πιο περίπλοκες. Γι' αυτό είναι αναπόφευκτη η χρήση πολλών τεχνολογιών σε συστήματα και υποσυστήματα που θα φέρει πάνω του η Μη Επανδρωμένη Συσκευή, οι οποίες θα συνεργάζονται μεταξύ τους ή θα λειτουργούν αυτόνομα, με σκοπό την επίτευξη του αντικειμενικού σκοπού της. (Ι.Αποσπόρης, 2020)

Στην συγκεκριμένη εργασία, τα κύρια δομικά στοιχεία και συστήματα που απαρτίζουν την εφαρμογή είναι:

- Το **Μη Επανδρωμένο Εναέριο Όχημα(UAS-Unmanned Aerial Vehicle)**. Περιλαμβάνει τον σκελετό ή πλαίσιο, τα τέσσερα μοτέρ, τους έλικες, τον ηλεκτρονικό ελεγκτή ταχύτητας(ESC-Electronic Speed Controller) και τον ελεγκτή πτήσης (flight controller). Επίσης, περιλαμβάνει το **Σύστημα τηλεχειρισμού** που αποτελείται από δύο μέρη το τηλεχειριστήριο και τον λήπτη σήματος (receiver).
- Το **Σύστημα τηλεβιντεοσκόπησης**. Το UAV θα φέρει πάνω μία κάμερα η οποία θα στέλνει τα δεδομένα στον μεταδότη(transmitter).Ο μεταδότης στέλνει τα δεδομένα στον λήπτη(receiver) που αυτός είναι συνδεδεμένος με τον υπολογιστή. Η αναπαράσταση των δεδομένων της κάμερας, θα πραγματοποιείται μέσω του προκαθορισμένης εφαρμογής που υπάρχει στο εκάστοτε λειτουργικό σύστημα.
- Το Σύστημα Τηλεμετρίας. από το οποίο θα λαμβάνονται μέσω αισθητήρων σημαντικές μετρήσεις χημικών και περιβαλλοντικών μεγεθών από το επιχειρησιακό περιβάλλον αλλά και το στίγμα του Drone χρησιμοποιώντας ως GPS το NEO-6M και εν συνεχεία αυτές οι μετρήσεις(τιμές) θα τις λαμβάνει ο transmitter, που θα αποτελείται από ένα Arduino UNO και ένα Dragino shield, θα αποστέλλονται μέσω του πρωτοκόλλου LoRaWAN , σε ένα δέκτη όπου και αυτός θα απαρτίζεται από ένα Arduino UNO και ένα Dragino shield. Έπειτα οι μετρήσεις που θα καταφθάνουν στον receiver θα στέλνονται μέσω του UART πρωτοκόλλου σε ένα ESP32. Τέλος το ESP32 θα «ανεβάσει» τα δεδομένα στο ThingSpeak για την προβολή των δεδομένων σε μορφή γραφήματος.
 - Τα δεδομένα από τους αισθητήρες και το GPS θα αναπαριστώνται σε μία **ιστοσελίδα**.



Εικόνα 13 Block diagram με τα συστήματα της εφαρμογής

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του block diagram είναι το LucidChart.

2 Μη Επανδρωμένο Εναέριο όχημα(UAV)

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή πλαισιώνεται από τον σκελετό (frame) που φιλοξενεί το σύστημα πρόωσης, τον ελεγκτή πτήσης (flight controller), την πηγή τροφοδοσίας συνεχούς τάσης (DC Voltage Supply).

2.1 Ο σκελετός Flame Wheel F450



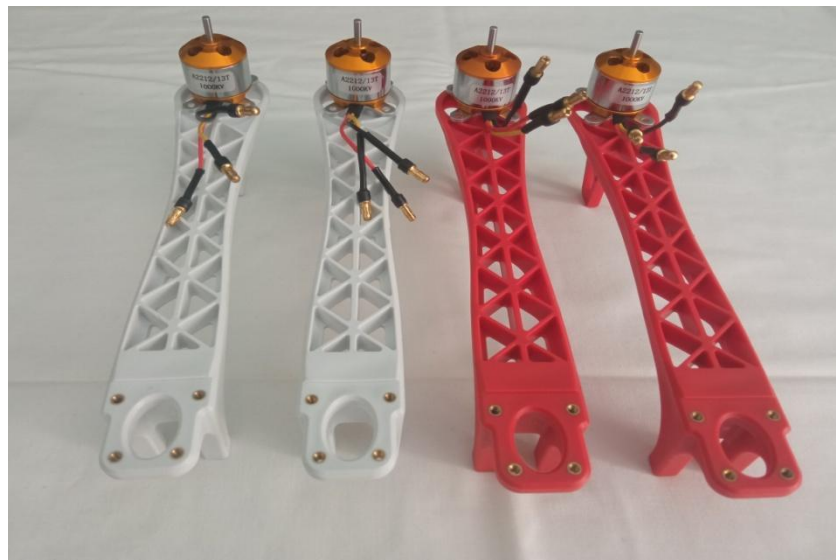
Εικόνα 14 Σκελετός DJI F450

Πηγή: Mishra,2021

Ο σκελετός(ή πλαίσιο) του UAV αποτελεί το βασικότερο δομικό στοιχείο της εφαρμογής, αφού πάνω σε αυτόν τοποθετούνται όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα που χρειάζονται για την υλοποίηση της εφαρμογής, όπως οι αισθητήρες (Sensors), η μονάδα GPS (Global Positioning System) και η κάμερα (FPV camera).

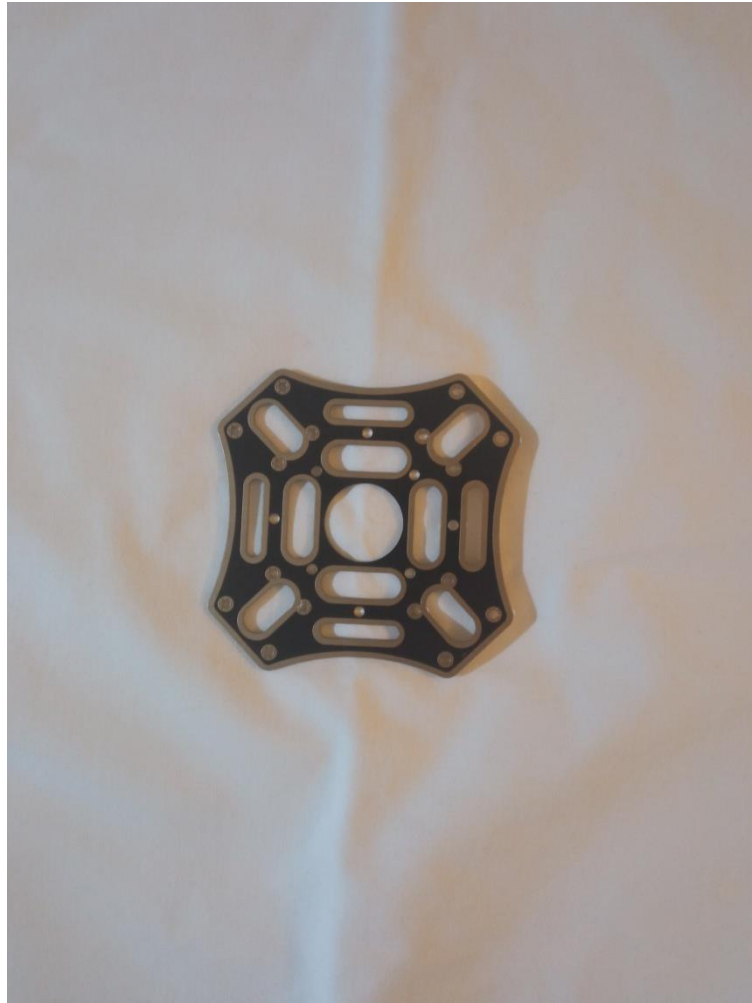
Το πλαίσιο Flame Wheel F450 είναι ιδανικό για την υλοποίηση τετρακόπτερων UAV, καθώς αποτελείται από:

- **4 flameWheel F450 arms:** πάνω στα οποία εφαρμόζονται τα 4 μοτέρ, όπου τα 2 από αυτά κινούνται με φορά CW (περιστροφή με φορά των δεικτών του ρολογιού) και τα υπόλοιπα με φορά CCW (περιστροφή με φορά αντίθετη από τους δείκτες του ρολογιού).



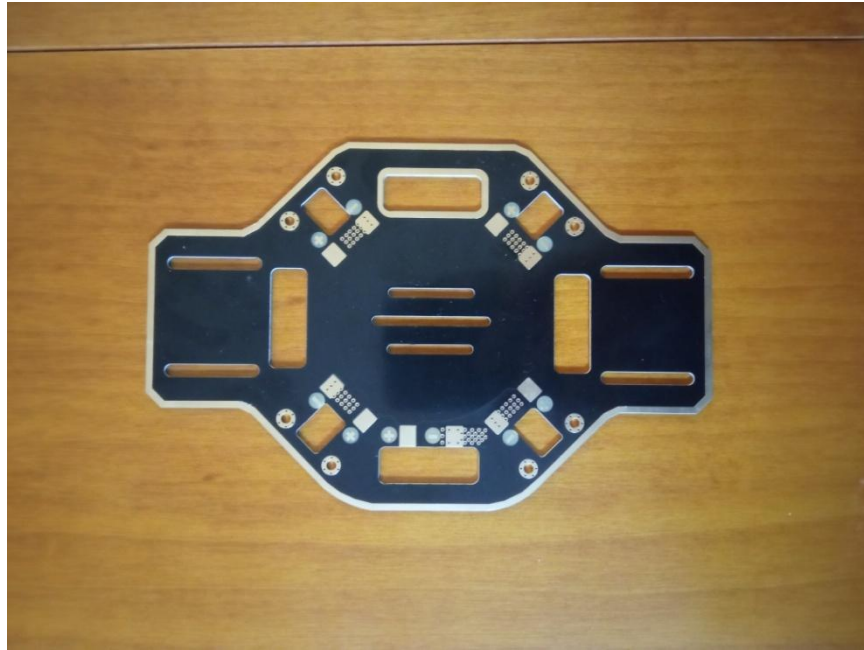
Εικόνα 15 Τα τέσσερα flamewheel arms

- **Top board:** πάνω στο οποίο τοποθετείται ο ελεγκτής πτήσης (flight controller).



Εικόνα 16 Top board

- **Power Distribution Board (PDB):** Αποτελεί μία κυκλωματική διάταξη που φέρει επάνω του το drone και ευθύνεται για την ομαλή κατανομή του ρεύματος από την μπαταρία σε διάφορα περιφερειακά συστήματα όπως: το σύστημα πρόωσης (propulsion system), FPV κάμερα, esc και τον ελεγκτή πτήσης.



Εικόνα 17 To Power distribution board του UAV

Παρακάτω παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σκελετού:

- **Καθαρό βάρος σκελετού (Net weight):** 282 gr.
- **Απόσταση Μεταξόνιου:** 450mm.
- **Μπαταρία:** LiPo 2S-3S.
- **Κινητήρες:** 2212.
- **PWM input:** 3.3/5.0 Volt.
- **Διαστάσεις έλικας:** 10.0*4.5 inches.

2.2 Το σύστημα πρόωσης

Το σύστημα πρόωσης αποτελεί το πιο σημαντικό κομμάτι, καθώς είναι υπεύθυνο για την δημιουργία δύναμης ικανής να επιτρέπει στο UAV να ισορροπεί στον αέρα και γενικότερα να εκτελεί τις πτήσεις του με ασφάλεια.

Τα μέρη που συνθέτουν το σύστημα προώθησης ενός QuadCopter UAV είναι τα εξής:

- **Κινητήρες.**
- **Οι έλικες (Propellers).**
- **Ο Ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας(ESC).**
- **Η πηγή συνεχούς τάσης.**

2.2.1 Ηλεκτρομαγνητικός Κινητήρας A2212/13T 1000KV

Ο κινητήρας είναι μία μηχανολογική διάταξη που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε περιστροφική με την βοήθεια των ελίκων.

Κάθε φορά το πλήθος και τα χαρακτηριστικά του κατάλληλου κινητήρα εξαρτώνται από τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής όπως το ύψος της πτήσης, το συνολικό βάρος του UAV, η αεροδυναμική του πλαισίου και η μέγιστη ταχύτητα που θα θέλαμε να έχει κάθε φορά το UAV.

Στα πολυκόπτερα χρησιμοποιούνται δύο τύποι ηλεκτρομαγνητικών κινητήρων, οι **brushed** (κινητήρες με ‘καρβουνάκια’) και οι **brushless** κινητήρες (BLDC motors). Και στις δύο περιπτώσεις για την παραγωγή κίνησης χρησιμοποιείται το φαινόμενο εμφάνισης ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας μου, αποφάσισα να επιλέξω την χρήση **brushless κινητήρων**, διότι σε αντίθεση με τους **brushed**, δεν περιέχουν τα λεγόμενα ‘καρβουνάκια’ δίνοντάς του το πλεονέκτημα της μη ύπαρξης τριβών και άρα την ελαχιστοποίηση απωλειών ενέργειας. Αυτό τους κάνει να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (lifespan) και μικρά ποσοστά θορύβου.

Για την επιλογή ενός BLDC μοτέρ θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- **KV rating:** Είναι μία χαρακτηριστική τιμή που υποδηλώνει τον αριθμό στροφών που διαγράφει ένας κινητήρας σε διάρκεια ενός λεπτού, εφαρμόζοντας πηγή τάσης ένα Volt. Πολλές φορές αναφέρεται και ως RPM/Volt.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, ο κινητήρας που έχει επιλεγεί έχει 1000 KV rating. Αυτό σημαίνει ότι εάν εφαρμόσω μία τάση 5Volt τότε ο κινητήρας θα διαγράφει: $5 * 1000$ στροφές/λεπτό=5000 στροφές/λεπτό.

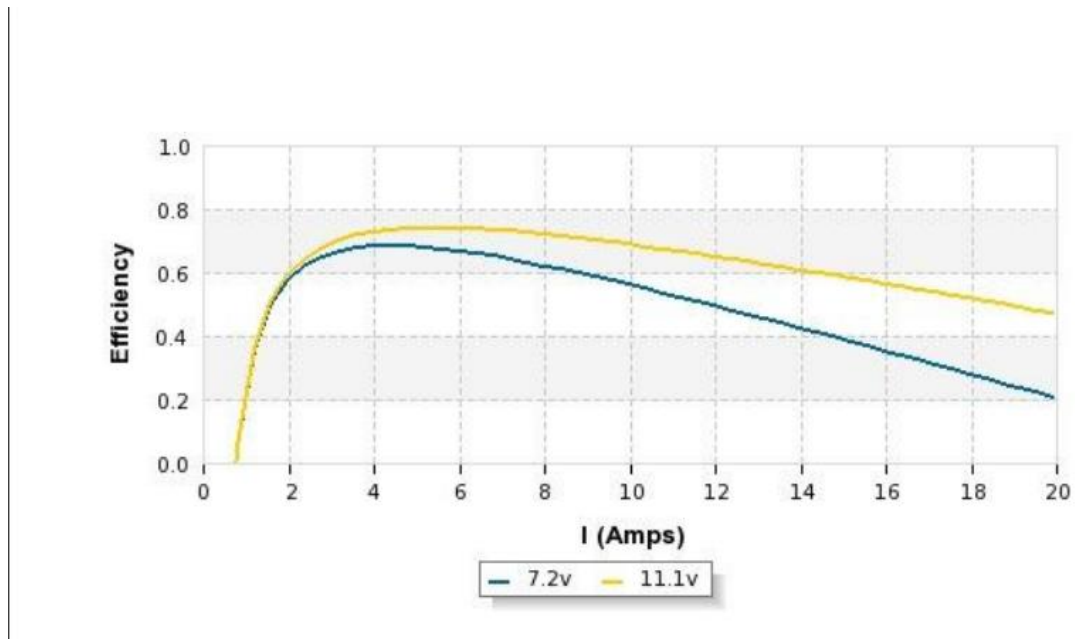
- **Max Current Draw:** Αναφέρεται στο μέγιστο ρεύμα που μπορεί να διαπεράσει το μοτέρ συνεχόμενα για διάστημα δέκα δευτερολέπτων χωρίς να “καεί”. Στην εφαρμογή, η τιμή είναι 13A.
- **Βάρος:** Το βάρος του κινητήρα παίζει καθοριστικό ρόλο στην συνολική απόδοση του, καθώς όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος του κινητήρα τόσο πιο δύσκολη είναι η απογείωση του drone. Ο συγκεκριμένος κινητήρας έχει συνολικό βάρος 52.7gr.
- **Efficiency(%):** Δηλώνει το ποσοστό της τελικής ισχύος προς την αρχική ισχύ που

εφαρμόζεται στο μοτέρ.

Το ποσοστό της αποτελεσματικότητας του μοτέρ υπολογίζεται από την σχέση:

$$Efficiency(\%) = \frac{P_{in}}{P_{out}} * 100\%.$$

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται σε μορφή γραφήματος ο βαθμός αποτελεσματικότητας του κινητήρα συναρτήσει του εκάστοτε εφαρμοζόμενου ρεύματος.



Εικόνα 18 Ο βαθμός αποτελεσματικότητας σε συνάρτηση με το εφαρμοζόμενο ρεύμα στον κινητήρα A2212/13T

Πηγή: A22112/13T TECHNICALDATA

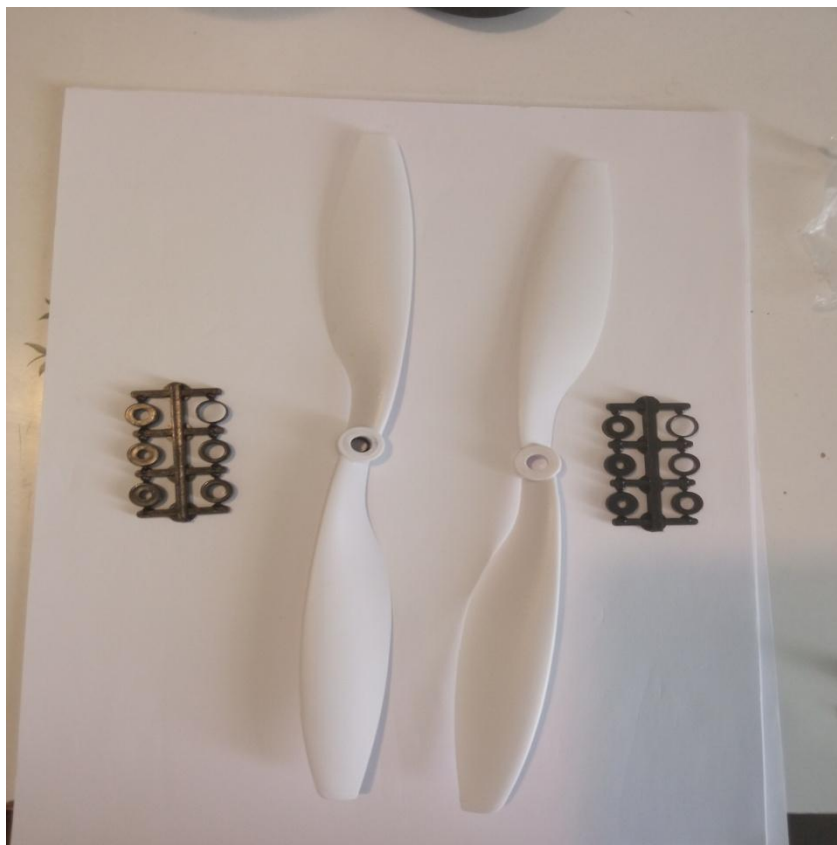
- **Thrust(gr)** : Για την ομαλή πτήση του UAV θα πρέπει το thrust και των τεσσάρων κινητήρων του να είναι τουλάχιστον κατά δυο φορές μεγαλύτερο από το συνολικό βάρος του. Στα datasheet των κατασκευαστών αυτή την αναλογία την συναντούμε ως **Thrust-weight ratio**, που ισούται με: $\frac{\text{Η συνολική δύναμη που παραγέται από τους κινητήρες}}{\text{Συνολικό βάρος του UAV}} > 2.$

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω χαρακτηριστικά επέλεξα τον κινητήρα A2212/13T 1000KV.



Εικόνα 19 Το μοτέρ A2212/13T

2.2.2 Οι έλικες GEMFAN 1045 Nylon CW/CCW For RC Quadcopter



Εικόνα 20 Οι έλικες του UAV

Οι έλικες αποτελούν ένα αναπόσπαστο κομμάτι όχι μόνο του προωθητικού συστήματος, αλλά και γενικότερα όλου του UAV, καθώς είναι το εξάρτημα όπου λόγω της περιστροφικής κίνησης των πτερυγίων παράγει την απαραίτητη δύναμη (thrust) εξασφαλίζοντάς του σταθερή πτήση.

Σχεδόν πάντα οι εταιρείες που σχεδιάζουν και κατασκευάζουν έλικες για drone αναγράφουν δύο αριθμούς επάνω στην έλικα με την μορφή DxP ή DP.

Ο πρώτος αριθμός αναφέρεται στην **διάμετρο(D-Diameter)** της **έλικας**, η οποία ορίζεται ως η νοητή μέγιστη απόσταση μεταξύ των δύο της έλικας που διαπερνά το κέντρο της. Γενικά, ισχύει ότι όσο πιο μεγάλη είναι η διάμετρος της έλικας, τόσο πιο μεγάλη θα είναι και η δύναμη υπερύψωσης (thrust force), δημιουργώντας ευνοϊκότερες συνθήκες για την σταθερότητα του UAV. Αυτό οφείλεται στο φαινόμενο της ύπαρξης ροπής κατά την περιστροφικής της κίνηση.

Η ροπή(torque- τ) μετριέται σε Newton(N) και περιγράφεται από την σχέση:

$$Ροπή(Torque) = F * \left(\frac{D}{2}\right) * \sin(\theta) = \Omega * R * \sin(\theta).$$

Όπου:

- F: είναι η δύναμη που ασκείται κάθετα στην ακτίνα περιστροφής.
- $\frac{D}{2}$ ή R: είναι η κάθετη απόσταση που μετριέται από τον κάθετο άξονα περιστροφής έως το σημείο εφαρμογής της δύναμης F.
- $\sin(\theta)$: Το ημίτονο γωνίας θ , όπου θ είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ακτίνας περιστροφής και του φορέα της δύναμης F.

Volts	Props	Throttle	Amps	Watts	RPM	Thrust (g)
11.1	9443	30%	1.8	21.78	4780	187
11.1	9443	45%	3.2	38.72	5811	282
11.1	9443	65%	5.6	67.76	6906	438
11.1	9443	75%	7.6	91.96	7676	542
11.1	9443	100%	11.2	135.52	8498	706
11.1	10*5	30%	1.3	15.73	3821	108
11.1	10*5	45%	3.4	41.14	5385	285
11.1	10*5	65%	10.8	130.68	7985	661
11.1	10*5	75%	12.4	150.04	8313	737
11.1	10*5	100%	12.4	150.04	8325	734

Εικόνα 21 Τα χαρακτηριστικά της έλικας σε συνάρτηση με άλλα μεγέθη

Πηγή: Yadav, Sharma, & Borad, 2017

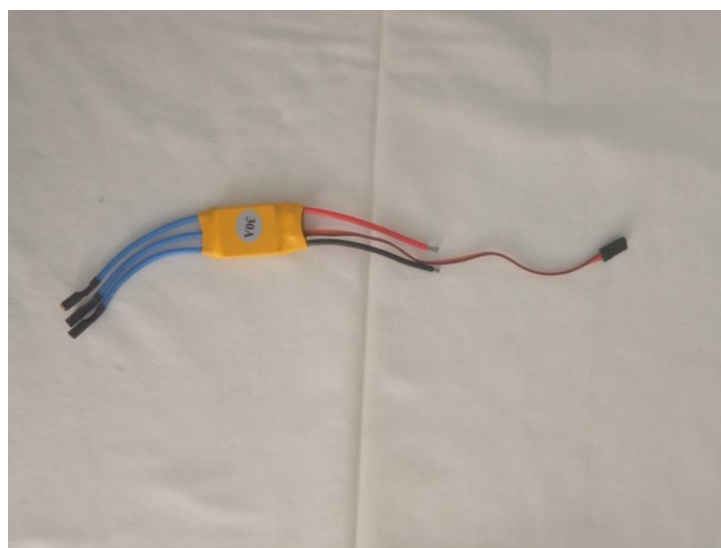
Με βάση την παραπάνω σχέση και την εικόνα , γίνεται αντιληπτό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος της έλικας, άρα και η απόσταση R, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ροπή.

Ο δεύτερος αριθμός αναφέρεται στο Pitch(P), υποδηλώνει την απόσταση που διαγράφει η έλικα κάνοντας μια πλήρη περιστροφή. Το Pitch μετράται σε inches(in).



Εικόνα 10 Οι αριθμοί D(διάμετρος) και P(Βήμα) πάνω στην έλικα

2.2.3 Ο Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας (Electronic Speed Controller)



Εικόνα 11 Ο Ηλεκτρονικός Ελεγκτής Ταχύτητας HW30A Brushless ESC

Εκτός από τους έλικες και τους κινητήρες ένα πολύ σημαντικό εξάρτημα του συστήματος πρόωσης είναι ο ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας.

Είναι ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που έχει ως κύριο σκοπό την επιβράδυνση ή την επιτάχυνση του κινητήρα, έχοντας ως αποτέλεσμα την μείωση ή την αύξηση των στροφών ανά λεπτό(RPM).

Στην εικόνα 11, οι ακροδέκτες εξόδου (μπλέ) συνδέονται με τους τρεις ακροδέκτες του τριφασικού brushless κινητήρα, ενώ οι δύο από τους τρεις ακροδέκτες εισόδου που είναι η γείωση (μαύρο χρώμα) και η τροφοδοσία (κόκκινο χρώμα), τους έχω συγκολλήσει στο Power Distribution Board όπου αυτό με την σειρά του διανέμει το ρεύμα που προέρχεται από την μπαταρία. Ο τρίτος ακροδέκτης εισόδου συνδέεται σε συγκεκριμένους υποδοχείς του flight controller στους οποίους καταφθάνει το σήμα του γκαζιού(throttle signal) διαμέσου του receiver.

Οι παράγοντες που θα πρέπει να έχει κάποιος στον νου του προκειμένου να κάνει την σωστή επιλογή ενός ESC είναι οι εξής:

- **ESC Current Ratings:** Αναφέρεται στο μέγιστο ρεύμα που μπορεί να διαχειριστεί το ESC. Ο συγκεκριμένος παράγοντας είναι ο πρώτιστος που θα πρέπει να λάβει κάποιος υπόψη του για την επιλογή του κατάλληλου ESC. Κοιτάζοντας, στα περισσότερα φύλλα δεδομένων υπάρχουν δύο ειδών **ρευμάτων** που θα πρέπει να έχουμε κατά νου. Τα ρεύματα αυτά είναι το **continuous current** και το **burst current**. Το continuous current είναι το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να διαπερνά συνεχόμενα το ESC με ασφάλεια, ενώ το burst current αναφέρεται στο μέγιστο ρεύμα που μπορεί να διαρρέει συνεχόμενα το ESC για διάστημα 10 δευτερολέπτων.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι για λόγους ασφαλείας το μέγιστο ρεύμα του ESC θα πρέπει να είναι, τουλάχιστον, κατά 15-20% μεγαλύτερο από το μέγιστο ρεύμα του επιλεγμένου μοτέρ, έτσι ώστε να αποφευχθεί το ενδεχόμενο της καταστροφής του εξοπλισμού λόγω της υπερθέρμανσης.

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, χρησιμοποίησα ένα ESC των 30A, διότι με βάση το φύλλο δεδομένων του κατασκευαστή (A2212/13T TECHNICALDATA), η παροχή ρεύματος που θα μπορούσε να δεχθεί στιγμιαία το μοτέρ μπορεί να φθάσει ακόμα και στην τάξη των 20A(Motor's Max Current). Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αφού το μοτέρ μπορεί να φτάσει στιγμιαία έως τα 20A, τότε το **ESC Current rating** θα πρέπει να είναι τουλάχιστον κατά 0.15-0.20 φορές μεγαλύτερο, δηλαδή:

$$\begin{aligned} \underline{ESC\ Current\ Rating} &= \underline{Motor's\ Max\ Current} + 0.20 * \underline{Motor's\ Max\ Current} \\ &= 20 + 0.20 * 20A = 24A \end{aligned}$$

Γι' αυτό τον λόγο επιλέχθηκε ESC των 30A.

- **Input Voltage:** Δηλώνει την μέγιστη διαφορά δυναμικού που μπορεί να εφαρμοστεί στην είσοδο του ESC. Συνήθως στα φύλλα δεδομένων των κατασκευαστών αναφέρεται ως 2S,3S κτλ., προκειμένου να δηλώσει τον τύπο της LI-PO μπαταρίας με την οποία μπορεί να συνδεθεί. Στην περίπτωση εφαρμογής διαφοράς δυναμικού μεγαλύτερης από αυτής που προτείνει ο κατασκευαστής το ESC θα καταστραφεί.

. Στην κατασκευή μου, επειδή γίνεται χρήση LI-PO μπαταρία τριών κελιών(3S), χρησιμοποιώ ένα ESC με **Input Voltage 3S**.

- **Το βάρος/Διαστάσεις:** Άλλο ένα σημείο στο οποίο πρέπει να σταθεί κάποιος όταν βρίσκεται στο στάδιο της επιλογής, είναι το βάρος αλλά και το μέγεθος του συγκεκριμένου εξαρτήματος καθώς η αύξηση του βάρους μπορεί να αποτελέσει μοιραίος παράγοντας για την επίτευξη της ομαλής πτητικής λειτουργίας του μη Επανδρωμένου Εναέριου Οχήματος.

Το βάρος του επιλεγμένου ESC ανέρχεται στα **25 γραμμάρια**. Συνολικά, το βάρος που επωμίζεται το τετρακόπτερο UAV υπολογίζεται από τον αριθμό των κινητήρων που θα φέρει πάνω του το drone(δηλαδή 4 κινητήρες) πολλαπλασιαζόμενο με το βάρος του ενός ESC, δηλαδή:

$$\begin{aligned} \text{Συνολικό Βάρος (ESC)} &= \text{Αριθμός κινητήρων} * \text{Βάρος του ενός ESC} = 4 * \\ 25 \text{ γραμμάρια} &= 100 \text{ γραμμάρια} \end{aligned}$$

2.3 Li-Po Μπαταρία SHANG YI 11.1V 35C



Εικόνα 12 Η μπαταρία SHANG YI 11.1V 35C

Αποτελεί το βασικότερο εξάρτημα καθώς είναι αυτό που παρέχει ενέργεια σε όλα τα συστήματα και τα υποσυστήματα και γενικότερα στα εξαρτήματα του UAV.

Τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης μπαταρίας είναι τα εξής:

- Βάρος: Το καθαρό βάρος της μπαταρίας είναι στα 183 γραμμάρια.
- Τάση(Voltage): Η τιμή της είναι στα 11.1V(3S).
- Capacity(Χωρητικότητα): Εννοεί την ποσότητα του ρεύματος που μπορεί να παρέχει σταθερά μία Li-Po μπαταρία για διάρκεια μίας ώρας. Η μπαταρία που επέλεξα έχει χωρητικότητα 2200mAh.
- Διαστάσεις(Dimensions): 108mm X 34mm X 24mm (Μήκος X Πλάτος X Ύψος).
- Ρυθμός αποφόρτισης(Discharge Rate): Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό της μπαταρίας αναφέρεται στο μέγιστο ρεύμα που μπορεί να παρέχει η μπαταρία. Συνήθως η τιμή αυτή αναγράφεται με ένα νούμερο ακολουθούμενο από τον αγγλικό χαρακτήρα «C». Στην συγκεκριμένη μπαταρία που επέλεξα το Discharge rate είναι 35C. Πολλές φορές στην βιβλιογραφία μπορεί να το δει και κάποιος ως C-Rating.
- Max Current Draw: Είναι το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να παρέχει η μπαταρία συνεχόμενα για διάστημα δέκα δευτερολέπτων. Το max current draw υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$Max\ Current\ Draw = Ρυθμός\ Αποφόρτισης * Χωρητικότητα\ της\ Μπαταρίας.$

Το max current draw της επιλεγμένης μπαταρίας ανέρχεται στα:

$$Max\ Current\ Draw_{(Selected\ Battery)} = 35 * 2,2A = 77A.$$

2.4.Σύστημα τηλεχειρισμού FrSky FSi6 (Transmitter and Receiver)

Το σύστημα τηλεχειρισμού που χρησιμοποιήθηκε για τον χειρισμό του UAV είναι το σύστημα FSi6 που αναπτύχθηκε από την εταιρεία FLYSKY.

Το σύστημα αποτελείται από δύο εξαρτήματα:

- Το **Τηλεχειριστήριο FSi6 Transmitter**.
- Και τον **δέκτη FSi6B Receiver**.

Η μετάδοση των δεδομένων από τον μεταδότη(transmitter) προς τον λήπτη(receiver) γίνεται με την χρήση RF συχνοτήτων και συγκεκριμένα τις «spread-spectrum» ραδιοσυχνότητες, δηλαδή στα 2.4 GHZ.

2.4.1 Το τηλεχειριστήριο

Το τηλεχειριστήριο δίνει την δυνατότητα στον χειριστή, να μεταβάλλει την κατεύθυνση, την ταχύτητα και γενικότερα την θέση του UAV όπως αυτός επιθυμεί, κάνοντας χρήση των δύο μοχλών που είναι τοποθετημένοι πάνω του.



Εικόνα 13 FSi6 Transmitter

Είναι συχνό τον φαινόμενο, όταν αγοράζουμε ένα σύστημα τηλεκατεύθυνσης, ο κατασκευαστής να αναγράφει στο φύλλο δεδομένων του τον όρο «*Mode*». Με αυτόν τον όρο ο κατασκευαστής εννοεί τον τρόπο με τον οποίον ο χειριστής πρόκειται να χειριστή το drone.

Το συγκεκριμένο χειριστήριο έχει 4 ειδών mode. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επέλεξα το **Mode 1**, ορίζοντας τον αριστερό μοχλό ως «γκάζι» και το δεξί μοχλό για την αλλαγή διεύθυνσης του UAV.

2.4.2 Ο δέκτης

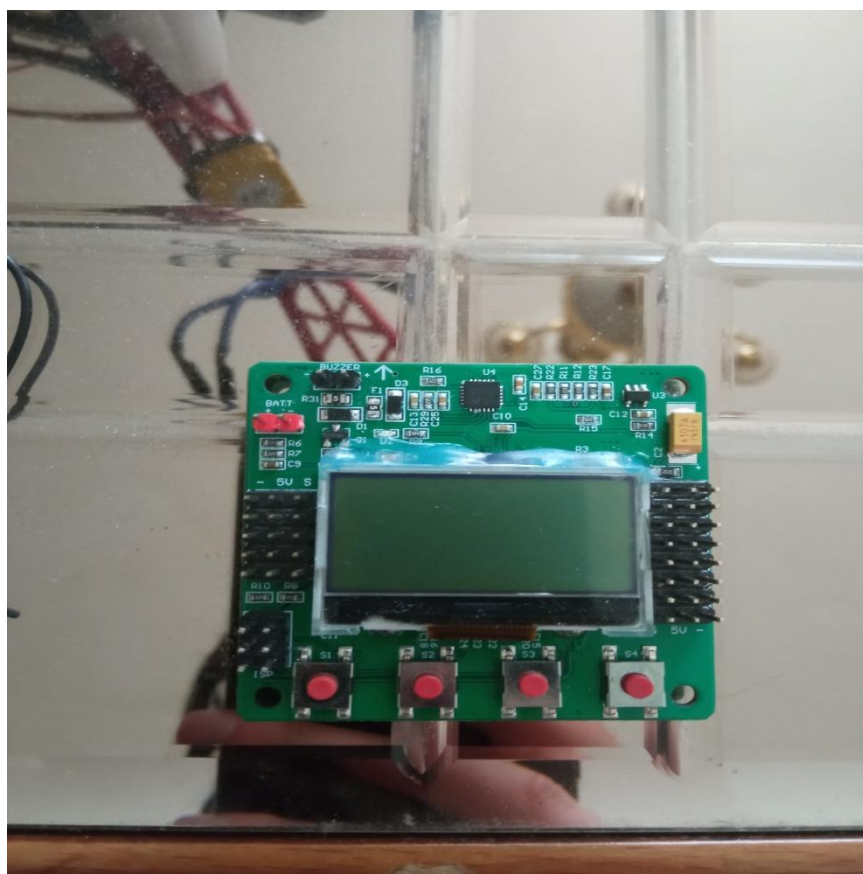
Αγοράζοντας το πακέτο FLYSKY FSi6X, περιείχε το δέκτη FSi6B έξι καναλιών.

Αποτελείται από δύο μικρές κεραιές από τις οποίες λαμβάνει τα σήματα από το χειριστήριο.

Αυτός ο receiver περιέχει επτά διαφορετικές εισόδους/εξόδους όπου η κάθε μία αποτελείται από τρεις ακροδέκτες(pins).

Ο δέκτης είναι τοποθετημένος πάνω στο drone και συνδεδεμένος κατευθείαν στον ελεγκτή πτήσης, προκειμένου τα σήματα που λαμβάνει ο receiver να τα στέλνει στον ελεγκτή πτήσης και αυτός με την σειρά του να στέλνει τα απαραίτητα σήματα στα ESC.

2.5 Ο ελεγκτής πτήσης KK2.1.5



Εικόνα 14 KK2.1.5

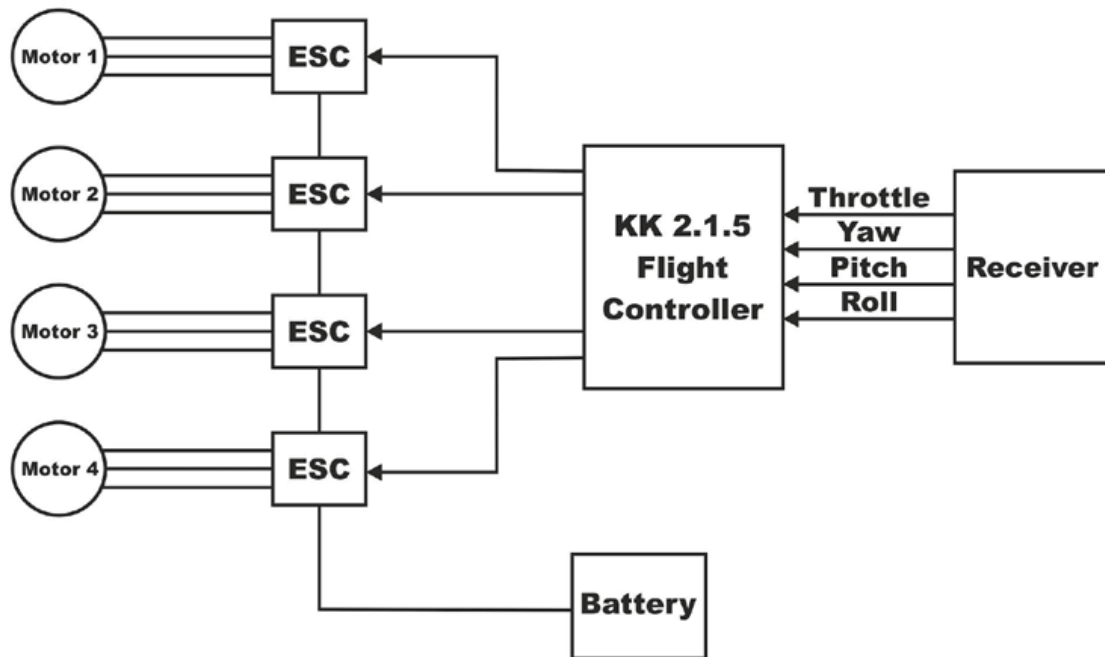
Ο ελεγκτής πτήσης είναι εκείνο το κομμάτι του drone που είναι υπεύθυνο για την συλλογή δεδομένων από το ιπτάμενο όχημα.

Τα αρχικά του ελεγκτή πτήσης KK2.1.5 προέρχονται από τα αρχικά των λέξεων KartainKuk. Η εταιρία που ανέπτυξε την συγκεκριμένη πλακέτα είναι η HobbyKing.

Λόγω της απλότητάς, της ευκολίας στον προγραμματισμό και του χαμηλού κόστους, αποτελεί την ευκολότερη λύση για άτομα που εισέρχονται για πρώτη φορά στον χώρο του μοντελισμού.

Απαρτίζεται από τα εξής κύρια μέρη:

- **Επεξεργαστής(Processor):** ATMEL MEGA 644PA 8-bit AVR RISC-based microcontroller.
- **Μνήμη Μικροεπεξεργαστή:** 64K.
- **Γυροσκόπιο(Gyroscope):** Τα γυροσκόπια είναι διατάξεις μέτρησης του γωνιακού ρυθμού περιστροφής ως προς κάποιο σταθερό άξονα. (Καλοβρέκτης & Κατέβας, 2019). Το συγκεκριμένο board περιέχει το γυροσκόπιο 6050MPU.
- **LCD Screen:** Μέσω αυτής γίνονται οι ρυθμίσεις του ελεγκτή.
- **Επιταχυνσιόμετρο(Accelerometer):** Μετράει την γραμμική επιτάχυνση του UAV και στέλνει δεδομένα ανατροφοδότησης στον επεξεργαστή για να μπορέσει να διατηρηθεί η σταθερότητα του drone.
- **Ακροδέκτες εισόδου(Input Pins):** Σε αυτούς συνδέεται ο receiver. Με βάση τα σήματα που δέχεται από τα **input pins** ο flight controller δίνει τα κατάλληλα σήματα στους ακροδέκτες εξόδου.
- **Ακροδέκτες εξόδου(Output Pins):** Σε αυτούς συνδέονται τα τέσσερα ESC του drone που με την σειρά τους συνδέονται και αυτοί εν συνεχεία με τους ισάριθμους κινητήρες.
- **Σταθεροποιητής Τάσης(Voltage Regulator):** Υποβιβάζει την τάση στα επιτρεπτά επίπεδα, για την αποφυγή καταστροφής των εξαρτημάτων.
- **Κουμπιά Ρύθμισης:** Περιέχει τέσσερα κουμπιά με τα οποία ρυθμίζεται διάφοροι παράμετροι που είναι απαραίτητοι για την ομαλή λειτουργία.



Εικόνα 22 Το block diagram του KK2.1.5

Πηγή: Mishra, 2019

3. Σύστημα εναέριας τηλεβιντεοσκόπησης

Ο χειριστής που καλείται να κατευθύνει το UAV θα πρέπει να είναι σε θέση να έχει οπτική επαφή με τον περιβάλλοντα χώρο, έτσι ώστε να παίρνει κάθε φορά την σωστή απόφαση για την αποφυγή εμποδίων ή άλλων πιθανών κινδύνων που μπορούν να προκαλέσουν ανεπανόρθωτες βλάβες στην κατασκευή.

Επειδή το UAV θα επιχειρεί σε δύσβατες περιοχές όπως βουνά, οροσειρές κτλ. που χαρακτηρίζονται από ανώμαλο έδαφος, ο χειριστής θα πρέπει να το κατευθύνει κατάλληλα για να αποφευχθεί η σύγκρουση. Επίσης άλλος ένας παράγοντας που κάνει επιτακτική την ανάγκη τοποθέτησης κάμερας πάνω στο drone είναι το γεγονός πως επιχειρώντας στις φωτιές ο χρήστης στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν θα έχει καλή οπτική επαφή με το επιχειρησιακό περιβάλλον, λόγω ύπαρξης μεγάλης ποσότητας καπνού που καθιστά σχεδόν αδύνατη την άμεση εποπτεία του drone από τον χειριστή.

3.1 Οι ρόλοι της κάμερας στην εφαρμογή

3.1.1 Η κάμερα ως μέσο πρόληψης δασικών πυρκαγιών

Η κάμερα, σε κάθε περίπτωση είναι σε θέση να παίζει μείζονα ρόλο στην πρόληψη των δασικών πυρκαγιών. Κατά την πτήση του, το UAV θα λαμβάνει οπτικό υλικό και θα μπορεί να ο χρήστης μέσω αυτής να επιβλέπει τις δασικές περιοχές.

Σε περίπτωση εκδήλωσης δασικής πυρκαγιάς, η κάμερα θα μπορέσει να την καταγράψει και να κινηθούν άμεσα οι αρμόδιες αρχές προς το σημείο του περιστατικού. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαν να προληφθούν οι εκτεταμένες πυρκαγιές σε ένα σημαντικό ποσοστό.

Επίσης, εκτός από τα παραπάνω, θα μπορούσε να αποτελέσει και ένα όπλο αποτροπής εμπρηστικών ενεργειών.

3.1.2 Η κάμερα ως μέσο διάσωσης

Η χρήση της κάμερας δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα μόνο στο κομμάτι της πρόληψης των δασικών πυρκαγιών, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την ανεύρεση και διάσωση εγκλωβισμένων ή αγνοούμενων.

3.2 Το σύστημα βιντεοσκόπησης

Το σύστημα μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη. Το πρώτο κομμάτι του συστήματος είναι η κάμερα και ο μεταδότης(transmitter), δηλαδή το σύστημα μετάδοσης που θα βρίσκεται πάνω στο drone, και το δεύτερο κομμάτι είναι ο λήπτης(receiver).

3.2.1 Σύστημα μετάδοσης

3.2.1.1 Η κάμερα CMOS 1200 VTL



Εικόνα 23 Η κάμερα CMOS 1200TVL

Η συγκεκριμένη κάμερα χρησιμοποιείται πολύ συχνά σε απομακρυσμένου ελέγχου εφαρμογές (Remote Control Applications), αφού διαθέτει αρκετά μικρές διαστάσεις κάνοντας εύκολη την τοποθέτησή της πάνω στην κατασκευή.

Παρακάτω αναλύονται τα κριτήρια με τα οποία έλαβα την απόφαση να επιλέξω αυτή την κάμερα:

- **CMOS Image sensor:** Ο αισθητήρας CMOS(Complementary Metal-Oxide-semiconductor) αποτελεί το σημαντικότερο τεχνικό κομμάτι σε μία FPV κάμερα, αφού είναι αυτός που μετατρέπει το εισερχόμενο φως που

έρχεται από τον φακό σε ηλεκτρικό σήμα. Ύστερα το σήμα αυτό θα σταλεί στον πομποδέκτη για να τον στείλει στον λήπτη σήματος.

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας είναι αρκετά πιο φθηνός σε σχέση με άλλους τύπους (π.χ.CCD), γι 'αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές RC εφαρμογές.

Επίσης καταναλώνει λιγότερη ενέργεια σε σχέση με άλλους τύπους καμερών, μειώνοντας τον ρυθμό αποφόρτισης της μπαταρίας και αυξάνοντας τον χρόνο πτήσης του UAV.

- **Χρονική καθυστέρηση:** Στα φύλλα των κατασκευαστών εμφανίζεται με τον όρο «*Latency*». Εκφράζει το χρονικό περιθώριο από την στιγμή που μετατρέπεται η εικόνα σε ηλεκτρικό σήμα μέχρι την εμφάνιση της εικόνας αυτής στην οθόνη του υπολογιστή.
- **Ανάλυση(Resolution):** Η ανάλυση συνήθως μετράται σε TVL. Διαβάζοντας τις προδιαγραφές της κάμερας μπορούμε να την δούμε να αναφέρεται και ως «*horizontal resolution*». Όσο μεγαλύτερη είναι η ανάλυση της κάμερας τόσο πιο ευκρινής θα είναι η εικόνα. Η κάμερα που επέλεξα έχει ανάλυση 1200TVL.
- **Δυναμικό εύρος(Dynamic Range):** υποδηλώνει την ικανότητα της κάμερας να μπορεί να αναλύει τις διαφορές της φωτεινότητας που υπάρχουν σε διαφορετικά σημεία του καρέ. Όσο μεγαλύτερο είναι το δυναμικό εύρος, τόσο πιο καθαρά θα αποτυπώνονται οι λεπτομέρειες.
- **Οπτικό πεδίο (Field of view-FOV):** Αποτελεί χαρακτηριστικό του φακού και μετράται σε *lens(mm)* ή *μοίρες(°)*. Ο συγκεκριμένος φακός έχει 2.5 lens, δηλαδή το οπτικό του πεδίο(σε μοίρες) είναι 147°.

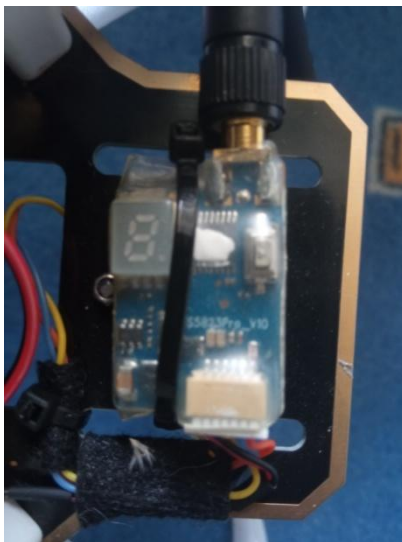
Παρακάτω παρουσιάζεται η αντιστοίχιση των τιμών lens σε μοίρες και το αντίστροφο.

Πίνακας 5 Οι τιμές FOV της κάμερας

Τιμές FOV	
Lens(mm)	Μοίρες(°)
1.2	185
1.7	170
2.1	158
2.5	147
2.8	130
3.0	127
3.6	92
4.0	88
6.0	78

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια επέλεξα την συγκεκριμένη κάμερα.

3.2.1.2 Ο transmitter TS5823Pro 5.8GHZ 600mW



Εικόνα 24 Ο πομποδέκτης VTX TS5823Pro 5.8GHZ

Ο TS823Pro αποτελεί μία από τις δημοφιλέστερες και πιο αξιόπιστες επιλογές για την μετάδοση δεδομένων βίντεο από ένα drone.

Ένας από τους πολλούς λόγους που επιλέγεται συχνά από τους σχεδιαστές drones είναι η χαμηλή καθυστέρηση αποστολής της εικόνας(low-latency), δίνοντας την δυνατότητα στον χειριστή να έχει μία άμεση επαφή με τον περιβάλλοντα χώρο, καθιστώντας ικανή έγκαιρη την πιθανή αποφυγή εμποδίων.

Επίσης, ένα άλλο πλεονέκτημα είναι η κεραία του που αποκόπτει αποτελεσματικά ενδεχόμενες παρεμβολές που θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά το σήμα.

Ο συγκεκριμένος πομποδέκτης έχει τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά:

- **Μοντέλο:** TS823Pro.
- **Συχνότητα λειτουργίας(Frequency):** 5.8GHZ.
- **Αριθμός Καναλιών Εκπομπής:** 40 κανάλια.
- **Κατανάλωση ενέργειας του μεταδότη(Transmitting Power Consumption):** 630mW.
- **Τάση τροφοδοσίας(Power Supply):** 7-24V.
- **Βάρος:** 5 γραμμάρια.
- **Διαστάσεις:** 30X20X8 σε χιλιοστάμετρα(mm).

3.2.2 Ο receiver UVC OTG FPV 5.8G



Εικόνα 25 UVC OTG FPV Receiver

Ο συγκεκριμένος δέκτης βίντεο, επιτρέπει την λήψη σημάτων βίντεο με ασύρματο τρόπο(wireless communication), χρησιμοποιώντας την συχνότητα των 5.8GHz. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο δέκτης αυτός χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο UVC(USB Video Class), για αυτό τον λόγο το λογισμικό του υπολογιστή θα πρέπει να υποστηρίζει το συγκεκριμένο πρωτόκολλο.

Το πρωτόκολλο UVC(USB Video Class), χρησιμοποιείται για την μεταφορά οπτικοακουστικών δεδομένων από μία συσκευή σε μία άλλη κάνοντας χρήση καλωδίου USB.

Τα πλεονεκτήματα από την χρήση αυτού του πρωτοκόλλου είναι τα εξής:

- Διευκολύνει την αναγνώριση εξωτερικής κάμερας ή συστήματος ήχου(μικρόφωνο, ηχείο κτλ).
- Μειώνει τον χρόνο μετάδοσης της πληροφορίας.
- Αναγνωρίζεται από τα λειτουργικά συστήματα MACOS, Linux, Windows.
- Είναι φιλικό προς τον χρήστη αφού απαιτείται η ύπαρξη μόνο ενός καλωδίου USB για να συνδεθεί το η συσκευή συλλογής δεδομένων με τον προσωπικό υπολογιστή.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται παρακάτω:

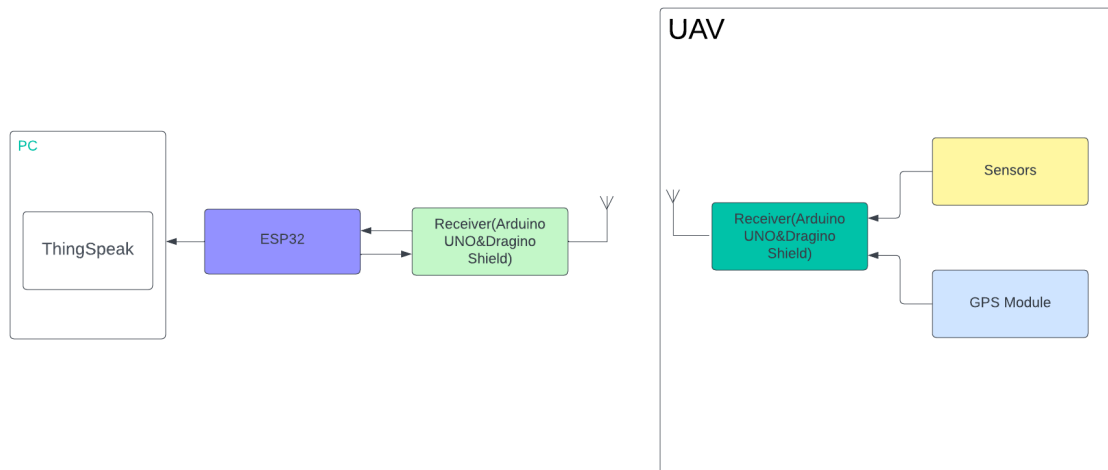
- **Όνομα:** UVC OTG FPV Receiver.
- **Μοντέλο:** ROTG01.

- **Αριθμός καναλιών:** 150.
- **Εύρος Συχνοτήτων:** 5865-5945 σε HZ.
- **Ευαισθησία:** -90dB.
- **Κατανάλωση ρεύματος:** 200 mA στα 5V τάση λειτουργίας.
- **Θερμοκρασία λειτουργίας:** -10 έως 60 βαθμοί κελσίου.

4.Σύστημα Τηλεμετρίας

Το **σύστημα τηλεμετρίας** είναι υπεύθυνο για να λαμβάνει τις μετρήσεις από τους αισθητήρες και τις συντεταγμένες από το GPS. Το σύστημα τηλεμετρίας της εφαρμογής απαρτίζεται από τα εξής μέρη:

- **Transmitter/Receiver:** Ο transmitter θα είναι υπεύθυνος για την αποστολή των δεδομένων από τους αισθητήρες και τις συντεταγμένες του GPS και ο receiver θα έχει την ευθύνη για την λήψη των δεδομένων αυτών. Ο transmitter θα είναι τοποθετημένο πάνω στο UAV και ο receiver στο έδαφος. Το καθένα από τα δύο μέρη αποτελείται από ένα Arduino UNO και ένα Dragino shield το οποίο είναι σχεδιασμένο για να τοποθετείται πάνω στο Arduino UNO.
- **Αισθητήρες:** Από τους οποίους θα λαμβάνω χημικές και περιβαλλοντικές μετρήσεις από το πεδίο της πυρκαγιάς. Οι αισθητήρες θα είναι τοποθετημένοι πάνω στο UAV και θα είναι συνδεδεμένα απευθείας με τον transmitter(Arduino UNO & Dragino shield).
- **GPS module:** Επίσης το UAV θα φέρει πάνω του ένα GPS module από το οποίο θα λαμβάνω τον γεωγραφικό μήκος (longtitude) και γεωγραφικό πλάτος(latitude) του σημείου που βρίσκεται το τετρακόπτερο εναέριο όχημα.
- **ESP32:** Είναι μία πλακέτα(board), η οποία δίνει την δυνατότητα να στέλνω τα δεδομένα των αισθητήρων και του GPS μέσω WiFi στο ThingSpeak. Τα δεδομένα του receiver που θα λαμβάνει από τον transmitter θα στέλνονται μέσω του σειριακού πρωτοκόλλου UART, στο **ESP32**.



Εικόνα 26 Block diagram συστήματος τηλεμετρίας

4.1 Η πλακέτα Arduino UNO

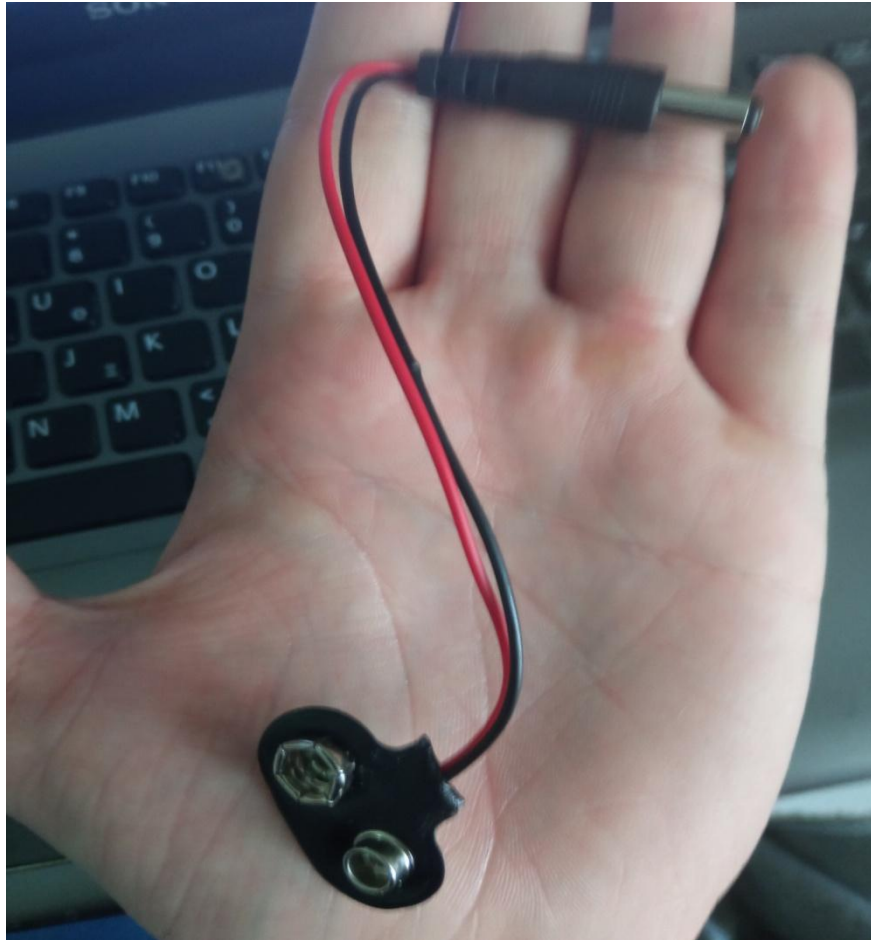
Το Arduino είναι μία πλακέτα που περιέχει τον ενσωματωμένο μικροελεγκτή ATMEGA328p με 14 ψηφιακές εισόδους/εξόδους, από τις οποίες οι 6 από αυτές υποστηρίζουν PWM. Επίσης περιέχει 6 αναλογικές εισόδους. Το Arduino UNO μπορεί να επεξεργαστεί αναλογικά σήματα που κυμαίνονται από 0V έως 5V.

Όσο αναφορά την τροφοδοσία ένα Arduino UNO έχει την δυνατότητα να παρέχει τάση των 3.3V ή/και 5V με μέγιστο ρεύμα 30-40mA.

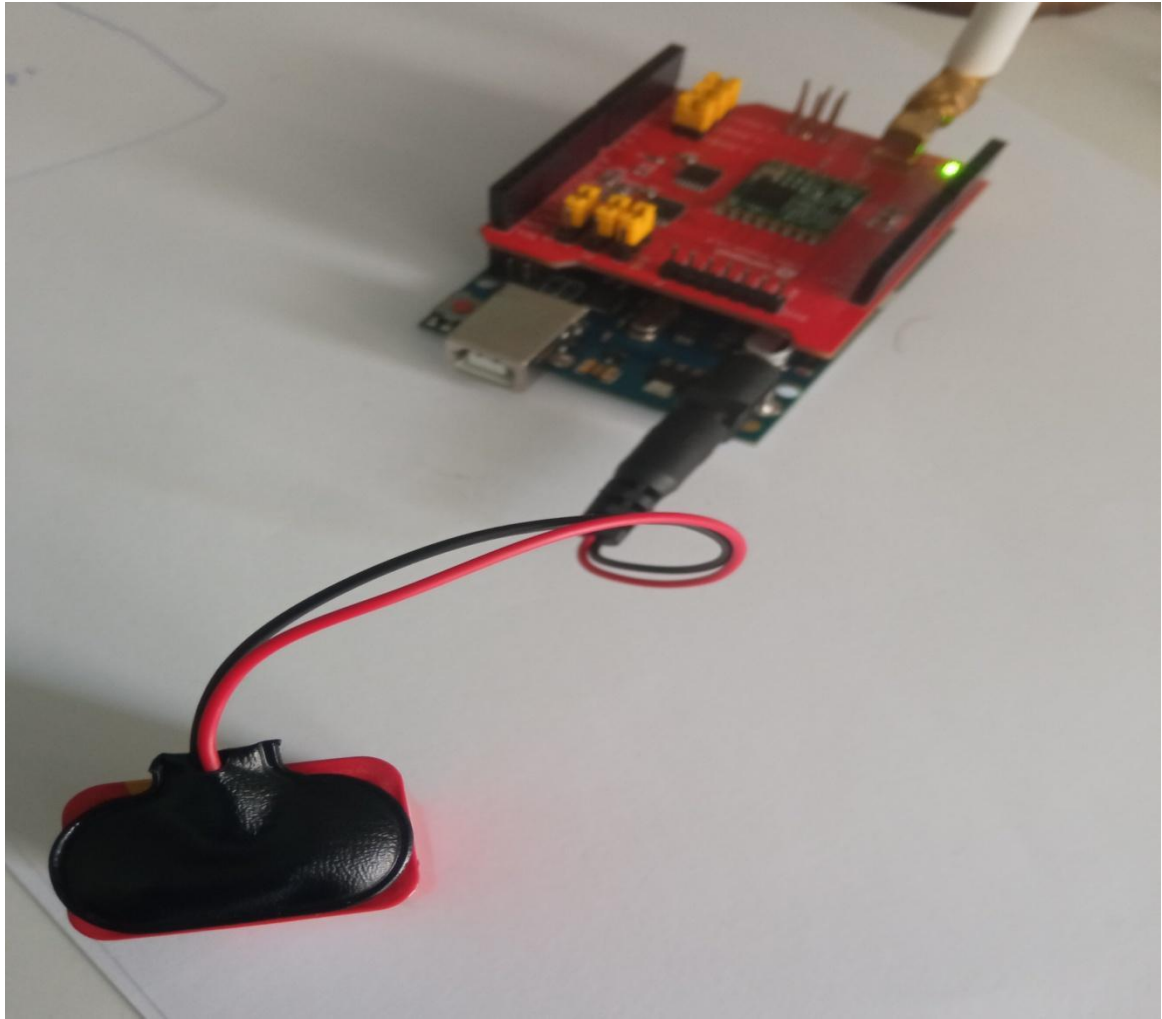
Επιπλέον πάνω του το Arduino φιλοξενεί Flash memory, όπου εκεί αποθηκεύεται το πρόγραμμα του προγραμματιστή και έχει χωρητικότητα 32KB.

Το Arduino UNO μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε με την χρήση ενός καλωδίου USB, είτε με την χρήση εξωτερικής τροφοδοσίας καθώς είναι τοποθετημένος πάνω του ένας Jack connector.

Στην συγκεκριμένη κατασκευή χρησιμοποιώ την εξωτερική τροφοδοσία για την παροχή ενέργειας, συνδέοντας μία αλκαλική μπαταρία των 9 Volts μέσω ενός Holder clip connector.



Εικόνα 27 To holder battery clip



Εικόνα 28 Σύνδεση της μπαταρίας με το Arduino UNO με την χρήση battery clip

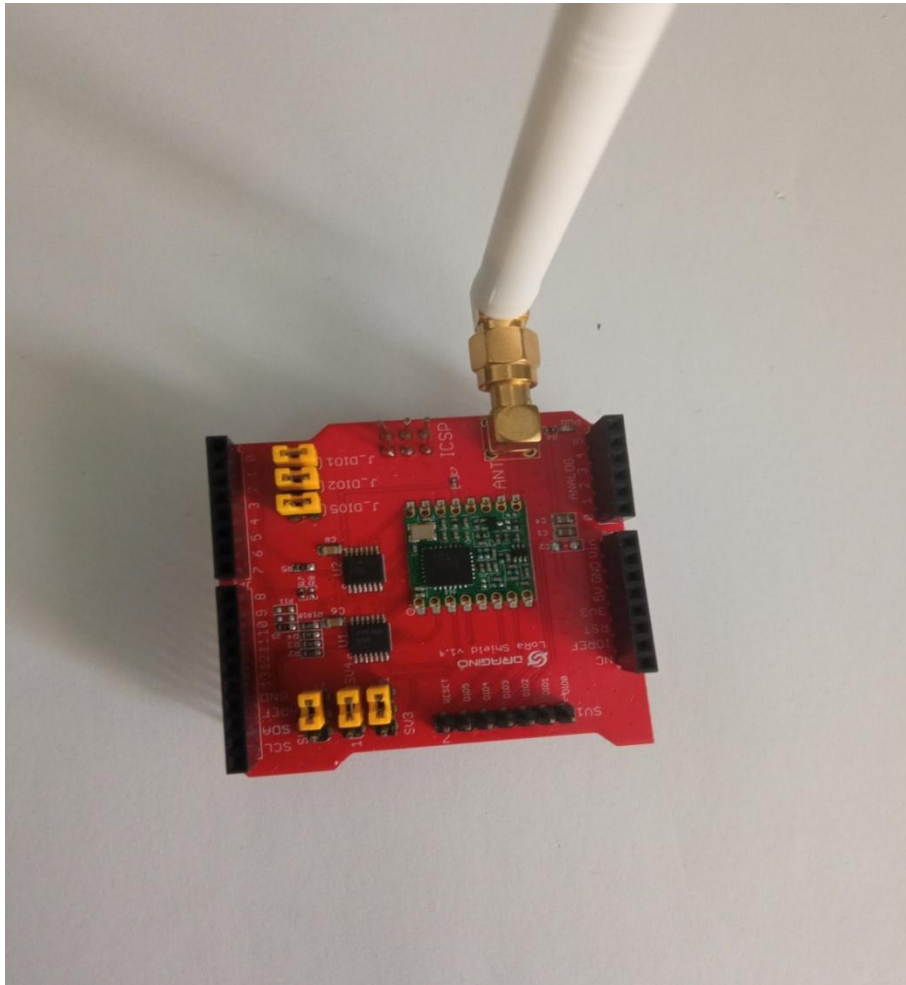
Πιο κάτω φαίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά του Arduino UNO.

Πίνακας 6 Βασικά χαρακτηριστικά του Arduino UNO

Πηγή: Παπάζογλου & Λιώνης, 2018

Μικροελεγκτής	ATmega328
Τάση Λειτουργίας	5V
Τάση εξωτερικής τροφοδοσίας	7-12V
Ψηφιακές έξοδοι	14(με 6 από αυτά να λειτουργούν και ως PWM)
Αναλογικοί είσοδοι/έξοδοι	6
Μέγιστο ρεύμα εξόδου/εισόδου	40mA
Flash Memory	32KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB

4.2 Dragino LoRa 868MHz shield



Εικόνα 29 Dragino LoRaWAN 868Mhz Shield

Το Dragino shield είναι ένας μεταδότης ο οποίος επιτρέπει σε ένα Arduino UNO την μεταφορά δεδομένων σε μεγάλο γεωγραφικό εύρος που φτάνει έως και τα 15 χιλιόμετρα (σύμφωνα με τον κατασκευαστή).

Το πρωτόκολλο το οποίο χρησιμοποιεί είναι το LoRaWAN. Είναι ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται ευρέως στις μέρες μας για την επίτευξη μεγάλου εύρους ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ συσκευών. Το LoRaWAN βασίζεται στην τεχνική LoRa (Long Range), που ο σκοπός της είναι η διαμόρφωση των RF συχνοτήτων.

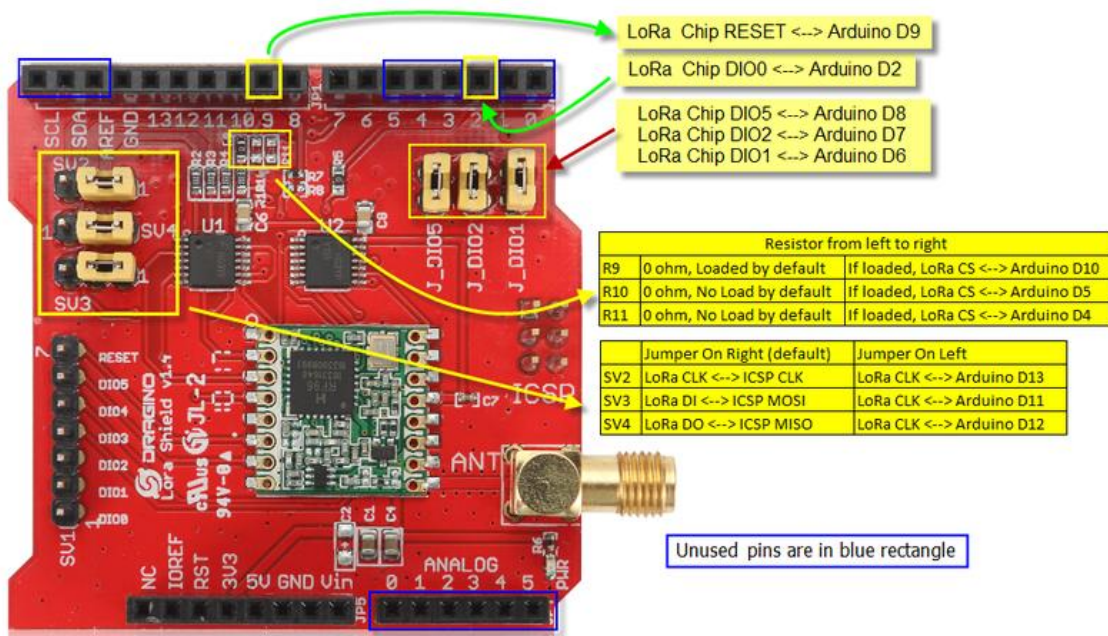
Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της χρήσης LoRa είναι η μικρή κατανάλωση ισχύος, για αυτό τον λόγο οι μπαταρίες μπορούν να έχουν διάρκεια ζωής ακόμα και 10 χρόνια.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται παρακάτω:

Πίνακας 7 Τεχνικά χαρακτηριστικά του Dragino LoRaWAN shield

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Μεγάλη ακτίνα εμβέλειας	15km(σε αγροτική περιοχή), 2km(σε αστική περιοχή)
Χαμηλή ισχύς	1mW
Ενισχυτής Ισχύος(Power Amplifier-PA)	+14dbm
Ευαισθησία(Sensitivity)	-148dbm
Τεχνική	LoRa
Frequency band	868MHZ

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η τοπολογία των ακροδεκτών:



Εικόνα 30 Οι ακροδέκτες του Dragino shield

Πηγή: Dragino, 2020

4.3 Αισθητήρες

Ένας **αισθητήρας** μετατρέπει το φυσικό μέγεθος σε ηλεκτρικό σήμα και αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο σε κάθε σύστημα μέτρησης.

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες αισθητήρων που ποικίλλουν ανάλογα με την μορφή ενέργειας που καλούνται να ανιχνεύσουν. Μερικές απ αυτές τις κατηγορίες είναι οι εξής:

Πίνακας 8 Παραδείγματα αισθητήρων και των ανιχνεύσιμων ενεργειών τους

Πηγή: Καλοβρέκτης & Κατέβας, 2019

Μορφή Ενέργειας	Αισθητήρας
Ηλεκτρική	Φορτίου, αγωγιμότητας, χωρητικότητας
Μαγνητική	Hall, διαπερατότητας
Χημική	pH, οσμών, συγκέντρωσης αέριων σωματιδίων
Μηχανική	Δύναμης, Μάζας, Επιτάχυνσης, Ροής
Θερμική	Θερμοκρασίας, θερμικής αγωγιμότητας
Ακτινοβολία	Υπεριώδους, Μικροκυμάτων, ακτίνων Χ, ακτίνων γ

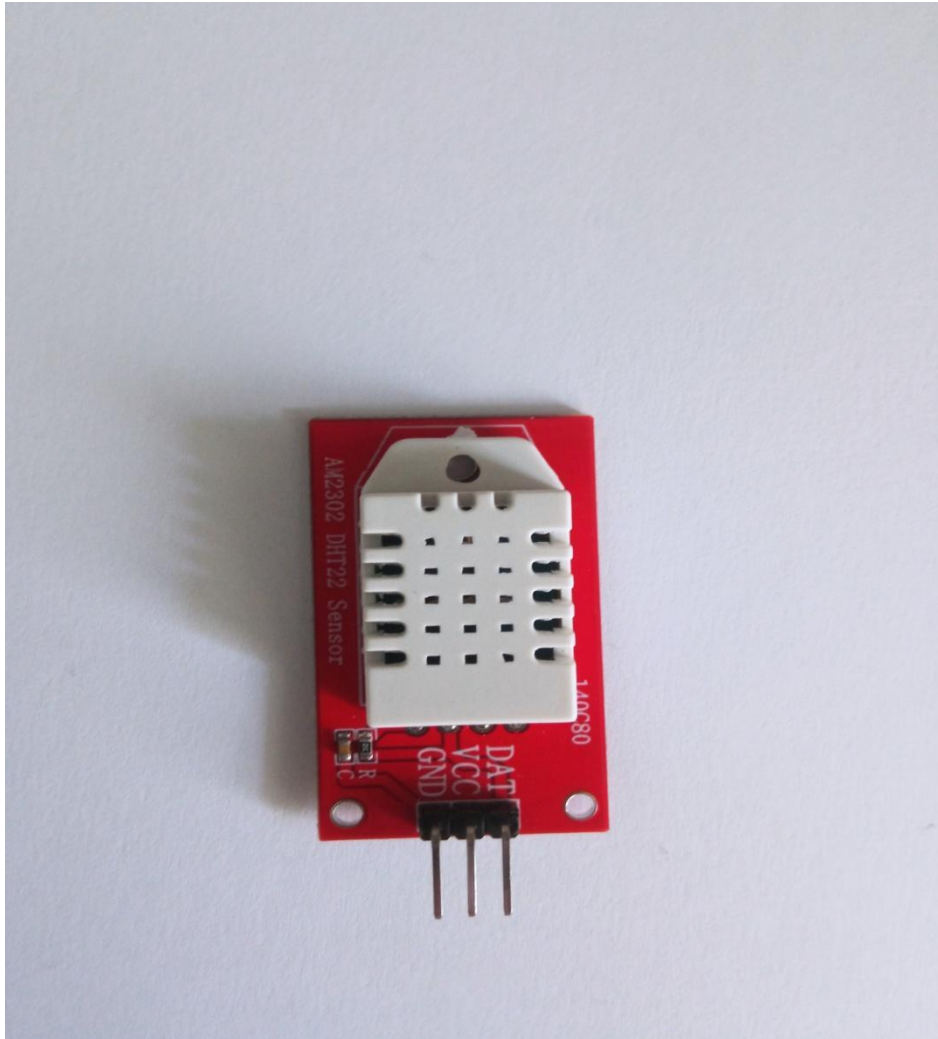
Στην συνέχεια αναλύονται οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν.

4.1.1 Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT22

Η υψηλή θερμοκρασία αποτελεί ένα από τους κυριότερους παράγοντες που συμβάλλουν στην ανάπτυξη και εύκολη εξάπλωση της πυρκαγιάς. Αυτό συμβαίνει διότι με την αύξηση της θερμοκρασίας το υλικό που βρίσκεται πλησίον της φλόγας, αυξάνει τις πιθανότητες εύκολης ανάφλεξης.

Επίσης, υπάρχουν υλικά που φλέγονται εύκολα και σε συνδυασμό με την ύπαρξη υψηλής θερμοκρασίας μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο δημιουργίας και εξάπλωσης της πυρκαγιάς. Για τους παραπάνω λόγους η υψηλή θερμοκρασία αποτελεί αρνητικό παράγοντα, αφού επιδεινώνει την πυρκαγιά καθιστώντας την δυσκολότερο το έργο της κατάσβεσης.

Τα ποσοστό υγρασίας αποτελεί και αυτός κρίσιμος παράγοντας για την ύπαρξη και την εξάπλωση της πυρκαγιάς, αφού όσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση υγρασίας τόσο λιγότερο εφικτή γίνεται η απορρόφηση των υδρατμών με τον αέρα με αποτέλεσμα η εξάπλωσή της πυρκαγιάς να καθίσταται δύσκολη.



Εικόνα 31 Ο αισθητήρας θερμοκρασίας/υγρασίας DHT22

Ο αισθητήρας **DHT22** είναι ένας ψηφιακός αισθητήρας ο οποίος μετράει δύο φυσικά μεγέθη: την ποσότητα της υγρασίας στον χώρο και την θερμοκρασία. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας είναι ευρέως διαδεδομένος, αφού το μέγεθός του είναι μικρό και η τιμή του αρκετά χαμηλή σε σχέση με άλλους αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας του εμπορίου.

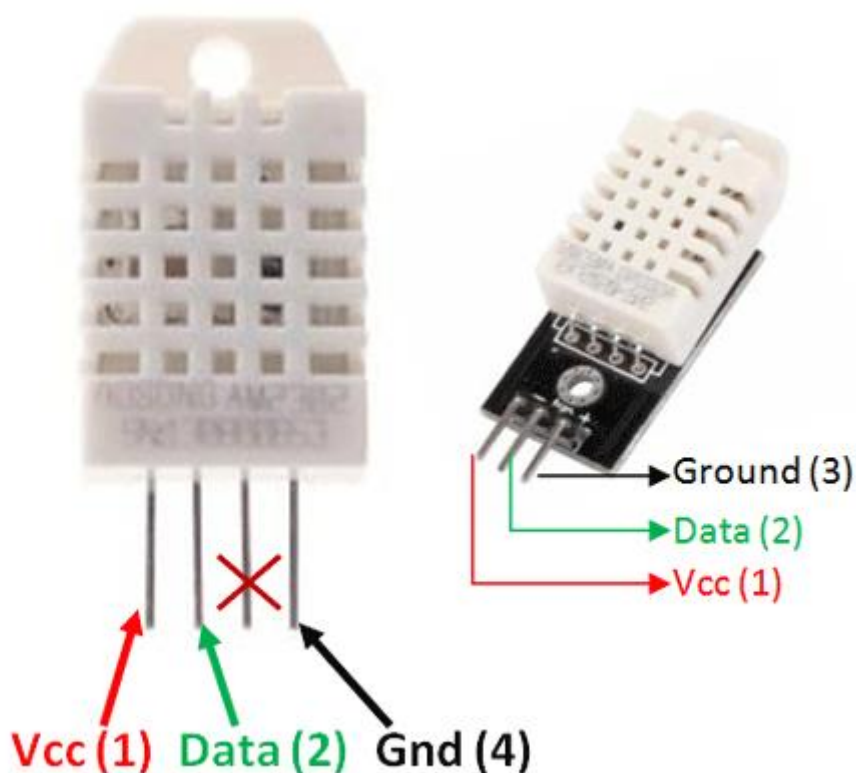
Άλλο ένα μεγάλο πλεονέκτημα είναι η μεγάλη ακρίβεια στις μετρήσεις. Επίσης το εύρος των θερμοκρασιών που ανιχνεύει κυμαίνεται από -40°C έως 85°C με ακρίβεια $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Όσο αναφορά το εύρος μέτρησης υγρασίας του αισθητήρα, κυμαίνεται από 0% έως 100% με ακρίβεια $\pm 2\%$.

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται όλα τα τεχνικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα:

Πίνακας 9 Συγκεντρικός πίνακας χαρακτηριστικών του αισθητήρα θερμοκρασίας/υγρασίας DHT22

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Τάση λειτουργίας	3.3-6 Volt
Ρεύμα	300 mA
Εύρος μετρήσεων θερμοκρασίας	-45°C έως 100°C, ±0.5%°C
Εύρος μετρήσεων υγρασίας	0%RH έως 100%RH, ±2%RH
Χρόνος καθυστέρησης(Delay time)	2 sec
Διαστάσεις	14*18*5.5 mm

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται οι ακροδέκτες του αισθητήρα μαζί με την λειτουργία του καθενός ξεχωριστά:



Εικόνα 32 Οι ακροδέκτες του DHT22

Πηγή: COMPONENTS101, 2018

Παρατηρώντας την παραπάνω εικόνα βλέπουμε ότι ο ακροδέκτης με αριθμηση 1 είναι ο ακροδέκτης τροφοδοσίας. Ο ακροδέκτης νούμερο 2, είναι αυτός που στέλνει τα δεδομένα από τον αισθητήρα στον ψηφιακό ακροδέκτη του Arduino UNO. Ο ακροδέκτης νούμερο 3 δεν συνδέεται. Τέλος, ο ακροδέκτης νούμερο 4 συνδέεται στην γείωση.

Για την αποφυγή λάθους κατά την σύνδεση και την καταστροφή του αισθητήρα, η αρίθμηση των ακροδεκτών(pins), μετράται από αριστερά προς τα δεξιά.

Πίνακας 10 Συγκεντρωτικός πίνακας ακροδεκτών του DHT22

Ακροδέκτης	Λειτουργία
1	Τροφοδοσία
2	DATA
3	NC(No Connection)
4	GND

Η σύνδεση του αισθητήρα με το Arduino UNO(και κατά συνέπεια με το Dragino shield), είναι η εξής:

4.1.2 Ο αισθητήρας MQ-135

Ο αισθητήρας αερίων MQ-135 ανήκει στην κατηγορία των MQ-X χρησιμοποιείται για την μέτρηση της συγκέντρωσης επιβλαβών αερίων όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα(CO), το διοξείδιο του άνθρακα(CO₂), το αμμώνιο(NH₄), η ακετόνη(C₃H₆O), το τολουόλιο(C₇H₈), η αιθανόλη(C₂H₆O) και ο καπνός. Η συγκέντρωση των αερίων μετράται σε **PPM**(Parts Per Melon), δηλαδή το πλήθος των μορίων ενός αερίου που υπάρχει στην ατμόσφαιρα ανά 1.000.000 μορίων της ατμόσφαιρας.

4.1.2.1 Αρχή λειτουργίας του MQ-135

Αισθητήρας αποτελείται από μία θερμαινόμενη αντίσταση μεταλλικού οξειδίου που όταν εκτίθεται στα αέρια, μεταβάλλει την αντίστασή του. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένη η αντίσταση αυτή ποικίλλει ανάλογα τον κατασκευαστή.

Όταν τα μόρια των αερίων προσπίπτουν στην επιφάνεια της αντίστασης, τότε η τιμή της αντίστασης μειώνεται με αποτέλεσμα την αύξηση της τάσης εξόδου. Γι' αυτό, όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του αερίου, τόσο μικρότερη είναι η αντίσταση.

4.1.2.2 Μέθοδος υπολογισμού της συγκέντρωσης

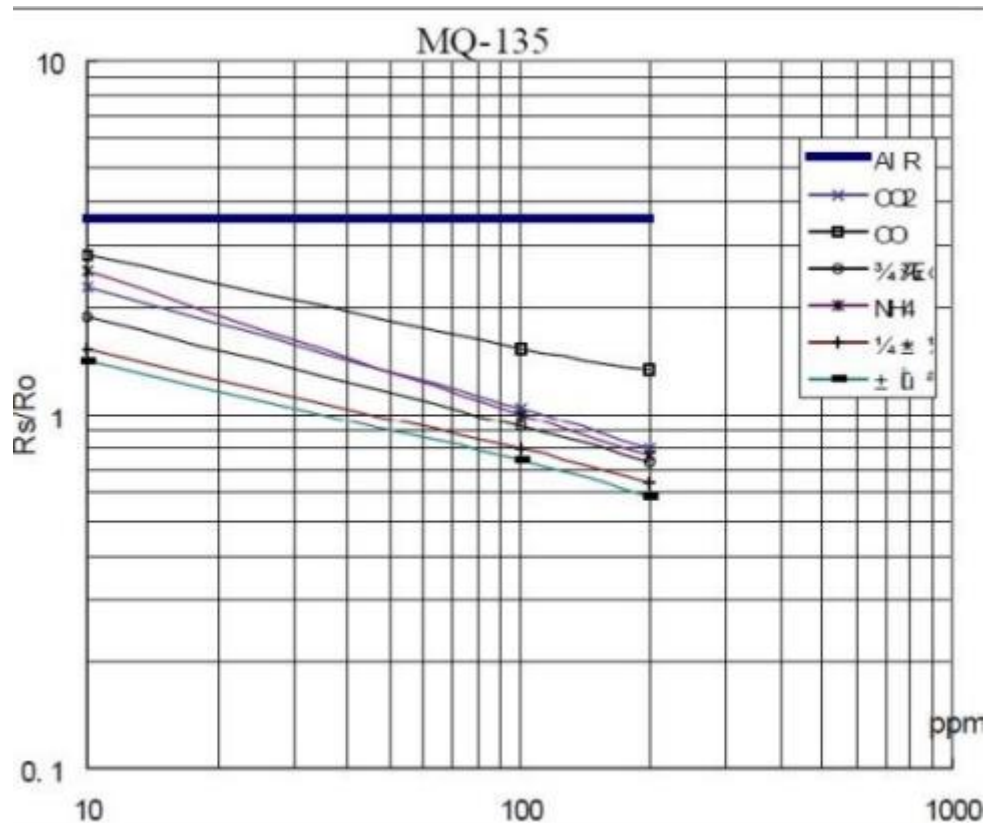
Διαβάζοντας τα φύλλα δεδομένων των κατασκευαστών υπάρχει ένα διάγραμμα με τις συγκεντρώσεις των αερίων σε συνάρτηση με την αναλογία $\frac{R_S}{R_0}$.

Όπου:

R_s : είναι η τιμή της θερμαινόμενης αντίστασης(Sensor's Resistance)

R_0 : η τιμή της συγκεκριμένης παραμέτρου είναι σταθερή και ποικίλλει ανάλογα τον τύπο MQ αισθητήρα που θα επιλεγθεί κάθε φορά. Η τιμή αυτή εκφράζει την τιμή της αντίστασης στα 100 ppm αμμωνίας(NH_3) υπό καθαρό αέρα(in fresh air).

Το διάγραμμα που δίνεται από τον κατασκευαστή για τον αισθητήρα MQ-135 είναι το εξής:



Εικόνα 33 Το διάγραμμα αερίων του MQ-135 Πηγή: Abbas, Saadoon, Abdalrdha, & Abud, 2020

Τα συγκεκριμένα διαγράμματα αναπαριστώνται σε κλίμακα διάταξης log-log.

Σύμφωνα με τα παραπάνω παρατηρώντας το διάγραμμα αερίων, η σταθερά $R_0=3.6$ (μπλέ οριζόντια γραμμή).

Παρατηρούμε ότι οι υπόλοιπες γραμμές έχουν αρνητικό συντελεστή κλίσης, γιατί όσο πιο μεγάλη είναι η συγκέντρωση του αερίου τόσο μικρότερη θα είναι και η R_s , άρα η αναλογία $\frac{R_s}{R_0}$ είναι επακόλουθο να μειωθεί και αυτή.

Η σχέση υπολογισμού της θερμαινόμενης αντίστασης R_s του αισθητήρα είναι η εξής:

$$R_s = \left(\frac{V_C}{V_{R_L}} - 1 \right) * R_L,$$

Όπου:

V_C : Η τάση τροφοδοσίας του αισθητήρα.

R_L : $1K\Omega$ (Δίνεται από το datasheet του κατασκευαστή).

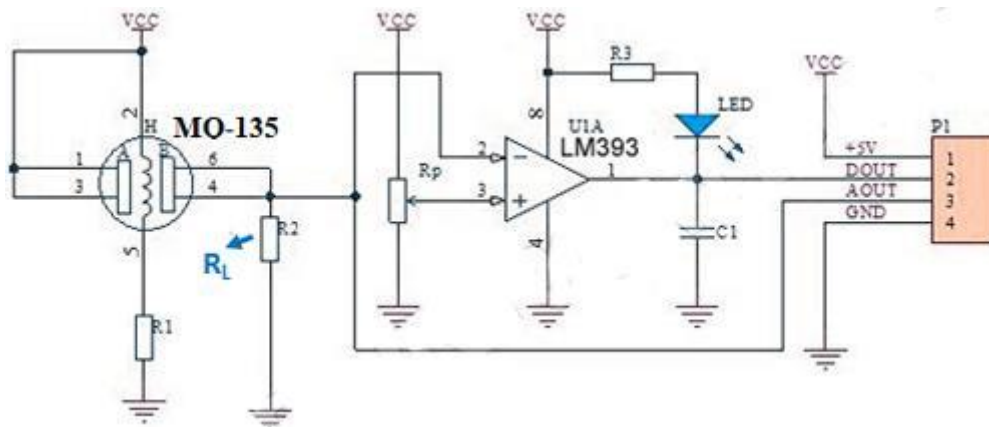
V_{R_L} : Η διαφορά δυναμικού που επικρατεί στα άκρα της αντίστασης R_L .



Εικόνα 34 Η αντίσταση R_L

Πηγή: Bhosale, Kulkarni, Shaligram, & Pustake, S. (2023,January)

Επίσης παρακάτω παρατίθεται η σχηματική εικόνα (schematic image) του αισθητήρα



Εικόνα 35 Schematic image του MQ-135

Πηγή: Choudhary, 2020

Από την προηγούμενη εικόνα, παρατηρείται ότι η αντίσταση R_L είναι συνδεδεμένη σε σειρά με την αντίσταση R_S δημιουργώντας έναν διαιρέτη τάσης. Άρα η τάση V_{R_L} είναι η τάση που επικρατεί στα άκρα του αναλογικού ακροδέκτη του αισθητήρα(Aout).

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως το διάγραμμα συγκεντρώσεων των αερίων δίνεται σε κλίμακα log-log. Γι αυτό τον λόγο είναι αναγκαία εύρεσης μίας εξίσωσης που να διέπει την σχέση που υπάρχει μεταξύ της συκέντρωσης του αερίου με τον λόγο $\frac{R_S}{R_0}$.

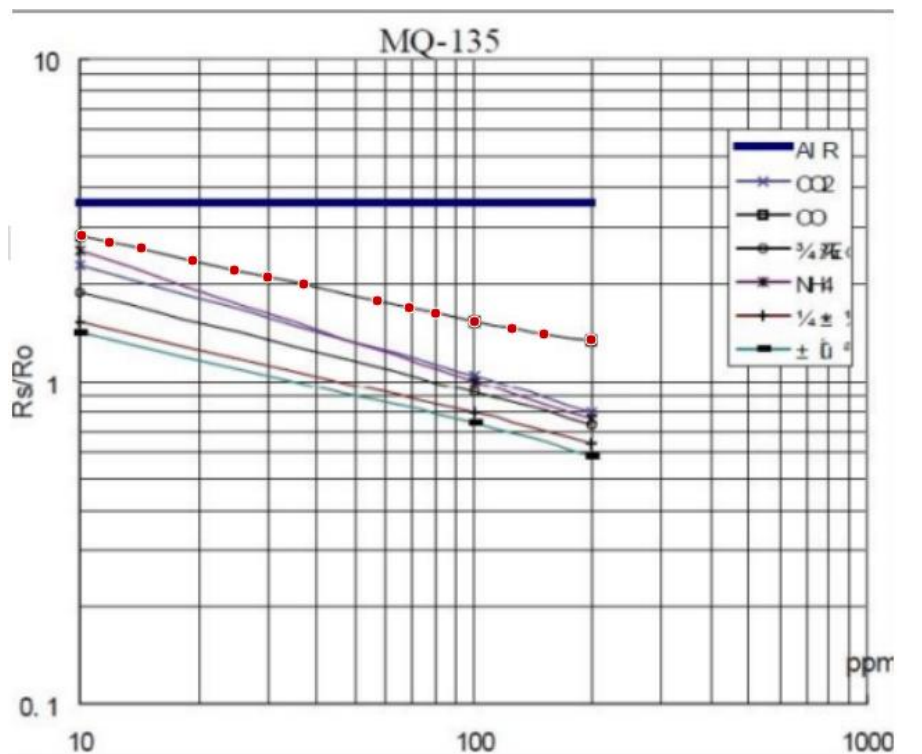
Για την δημιουργία αυτής της σχέσης χρησιμοποίησα ένα δωρεάν πρόγραμμα που ονομάζεται WebPlotDigitizer.

Το WebPlotDigitizer βοήθησε στην αποκόμιση δειγμάτων σημείων σε μορφή συντεταγμένων από το διάγραμμα συγκεντρώσεων και το δείγμα αυτό το έκανα εξαγωγή σε μορφή CSV σε ένα αρχείο excel προκειμένου αργότερα με βάση αυτά τα σημεία να εμφανίσω μία σχέση της μορφής:

$$y = a * x^b$$

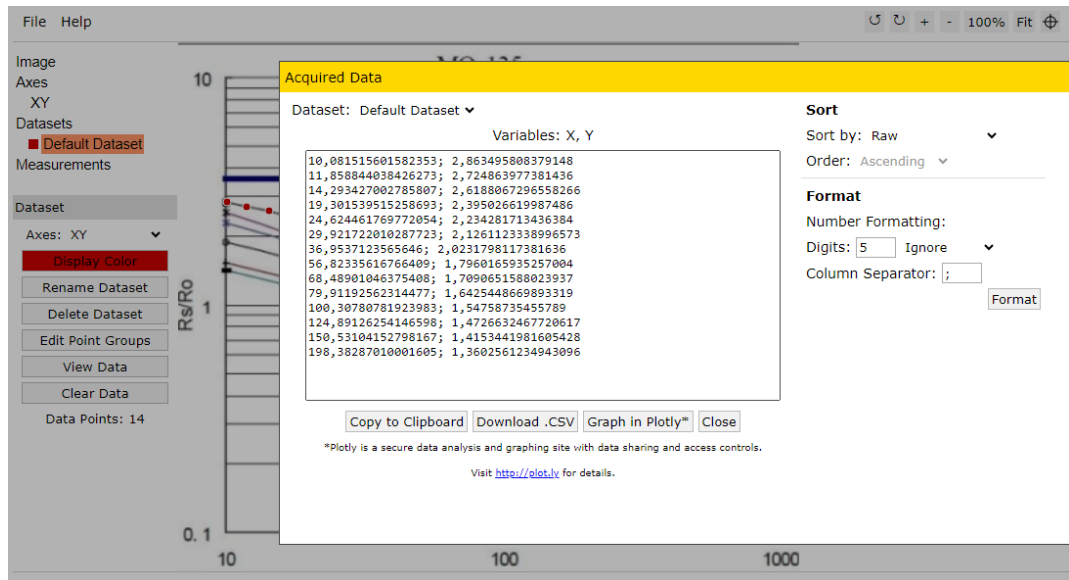
Τα βήματα είναι τα εξής:

- **1^ο βήμα:** Μπαίνοντας στον ιστότοπο της εφαρμογής, με τον κέρσορα κάνω 'κλικ' στην μπάρα του μενού την επιλογή 'file'. Ύστερα, στον αναπτυσσόμενο μενού που εμφανίζεται στην οθόνη, επιλέγω το 'Load Image'. Έπειτα κάνω upload την εικόνα που θέλω τοπικά από τον υπολογιστή.
- **2^ο βήμα:** Από το διάγραμμα συγκεντρώσεων επιλέγω την ευθεία του αερίου που θέλω να υπολογίσω και παίρνω δείγματα από σημεία πάνω της. Για τη εξήγηση της διαδικασίας παίρνω ως παράδειγμα την ευθεία του CO(μονοξείδιο του άνθρακα).



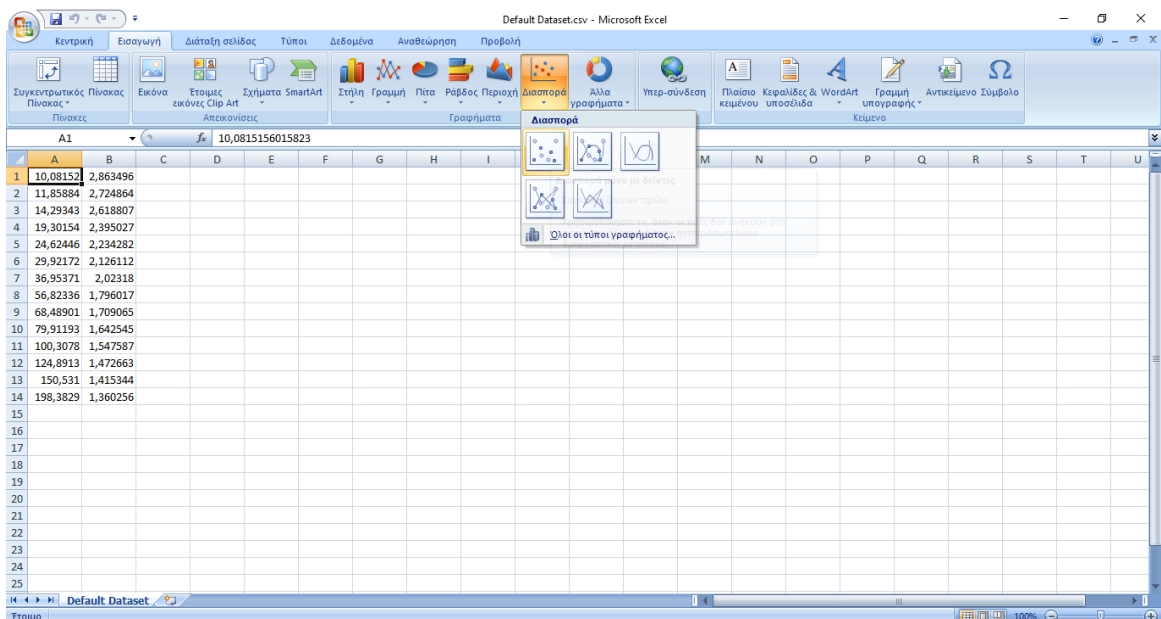
Εικόνα 36 Επιλογή σημείων από την γραφική παράσταση της ευθείας του CO

- **3^ο βήμα:** Πατάω το κουμπί ‘View Data’ (αριστερά). Έπειτα εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο:



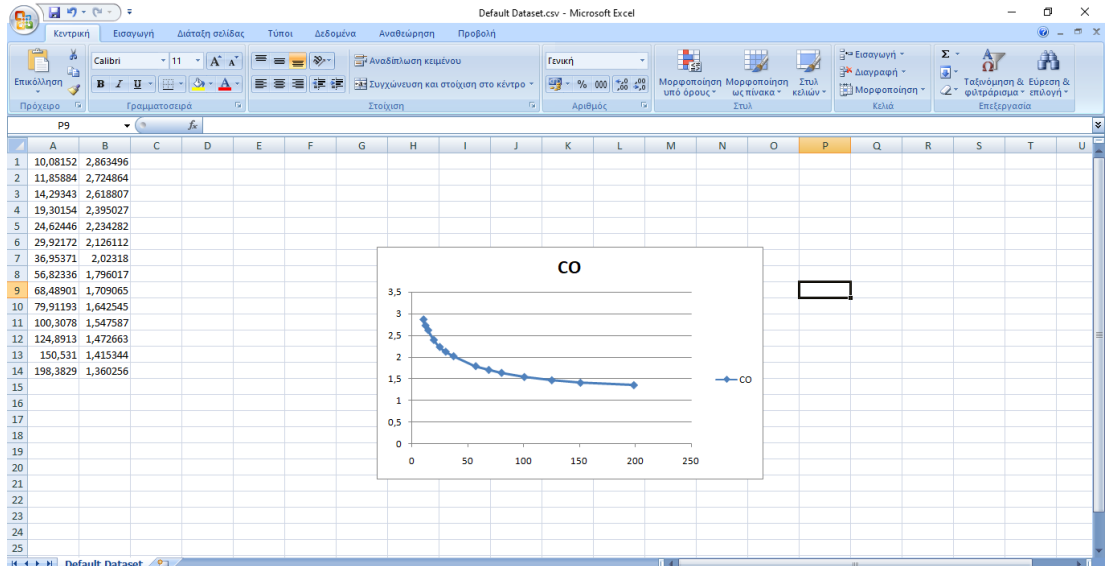
Εικόνα 37 Οι συντεταγμένες των επιλεγμένων σημείων

- **4^ο βήμα:** Πατάμε το κουμπί ‘Download . CSV’ για να κατεβάσουμε τοπικά το αρχείο συντεταγμένων σε μορφή excel. Ανοίγοντας το κατεβασμένο αρχείο, έπειτα στο μενού πατάμε ‘Εισαγωγή’ > ‘Γραφήματα’ > ‘Διασπορά’. Τα βήματα εμφανίζονται στην παρακάτω εικόνα.



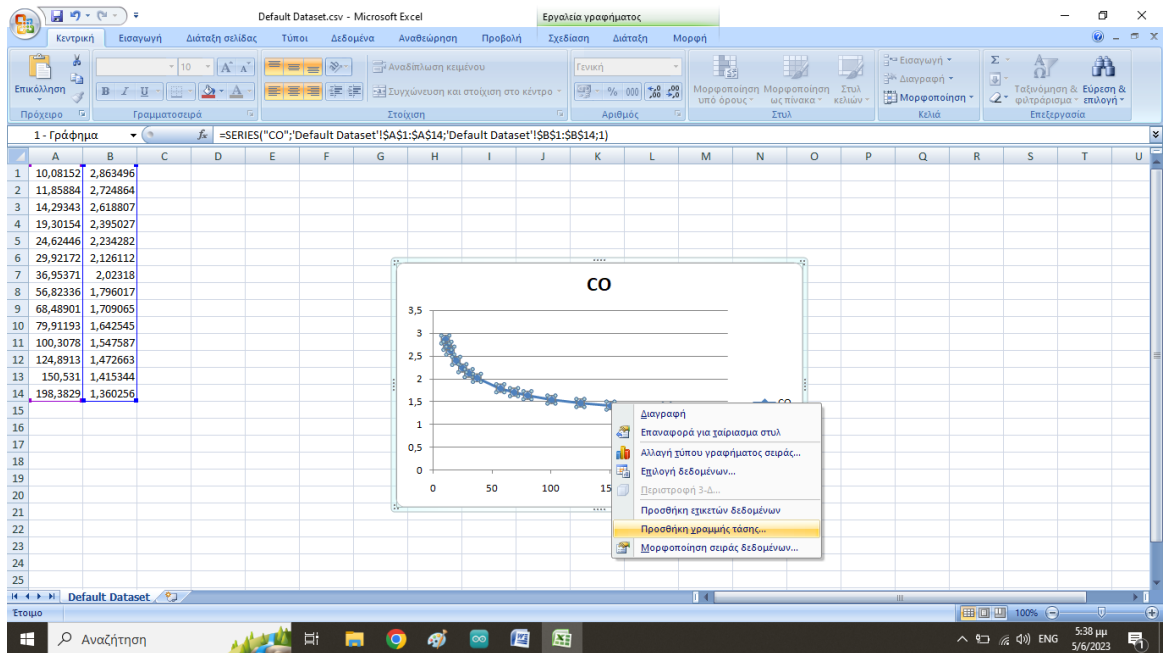
Εικόνα 38 Τα βήματα για την δημιουργία του γραφήματος

- **5^ο βήμα:** Αφού έχουμε επιλέξει τα κελιά της στήλης A ως σημεία τετμημένης του και τα κελιά της στήλης B ως σημεία τεταγμένης, τότε προκύπτει το εξής γράφημα:



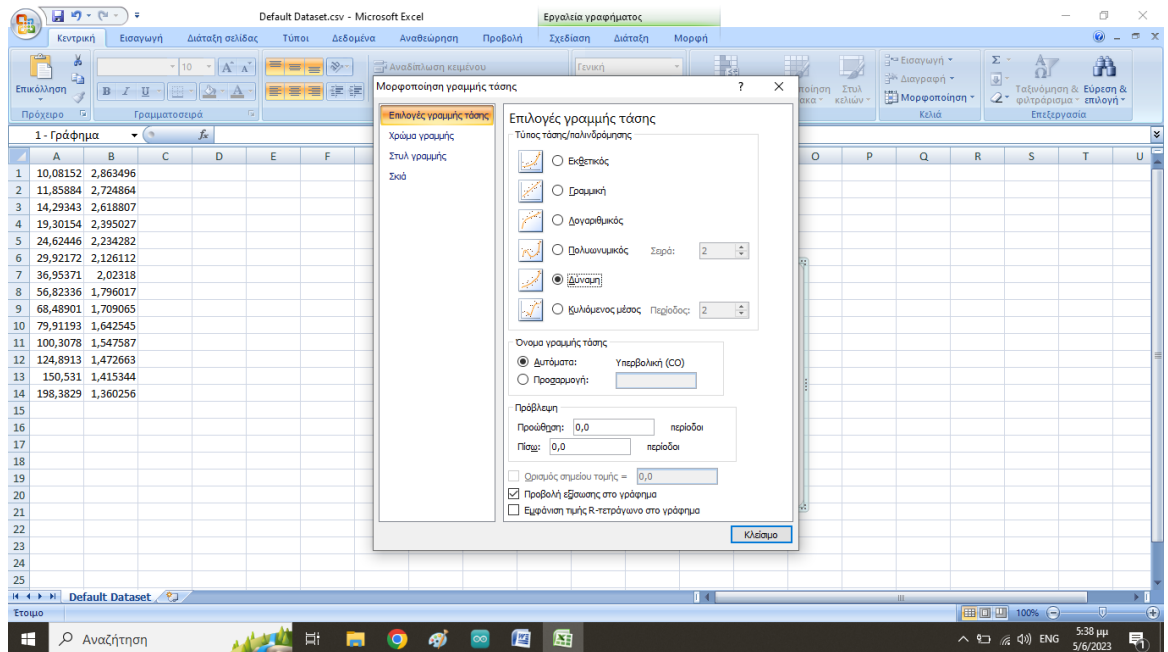
Εικόνα 39 Το γράφημα της συγκέντρωσης του CO

- **6^ο βήμα:** έπειτα κάνουμε δεξί κλικ πάνω στην μπλέ γραμμή. Τότε εμφανίζεται ένα πτυσσόμενο μενού. Επιλέγουμε ‘Προσθήκη γραμμής τάσης...’.

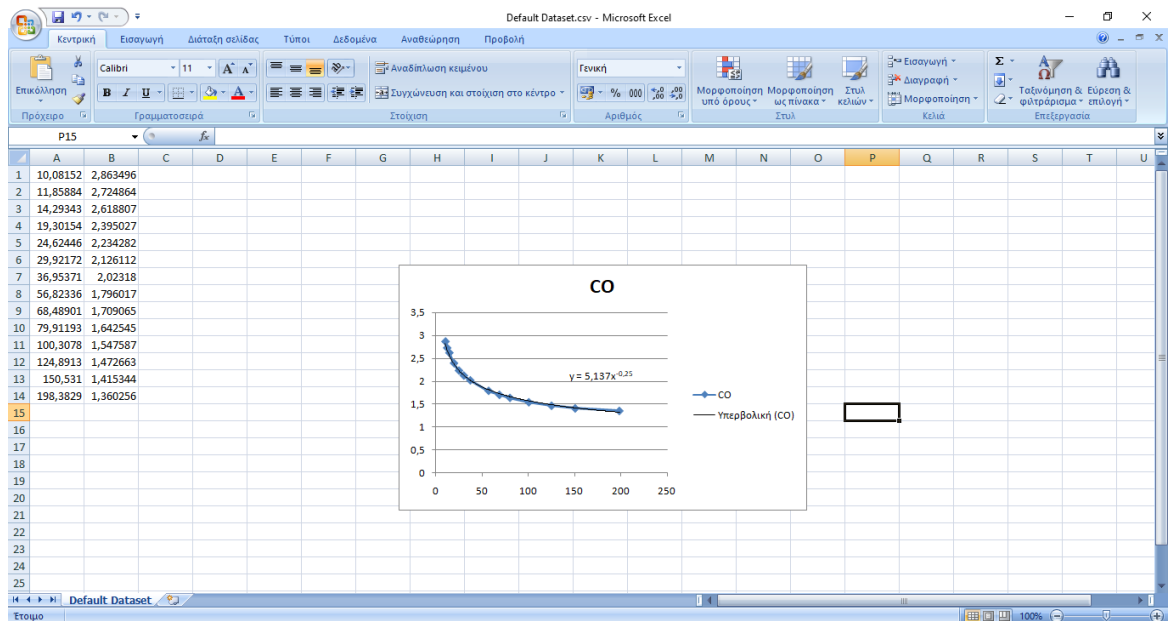


Εικόνα 40 Επιλογή προσθήκη γραμμής τάσης

- **7^ο βήμα:** Στο τελευταίο βήμα επιλέγουμε τις εξής επιλογές για την εμφάνιση της γραμμής τάσης μαζί με την εξίσωσή της:



Εικόνα 41 Επιλογές γραμμής τάσης



Εικόνα 42 Εμφάνιση εξίσωσης γραμμής τάσης για το αέριο CO

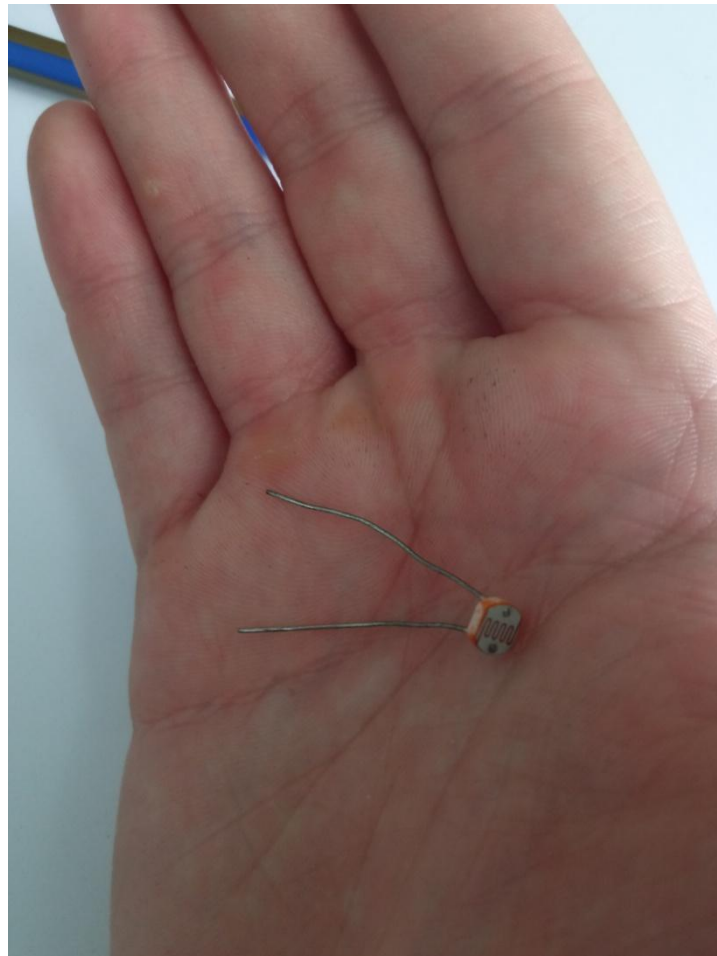
Στην τελευταία εικόνα εμφανίζεται η εξίσωση: $y = 5,137 * x^{-0,25}$, όπου x είναι τα ppm(η συγκέντρωση) και y είναι η αναλογία $\frac{R_S}{R_0}$.

Στον πίνακα που παρατίθεται πιο κάτω παρουσιάζονται τα τεχνικά & ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα:

Πίνακας 11 Τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα MQ-135

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Τάση λειτουργίας	5V
Τάση θέρμανσης της αντίστασης	5V±0.1
Αντίσταση αισθητήρα(Sensing Resistance- R_S)	30KΩ-100KΩ(100ppm NH3)
R_L	Adjust
T_{ao} (Θερμοκρασία λειτουργίας)	-10°C έως 70°C
R_H (Heating Resistance)	33Ω±5%
P_H (Heating consumption)	<800mW
Διαστάσεις	35mm x 22mm x 23mm

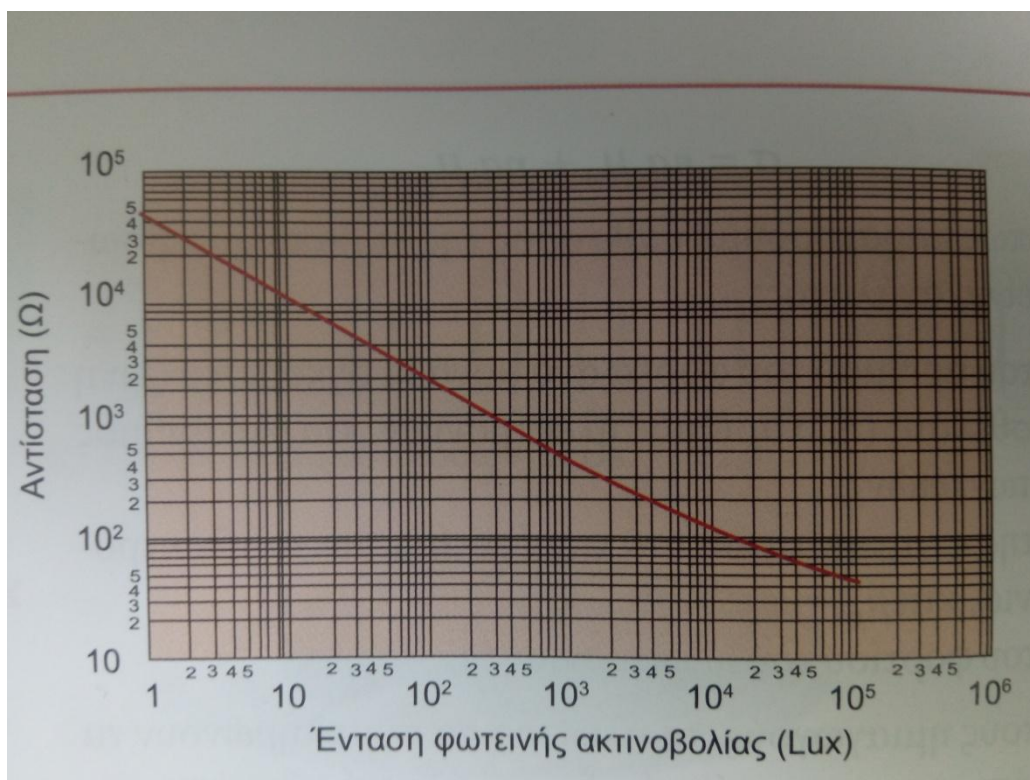
4.1.3 Φωτοευαίσθητη αντίσταση(LDR)



Εικόνα 43 Φωτοευαίσθητη αντίσταση

Η φωτοευαίσθητη αντίσταση, είναι μία αντίσταση όπου το μέτρο της μεταβάλλεται ανάλογα με την ένταση του φωτός. Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του φωτός τόσο μικρότερη είναι η τιμή της αντίστασης και το αντίστροφο.

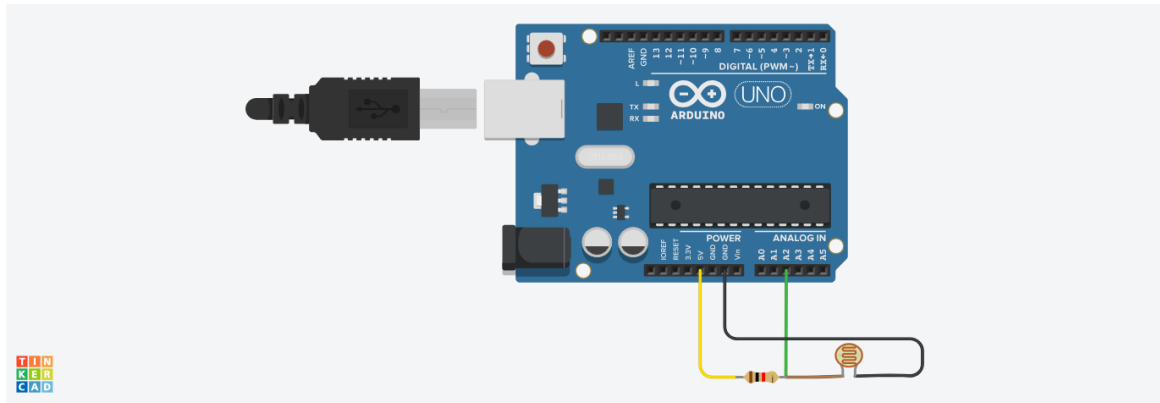
Παρακάτω φαίνεται σε διάγραμμα log-log η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας σε lux (άξονας x) που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια της αντίστασης σε συνάρτηση με την τιμή της αντίστασης(άξονας y).



Εικόνα 44 Διάγραμμα της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε συναρτηση με την τιμή της αντίστασης

Πηγή: Καλοβρέκτης, & Κατέβας, 2019

Για να λάβω την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας θα χρειαστεί να δημιουργήσω έναν διαιρέτη τάσης. Η τιμή εξόδου του διαιρέτη τάσης θα εξαρτάται κάθε φορά από το μέγεθος της αντίστασης, δηλαδή την ποσότητα των φωτονίων που προσπίπτουν στην επιφάνεια της φωτοευαίσθητης αντίστασης.



Εικόνα 45 Ο αισθητήρας φωτός σε σύνδεση με το Arduino

Στον αναλογικό ακροδέκτη A2 του Arduino συνδέω την έξοδο του διαιρέτη. Ουσιαστικά είναι η τάση που επικρατεί στα άκρα της φωτο-αντίστασης.

Η τάση εξόδου του διαιρέτη τάσης περιγράφεται από την σχέση:

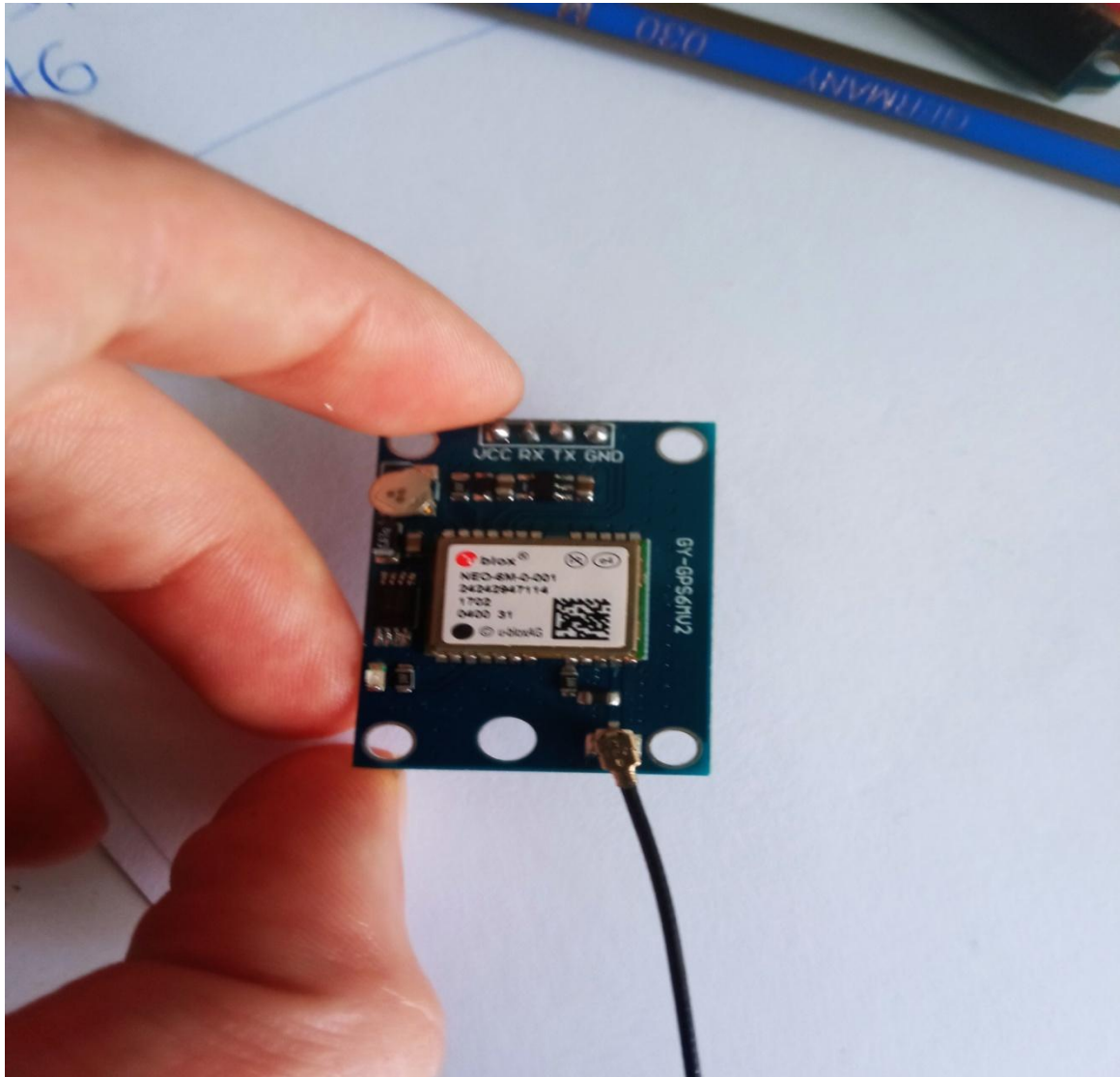
$$V_{OUT} = \frac{R_{photoresistor}}{R_{photoresistor} + 1k\Omega} * 5V$$

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα:

Πίνακας 12 Χαρακτηριστικά του αισθητήρα φωτοευαίσθητης αντίστασης

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Max Operating Voltage	150V
Max Wattage	100mW
Operating Temperature	-30°C έως 70°C
Spectrum	540nm
Response Time	20ms

4.4 GPS module NEO-6M



Εικόνα 46 Το GPS NEO-6M

Το NEO-6M είναι ένα σύστημα δορυφορικής πλοήγησης(GPS-Global Positioning System). Παρέχει την ακριβή τοποθεσία(γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος) του UAV, αλλά μπορεί να παρέχει κι άλλες πληροφορίες όπως η ταχύτητα, το υψόμετρο και τον χρόνο.

Το συγκεκριμένο module βασίζεται στο ενσωματωμένο τσιπ Ublox Neo 6M GPS. Το συγκεκριμένο τσιπ μπορεί να ανιχνεύσει σήμα ακόμα και από 22 δορυφόρους ταυτόχρονα. Το ρεύμα λειτουργίας είναι στα 45mA. Το baud rate είναι προκαθορισμένο στα 9600Kbps.

Επίσης είναι ενσωματωμένη μια φωτοδίοδος ανίχνευσης(LED indicator), οποίος μας πληροφορεί εάν το GPS μας έχει καταφέρει να λάβει σήμα από δορυφόρους. Σε περίπτωση που αναβοσβήνει το LED περιοδικά ανά 1 δευτερόλεπτο, σημαίνει ότι το GPS λαμβάνει σήμα από δορυφόρο.

Η λήψη των δεδομένων γίνεται με την χρήση κεραίας η οποία τοποθετείται πάνω σε μία ειδική υποδοχή(UFL υποδοχέα) που βρίσκεται πάνω στο module. Η ευαισθησία της κεραίας είναι -161db.

Η μεταφορά δεδομένων από το NEO-6M προς το Arduino UNO/Dragino shield γίνεται μέσω του σειριακού πρωτοκόλλου UART. Ο τρόπος σύνδεσης μεταξύ τους παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

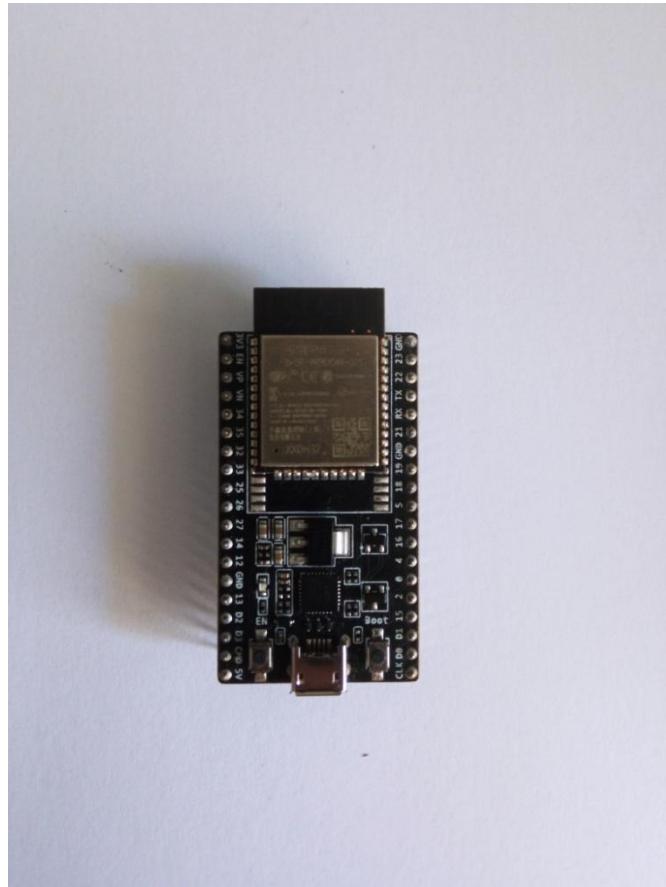
Πίνακας 13 Συνδεσμολογία του NEO-6M GPS module με το Arduino

GPS module	Arduino UNO
VCC	5V
RX	2
TX	3
GND	GND

Πίνακας 14 Τεχνικά χαρακτηριστικά του NEO-6M

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Τύπος αισθητήρα	GPS module
Αριθμός καναλιών	50
Delay time	1sec
Ευαισθησία	-161db
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40°C έως 85°C
Ρεύμα λειτουργίας	45mA

4.5 ESP32 Devkit V1



Εικόνα 47 Το ESP32 board

Το ESP-32 είναι μία πλακέτα η οποία είναι σχεδιασμένη από την εταιρεία Espressif Systems. Η βασική μονάδα από την οποία απαρτίζεται η συγκεκριμένη πλακέτα είναι το ESP-WROOM32D module.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του ESP-WROOM32D:

- **Μικροεπεξεργαστής:** Ο διπύρηνος μικροεπεξεργαστής LX6 32bit.
- **Τάση λειτουργίας:** Από 2,7 έως 3,3V.
- **Ρεύμα λειτουργίας:** 80mA.
- **Συχνότητα ρολογιού:** 240MHZ.
- **Μέγεθος μνήμης ROM:** 448KB.
- **Μέγεθος μνήμης SRAM:** 520KB.
- **Analog to Digital Converters:** Αποτελείται από 18 ακροδέκτες με ανάλυση 12-bit.
- **Digital to Analog Converters:** Αποτελείται από 2 ακροδέκτες με ανάλυση 8-bit.
- **SPI συνδέσεις:** Υποστηρίζει δύο συνδέσεις.

- **UART συνδέσεις:** Υποστηρίζει τρεις συνδέσεις.
- **I2C συνδέσεις:** Υποστηρίζει δύο συνδέσεις.
- **I2S συνδέσεις:** Υποστηρίζει δύο συνδέσεις.
- **PWM ακροδέκτες:** Υποστηρίζει 16 ακροδέκτες.
- **Πρωτόκολλο WiFi:** 802.11b/g/n. Το εύρος συχνοτήτων είναι στα 2.4GHz έως 2.5GHz και με ρυθμό αποστολής δεδομένων έως και 150Mbytes ανά δευτερόλεπτο.
- **Πρωτόκολλο Bluetooth:** Bluetooth V4.2.

Εκτός από την μονάδα ESP-WROOM32 το συγκεκριμένο board φέρει επάνω του κι άλλα σημαντικά εξαρτήματα που είναι απαραίτητα για την λειτουργία του όπως:

- **CP2102:** Είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο χρησιμοποιείται για την επίτευξη της επικοινωνίας μεταξύ του USB πρωτοκόλλου που συνδέεται απευθείας με τον υπολογιστή με την χρήση ενός καλωδίου και του UART πρωτοκόλλου που επικοινωνεί με τον μικροεπεξεργαστή.
- **Reset button.**
- **Boot Button.**

4.6 ThingSpeak

Το ThingSpeak είναι μία πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να συλλέγουν, να αναλύουν αλλά και να προβάλλουν τα δεδομένα που δέχονται από συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο. Επίσης παρέχει στον χρήστη υπηρεσίες Cloud υποδομής και API κλειδιά, με τα οποία ο χρήστης μπορεί να προβάλλει τα δεδομένα από το ThingSpeak στην εφαρμογή του. (ThingSpeak,2023)

Οι βασικές λειτουργίες της συγκεκριμένης Cloud υποδομής φαίνεται παρακάτω:

- Παρουσίαση των μετρήσεων σε ζωντανή ροή.
- Εύκολη αποστολή δεδομένων στο ThingSpeak, χρησιμοποιώντας συσκευές που υποστηρίζουν πρωτόκολλα για IoT εφαρμογές.
- Σε συνδυασμό με την χρήση του λογισμικού MATLAB, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επεξεργαστεί τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο.
- Αυτόματη εκτέλεση αποτελεσμάτων βάσει προγραμματισμένων χρονοδιαγραμμάτων.(ThingSpeak,2023)

Στο πλαίσιο της εφαρμογής δημιουργήσα επτά κανάλια με σκοπό της οπτικοποίηση των εξής μετρήσεων:

- Μονοξείδιο του άνθρακα
- Διοξείδιο του άνθρακα
- Θερμοκρασία
- Υγρασία

- Ακτινοβολία
- Γεωγραφικό πλάτος
- Γεωγραφικό μήκος

Ο ρυθμός ενημέρωσης των δεδομένων θα συμβαίνει σε χρονικό διάστημα τριών δευτερολέπτων.

5.Η ιστοσελίδα

Η ιστοσελίδα αποτελείται από τον HTML κώδικα, τον CSS, και την Javascript. Αυτά τα τρία στοιχεία αποτελούν τα βασικά μέρη μίας ιστοσελίδας και χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη δομή, την εμφάνιση και την συμπεριφορά μίας σελίδας.

5.1 HTML

Η συντακτική δομή της HTML ακολουθεί ένα συγκεκριμένο πρότυπο και περιλαμβάνει διάφορα στοιχεία που συνδέονται μεταξύ τους. Εδώ είναι μερικά βασικά στοιχεία που απαρτίζουν την συντακτική δομή ενός HTML κώδικα:

1) **Δομή εγγράφου:** Οποιοδήποτε HTML έγγραφο ξεκινάει με μία ετικέτα ‘<html>’ και τελειώνει με την ετικέτα ‘</html>’. Ανάμεσα σε αυτές τις δύο ετικέτες συνήθως υπάρχουν οι εξής ετικέτες:

- **Η ετικέτα ‘<head>’:** Εντός της ετικέτας περιλαμβάνονται πληροφορίες που αφορούν το έγγραφο, τον τίτλο της σελίδας, εξωτερικά συνδεδεμένα αρχεία της CSS και της Javascript.
- **Η ετικέτα ‘<body>’:** Περιλαμβάνει το περιεχόμενο της ιστοσελίδας. Σαν περιεχόμενο θα μπορούσε να είναι: το κείμενο, εικόνες, url κτλ.

2) **Ετικέτες(Tags):** Οι ετικέτες χρησιμοποιούνται για να περιβάλλουν το περιεχόμενο και να το διαμορφώσουν. Κάθε ετικέτα ξεκινά με ένα σύμβολο ‘<’ και τελειώνει με το σύμβολο ‘>’. Ορισμένες ετικέτες απαιτούν κλείσιμο, όπως η ‘<div>’, ενώ άλλες κλείνουν αυτόματα όπως η ‘
’.

3) **Ιεραρχία:** Οι ετικέτες μπορούν να εμπεριέχουν άλλες ετικέτες, δημιουργώντας ιεραρχία. Η ετικέτα ‘<html>’ είναι η γονική ετικέτα που περιβάλλει όλο το έγγραφο. Οι ετικέτες ‘<head>’ και η ‘<body>’ αποτελούν απόγονοι της ‘<html>’.

5.2 CSS

Η CSS(Cascading Style Sheets) είναι μία γλώσσα που χρησιμοποιείται για την μορφοποίηση και την εμφάνιση των ιστοσελίδων. Μπορούμε να αλλάξουμε το χρώμα, τις γραμματοσειρές, τα περιθώρια αλλά και πολλά άλλα στοιχεία.

5.3 Javascript

Η Javascript είναι μία γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται για την προσθήκη δυναμικών και αλληλεπίδρασης με τις ιστοσελίδες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο και την αλλαγή του περιεχομένου, της εμφάνισης και της συμπεριφοράς των στοιχείων της ιστοσελίδας.

5.4 Bootstrap



Εικόνα 48 Το logo του Bootstrap

Για την κατασκευή της ιστοσελίδας χρησιμοποιήθηκε το Bootstrap. Το Bootstrap είναι ένα ανοιχτού κώδικα πλαίσιο που βοηθά στην ευκολότερη και ταχύτερη δημιουργία ιστοσελίδων, προσφέροντας στυλ, διάταξη και συστατικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την σχεδίαση και την λειτουργικότητα της ιστοσελίδας.

Ο λόγος χρήσης αυτού του πλαισίου είναι η εξοικείωση με τον σχεδιασμό απόκρισης(responsive design), η δυνατότητα δημιουργίας ευέλικτων και ευπροσάρμοστων αλληλεπιδράσεων με τον χρήστη, καθώς και η εξοικονόμηση χρόνου και προσπάθειας στην ανάπτυξη ιστοσελίδων.

5.5 Το περιβάλλον της ιστοσελίδας



Εικόνα 49 Το περιβάλλον της ιστοσελίδας

Στην εικόνα μπορούμε να δούμε το περιβάλλον της ιστοσελίδας. Αποτελείται από την επικεφαλίδα και τα οκτώ κουτιά τα οποία θα φιλοξενούν τις μετρήσεις που θα έρχονται από το ThingSpeak προς την ιστοσελίδα σε μορφή γραφήματος.

Γ.ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται σε ένα συγκεντρωτικό πίνακα όλα τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι τιμές αυτών.

Πίνακας 15 Οικονομική αποτίμηση της εφαρμογής

Εξάρτημα	Κόστος απόκτησης
Σκελετός του UAV	13,71€
Τέσσερις ηλεκτροκινητήρες	49,60€
Τέσσερις ηλεκτρονικοί ελεγκτές ταχύτητας	44,34€
Τέσσερις έλικες	10,00€
LiPo μπαταρία	25,74€
Ελεγκτής πτήσης	36,00€
Σύστημα Τηλεχειρισμού(Τηλεχειριστήριο και δέκτης)	85,72€
FPV Camera & Video transmitter	50,00€
FPV receiver	42,00€
Δύο Dragino shield	72,60€
Δύο Arduino UNO	17,36€
ESP32 module DEVKit	12,00€
GPS module	16,99€
MQ-135 Gas sensor	2,73€
Φωτοευαίσθητη αντίσταση	0,15€
DHT22 module	5,65€
Συνολικό κόστος	484,59€

Δ. Επίλογος

Στην διπλωματική μου εργασία με απασχόλησε το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών και το οποίο προσπάθησα να επιλύσω με την κατασκευή ενός τετρακόπτερου εναέριου οχήματος. Γι' αυτό τον λόγο, σκέφτηκα να δημιουργήσω μία κατασκευή η οποία θα αποτελέσει ένα ισχυρό βοηθητικό 'όπλο' στα χέρια των αρχών.

Κατά την κατασκευή του τετρακόπτερου επικεντρώθηκα περισσότερο στο κομμάτι της επίβλεψης των δασικών περιοχών και πρόληψης πιθανών κινδύνων που θα μπορούσαν να προκαλέσουν εκτεταμένη φυσική καταστροφή. Για τον σκοπό έχουν ενσωματωθεί στην κατασκευή περιβαλλοντικοί και χημικοί αισθητήρες που θα λαμβάνουν μετρήσεις και θα επιτρέπουν την άμεση και ακριβή διαβίβαση των δεδομένων προς τις αρμόδιες αρχές, καθώς και σύστημα GPS από το οποίο οι αρχές θα γνωρίζουν ανά πάσα στιγμή τις γεωγραφικές συντεταγμένες του UAV. Τέλος, φέροντας ένα σύστημα τηλεβιντεοσκόπησης το UAV θα μπορεί να λαμβάνει οπτικό υλικό και να το στέλνει στον υπολογιστή, όπου με αυτό τον σκοπό επιτυγχάνεται η εναέρια εποπτεία.

Εν κατακλείδι, ελπίζω πως με την βοήθεια της τεχνολογίας, ο άνθρωπος τελικά θα μπορέσει να μετριάσει σε μεγάλο βαθμό το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών καθώς αποτελεί αν όχι την σημαντικότερη μία από τις πιο σημαντικές απειλές για την ύπαρξη του ανθρώπου και γενικότερα όλου του οικοσυστήματος.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- 1) A2212/13T TECHNICALDATA. (n.d.). Ανάκτηση από https://www.rhydolabz.com/documents/26/BLDC_A2212_13T.pdf
- 2) Abatzoglou, J.T. and Williams, A.P. (2016). Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, [online] 113(42), pp.11770–11775. doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113>.
- 3) Abbas, F. N., Saadoon, M. M., Abdalrdha, Z. K., & Abud, E. N. (2020). Capable of Gas Sensor MQ-135 to Monitor the Air Quality with Arduino uno. *International Journal of Engineering Research and Technology* (13), σσ. 2955-2959.
- 4) Ahmad (2014). *A Review on Forest Fire Detection Techniques - Ahmad A. A. Alkhatib, 2014*. [online] International Journal of Distributed Sensor Networks. Available at: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1155/2014/597368> [Accessed 8 Jun. 2023].
- 5) Alkhatib A., 2014. “A review on Forest Fire Detection Techniques”, *International Journal of distributed sensor networks*, <http://dsn.sagepub.com/content/10/3/597368.full>
- 6) Alkhatib, A. (2017). Forest Fire Monitoring. [online] doi:<https://doi.org/10.5772/intechopen.72059>.
- 7) Andrews P. L., 1986. *BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system-BURN subsystem*, Part 1, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. http://www.fs.fed.us/rm/pubs_int/int_gtr194.pdf
- 8) Apostolakis, A., Girtsou, S., Giannopoulos, G., Nikolaos Bartsotas and Charalampos Kontoes (2022). Estimating Next Day’s Forest Fire Risk via a Complete Machine Learning Methodology. [online] 14(5), pp.1222–1222. doi:<https://doi.org/10.3390/rs14051222>.
- 9) Austin, R. (2010) *Unmanned Aircraft Systems, Human Factors in Aviation*. doi: 10.1016/B978-0-12-374518-7.00016-X.
- 10) Bartlett, R., and Anderson, J. (2023). California Wildfires 2020: A Case Study of UAV Application in Fire Management. *Disaster Prevention and Management*, 32(1), 78-92.

- 11) Balshi, M.S., MCGUIRE, A.D., DUFFY, P., FLANNIGAN, M., KICKLIGHTER, D.W. and MELILLO, J. (2009). Vulnerability of carbon storage in North American boreal forests to wildfires during the 21st century. *Global Change Biology*, 15(6), pp.1491–1510. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01877.x>.
- 12) Bemis, S.P., Micklethwaite, S., Turner, D., James, M.R., Akciz, S., Thiele, S.T. and Bangash, H.A. (2014). Ground-based and UAV-Based photogrammetry: A multi-scale, high-resolution mapping tool for structural geology and paleoseismology. *Journal of Structural Geology*, [online] 69, pp.163–178. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jsg.2014.10.007>.
- 13) Bhosale, M. C., Kulkarni, N. M., Shaligram, A. D., & Pustake, S. (2023,January). Measurement Of CO2 Gas Concentration Using MQ135 Sensor For Air Pollution Monitoring. Pune, India.
- 14) byteKultur GmbH (2017). *Impacts of Wildfires*. [online] Iq-firewatch.com. Available at: <https://www.iq-firewatch.com/risk> [Accessed 8 Jun. 2023].
- 15) Choudhary, A. (2020, November 17). *Measuring CO2 Concentration in Air using Arduino and MQ-135 Sensor*. Ανάκτηση June 19, 2023, από www.circuitdigest.com: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-mq135-gas-sensor-with-arduino-to-measure-co2-levels-in-ppm>.
- 16) Chowdary, V., Kumar Gupta, M. and Singh, R. (2018). A Review on Forest Fire Detection Techniques: A Decadal Perspective. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.12), p.1312. doi:<https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.12.17876>.
- 17) Chowdhury, S., Emami, M., and Izbicki, R. (2023). Regulatory Challenges in the Use of Drones for Forest Fire Management. *Journal of Forestry Research*, 34(4), 1121-1132.
- 18) Civilprotection.gov.gr. (2023). *Αρχείο Χαρτών / Υπουργείο Κλιματικής Κρίσης και Πολιτικής Προστασίας*. [online] Available at: <https://civilprotection.gov.gr/arxeio-imerision-xartwn> [Accessed 8 Jun. 2023].
- 19) Colomina, I. and Molina, P. (2014) Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
- 20) COMPONENTS101. (2018, Απρίλιος 19). *COMPONENTS101*. Ανάκτηση Ιούnius 14, 2023, από <https://components101.com/sensors/dht22-pinout-specs-datasheet>.
- 21) Diamantes, D. (2016). *Principles of fire prevention*. Sudbury: Jones & Bartlett Learning.
- 22) Dragino. (2020, October 18). *Dragino*. Ανάκτηση Ιούnius 6, 2023, από Dragino: https://wiki1.dragino.com/index.php?title=Lora_Shield#What_is_the_Dragino_LoRa_Shield.
- 23) EASA. (2022). *Drone rules*. Retrieved from: <https://www.easa.europa.eu/domains/civil-drones-rpas>.
- 24) Eisenbeiss, H. (2022). UAV photogrammetry. *Ethz.ch*. [online] doi:<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005939264>.

- 25) Europa.eu. (2015). *EFFIS - Welcome to EFFIS*. [online] Available at: <https://effis.jrc.ec.europa.eu/> [Accessed 8 Jun. 2023].
- 26) European Commission. (2021). *EU rules on drones*. Retrieved from: https://ec.europa.eu/transport/modes/air/news/2019-05-24-rules-operating-drones_en.
- 27) Feng, Q., Liu, J. and Gong, J. (2015). UAV Remote Sensing for Urban Vegetation Mapping Using Random Forest and Texture Analysis. *Remote Sensing*, 7(1), pp.1074–1094. doi:<https://doi.org/10.3390/rs70101074>.
- 28) Fireservice (2014). *Αρχηγείο - Πυροσβεστικό Σώμα Ελλάδος*. [online] Fireservice.gr. Available at: <https://www.fireservice.gr/el/archegeo> [Accessed 8 Jun. 2023].
- 29) Furgang, K. and Graham, D. (2019). *Wildfires*. Solon, Ohio: Findaway World, Llc.
- 30) Gupta, R., Reif, M., and Sturdevant, J. (2023). UAVs in wildfire detection and monitoring: A review on trends and challenges. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 11(3), 123-137.
- 31) Gustafsson, L., Prinz, T., and Seielstad, C. (2023). Swedish Wildfires 2018: A UAV Case Study. *International Journal of Wildland Fire*, 32(4), 350-364.
- 32) Hausheer, J.E. (2018). *Australian ‘Firehawk’ Raptors Intentionally Spread Wildfires*. [online] Cool Green Science. Available at: <https://blog.nature.org/2018/01/12/australian-firehawk-raptors-intentionally-spread-wildfires/> [Accessed 8 Jun. 2023].
- 33) Hcaa.gov.gr. (2022). *Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) – Drones*. [online] Available at: <https://hcaa.gov.gr/el/faqs/categories/systemata-mi-epandromenon-aeroskafon-smiea-drones> [Accessed 9 Jun. 2023].
- 34) Hellenicparliament (2019). *Σύνταγμα*. [online] Hellenicparliament.gr. Available at: <https://www.hellenicparliament.gr/Vouli-ton-Ellinon/To-Politevma/Syntagma/article-24/> [Accessed 8 Jun. 2023].
- 35) Heywood, P.M. (2018). Combating Corruption in the Twenty-First Century: New Approaches. *Daedalus*, 147(3), pp.83–97. doi:https://doi.org/10.1162/daed_a_00504.
- 36) Holman, F., Riche, A., Michalski, A., Castle, M., Wooster, M. and Hawkesford, M. (2016). High Throughput Field Phenotyping of Wheat Plant Height and Growth Rate in Field Plot Trials Using UAV Based Remote Sensing. *Remote Sensing*, 8(12), p.1031. doi:<https://doi.org/10.3390/rs8121031>.
- 37) International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Inc. (ISPRS). doi: 10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013.
- 38) Icao.int. (2021). *Emerging and Cross-cutting Aviation Issues — Increased use of unmanned aircraft systems (UAS)*. [online] Available at: <https://www.icao.int/annual-report-2021/Pages/emerging-and-cross-cutting-aviation-issues-increased-use-of-unmanned-aircraft-systems-uas.aspx> [Accessed 9 Jun. 2023].
- 39) Infodim.gr. (2023). *Αντιμετώπιση καταστροφών - Infοδημ*. [online] Available at: <https://infodim.gr/el/%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%82->

%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%
 CE%BF%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82/%CE%B1%CE%BD%
 CF%84%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%84%CF%8E%CF%80%CE%B9%
 CF%83%CE%B7-
 %CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CF%84%CF%81%CE%BF
 %CF%86%CF%8E%CE%BD.html [Accessed 8 Jun. 2023].

- 40) Jensen, A., McRae, D., and Pickering, G. (2023). UAVs in fire management: A systematic review of their use and effectiveness. *Journal of Forestry Research*, 34(4), 1011-1022.
- 41) Kim, H., Lee, D., and Hwang, J. (2023). Night-time operations of UAVs in fire management: challenges and solutions. *Fire Safety Journal*, 114, 103009.
- 42) Kochilakis G., D. Poursanidis, N. Chrysoulakis, V. Varella, V. Kotroni, G. Eftychidis, K. Lagouvardos, C. Papathanasiou, G. Karavokiros, M. Aivazoglou, C. Makropoulos, and M. Mimikou, FLIRE DSS: A web tool for the management of floods and wildfires in urban and periurban areas, *Open Geosciences*, 8, 711–727, doi:10.1515/geo-2016-0068, 2016.
- 43) Kolaric, D., Skala, K. and Dubravic, A. (2008). *Integrated System For Forest Fire Early Detection and Management*. [online] Available at: <https://hrcak.srce.hr/file/51898> [Accessed 8 Jun. 2023].
- 44) Korchenko, A. G. and Illyash, O. S. (2013) *The generalized classification of Unmanned Air Vehicles*, 2013 IEEE 2nd International Conference on Actual Problems of Unmanned Air Vehicles Developments, APUAVD 2013 -
- 45) Kumar, S., Reethika, A., & Manikanta, D. (2018). Drone (Unmanned Aerial Vehicle) using KK 2.1.5 board for surveillance. (2), σσ. 1417-1423.
- 46) Li, X., and Savkin, A. V. (2021). Networked Unmanned Aerial Vehicles for Surveillance and Monitoring: A Survey. *Future Internet*, 13(7), 174. <https://doi.org/10.3390/fi13070174>.
- 47) Liu, T. (n.d.). Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22 (DHT22 also named as AM2302).
- 48) Maši, A. (2015). *Journal of Trends in the Development of Machinery*. Ανάκτηση από <https://www.researchgate.net/profile/Adnan->.
- 49) Marques, F., Sá, A., and Pinto, P. (2023). UAVs in Fire Management: Portugal's Summer Fires of 2017. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 96(3), 123-135.
- 50) Masic/publication/299289625_UNMANNED_AERIAL_VEHICLE_AS_DATA_ACQUISITION_SYSTEM/links/56f08d9308ae0dcdafd6adcb/UNMANNED-AERIAL-VEHICLE-AS-DATA-ACQUISITION-SYSTEM.pdf

- 51) Maus, V., Krajzewicz, D., and Schmidt, K. (2023). Firefighting UAVs: From Detection to Suppression. *Fire Technology*, 59(4), 1443-1462.
- 52) Maus, V., Krajzewicz, D., and Schmidt, K. (2023). Technological limitations of UAVs in fire management. *Fire Technology*, 59(4), 1532-1550.
- 53) McAndrew, I. R., Navarro, E., & Witcher, K. (2018, 2). Propeller Design Requirements for Quadcopters Utilizing Variable.
- 54) Memos, V.A., Psannis, K.E., Ishibashi, Y., Kim, B.-G., Gupta, B.B., 2018. *An Efficient Algorithm for Media-based Surveillance System (EAMSuS) in IoT Smart City Framework*. Future.
- 55) Mishra, A. (2021, August 30). *www.circuitdigest.com*. Ανάκτηση June 19, 2023, από <https://circuitdigest.com/electronic-circuits/build-your-own-drone-using-kk215-flight-controller-from-selecting-right-component-to-first-flight-part1>.
- 56) Mkhabela, M., Bullock, P., Raj, S., Wang, S., and Kirilenko, A. (2023). AI in UAVs for predictive fire modelling: an emerging trend. *International Journal of Wildland Fire*, 32(4), 400-412.
- 57) Moran, C.J., Kane, V.R. and Seielstad, C.A. (2020). Mapping Forest Canopy Fuels in the Western United States with LiDAR–Landsat Covariance. *Remote Sensing*, [online] 12(6), p.1000. doi:<https://doi.org/10.3390/rs12061000>.
- 58) Nazib, R. A., and Moh, S. (2021). Sink-Type-Dependent Data-Gathering Frameworks in Wireless Sensor Networks: A Comparative Study. *Sensors*, 21(8), 2829.
- 59) Núñez, C., Moreno, J., and Zarco-Tejada, P. (2023). UAVs in Fire Management: Real-Time Data for Effective Resource Allocation. *Journal of Environmental Management*, 270, 110882.
- 60) Ollero, A., Merino, L., and Arrue, B. (2023). Proactive fire management using UAVs: Potential and challenges. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 11(3), 168-182.
- 61) Papastavrou, A.C., Technology, F. and Nations, U. (1991). *Social, Economic and Cultural Aspects of Forest and Wildland Fires in Greece*.
- 62) Petrovic, V., Smiljanic, M., and Tomic, S. (2023). UAV-based post-fire damage assessment: A case study. *GIScience and Remote Sensing*, 60(1), 1-21.
- 63) ProtoThema. (2021). *Φωτιά στην Εύβοια - Drone πάνω από τις καμένες εκτάσεις: Όλη η καταστροφή σε ένα βίντεο*. [online] Available at: <https://www.protothema.gr/greece/article/1150528/fotia-stin-euvoia-drone-pano-apo-tis-ahaneis-kamenes-ektaseis-oli-i-katastrofi-se-ena-video/> [Accessed 9 Jun. 2023].

- 64) RANI, S. U., ARI, S. R., JAIMON, J. G., & RAVICHANDRAN, R. (2020). REAL-TIME AIR QUALITY MONITORING SYSTEM USING MQ-135 AND THINGSBOARD. *JOURNAL OF CRITICAL REVIEWS*, 7 (18), σσ. 4107-4115.
- 65) Shakhathreh, H., Sawalmeh, A. H., Al-Fuqaha, A., Dou, Z., Almaita, E., Khalil, I., Othman, N. S., Khreishah, A., and Guizani, M. (2019). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Survey on Civil Applications and Key Research Challenges. *IEEE Access*, 7, 48572-48634. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2909530>.
- 66) Shaw, K. K., & Vimalkumar, R. (2020, 05). Design and Development of a Drone for Spraying. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 9 (05), σσ. 1181-1185.
- 67) Smith, B., Poole, G., and Wightman, J. (2023). Unmanned Aerial Vehicles in Bushfire Management: A Case Study from Australia. *Fire Safety Journal*, 118, 102887.
- 68) Stachura, M., Chybicki, A., and Myller, J. (2022). Fire detection in forests: A review on the role of UAV-based thermal imaging. *Fire Ecology*, 18(2), 45-56.
- 69) Stock, C., Mühlmann, U., Chandraker, M. K., & Pinz, A. (2002). *Subpixel Corner Detection for Tracking Applications using CMOS Camera Technology*. Graz, Austria.
- 70) Sullivan, A., and Finn, P. (2023). Privacy and safety concerns in the use of UAVs: A regulatory perspective. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 11(1), 35-50.
- 71) ThingSpeak. (2023). *ThingSpeak Key Features*. Ανάκτηση από <https://blogs.mathworks.com/iot/page/2/>
- 72) Trammel, H.K. (2009). *Wildfires*. New York: Children's Press.
- 73) Vaiou, M., Kontoes, C., and Rizos, C. (2023). Predictive Fire Modelling using UAVs and AI: A Pilot Project in Thessaloniki, Greece. *Drones*, 7(2), 42-58.
- 74) Watts, A., Ambrosia, V., and Hinkley, E. (2023). Remote sensing of fire severity using UAVs: capabilities and limitations. *Journal of Applied Remote Sensing*, 17(1), 015515.
- 75) Yadav, S., Sharma, M., & Borad, A. (2017, April). THRUST EFFICIENCY OF DRONES (QUAD COPTER) WITH DIFFERENT PROPELLERS AND THERE PAYLOAD CAPACITY. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering*, 2 (4), σσ. 18-23.
- 76) Yousefi, S., Khosravi, K., Pradhan, B., and Hong, H. (2023). Data management issues in UAV-based fire detection. *GIScience and Remote Sensing*, 60(1), 78-97.
- 77) Βορίσης Δ., (2004). *Η καταστολή των δασικών πυρκαγιών*. Αθήνα: Τυπογραφείο Αρχηγείου Πυροσβεστικού Σώματος.
- 78) ΕΘΙΑΓΕ, (2007). *Παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των Δασικών Πυρκαγιών*,

<http://www.fria.gr/mmfria/index.php?id=100&catid=38&lan=GR&tl=CATEGOR YID>

- 79) Θανασούλας Δ, (2011). *Χωροθέτηση επιγείων πυροσβεστικών δυνάμεων για άμεση κατάσβεση δασικών πυρκαγιών*, Πάτρα.
- 80) Ι.Αποσπόρης, Π. (2020). *Το Βιβλίο των Drones*. Αθήνα: ΠΑΠΑΖΗΣΗ.
- 81) Καϊλίδης Δ. Σ., Π. Καρανικόλα, (2004). *Δασικές Πυρκαγιές 1900-2000*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Χριστοδουλίδη.
- 82) Καλαμποκίδης, Κ., Βασιλάκος, Χ., Αθανάσης, Ν., Παλαιολόγου, Π. and Τσεκούρας, Γ. (2014). *Πανελλήνιο Συνέδριο 'Η χρήση των νέων τεχνολογιών στην πρόληψη και τη διαχείριση φυσικών καταστροφών -Ο ρόλος της Πολιτικής Προστασίας' Πληροφοριακό Σύστημα Πρόληψης και Διαχείρισης Δασικών Πυρκαγιών (AEGIS)*. [online] Available at: http://vasilakos.aegean.gr/wp-content/uploads/2015/09/Kalabokidis_et_al_2014_SafeRhodes.pdf [Accessed 8 Jun. 2023].
- 83) Καλοβρέκτης, Κ., & Κατέβας, Ν. (2019). *ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ* (3η έκδοση εκδ.). ΤΖΙΟΛΑΣ.
- 84) Κατσάνος Α. (1970). *Συμπεριφορά των πυρκαγιών των δασών*. Αθήνα: Αυτοτελείς Εκδόσεις της Υπηρεσίας Δασικών Εφαρμογών και Εκπαιδευσεως.
- 85) Κουράκος Π., (2008). *Επιβραδυντική δράση ελληνικών ορυκτών στη δασική ύλη Cistus incanus με την μέθοδο Limiting oxygen index*. Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Αθήνα, https://dspace.lib.ntua.gr/dspace2/bitstream/handle/123456789/8206/kourakospfores_t.pdf?sequence=3.
- 86) Κωνσταντινίδης Π., (2003). *Μαθαίνοντας να ζούμε με τις δασικές πυρκαγιές*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις “Χριστοδουλίδη”.
- 87) Παπάζογλου, Π., & Λιωνής, Σ.-Π. (2018). *Ανάπτυξη εφαρμογών με το Arduino* (2η Έκδοση εκδ.). ΤΖΙΟΛΑΣ.
- 88) Ρούπος Γιώργος, Σ. Γ. (2017). Ανάκτηση από http://eureka.teithe.gr/jspui/bitstream/123456789/13616/1/ROUPOS_SAVVIDIS.pdf.
- 89) Μαρκάτος Ν. Χ., Βεσκούκης Β., Κυρανούδης Χ., (2007). “*FIREMENTOR Επιχειρησιακό Σύστημα σχεδιασμού και υποστήριξης αποφάσεων για διαχείριση δασικών πυρκαγιών*”. Ημερίδα Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας, <http://library.tee.gr/digital/m2310/m2310/markatos.pdf>,
- 90) Μαρκάτος, Ν., Βεσκούδης, Β. και Κυρανούδης, Χ. (2013). *firementor Επιχειρησιακό σύστημα σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων για διαχείριση δασικών πυρκαγιών - PDF Free Download*. [online] Docplayer.gr. Available at: <https://docplayer.gr/10788390-Firementor-epiheirisiako-systima-shedias moy-kai-lipsis-apofaseon-gia-diaheirisi-dasikon-pyrkagion.html> [Accessed 8 Jun. 2023].

- 91) Μοσχοβίδης Ν., (2007). *Αντιμετώπιση δασικών πυρκαγιών στην Τ.Α.: δομή- διάρθρωση- αρμοδιότητες μηχανισμού αντιμετώπισης και επιχειρησιακών κέντρων που εμπλέκονται*. Διπλωματική εργασία στην πρώην Εθνική Σχολή Τοπικής Αυτοδιοίκησης (ΕΣΤΑ), Τμήμα Πολιτικής Προστασίας, Α' Εκπαιδευτική Σειρά, http://www.ekdd.gr/ekdda/files/ergasies_esta/T1/030/10031.pdf.
- 92) Υφαντή, Δ. (2015). *ΔΙΕΘΝΗ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ*. [online] Available at: https://ikee.lib.auth.gr/record/281254/files/YFANTH_EE.pdf [Accessed 8 Jun. 2023].
- 93) Χριστοδούλου, Α., Αλεξίου, Ε., Βάλμας, Π., Γκατζόγιαννης, Σ., Παλάσκας, Δ., Στάμου, Γ., and Στάμου, Ν., (2007). *Εφαρμογή και αξιολόγηση επίγειων και εναέριων μεθόδων τηλεματικής στον έγκαιρο εντοπισμό - αναγγελία - παρακολούθηση των δασικών πυρκαγιών* [Application and evaluation of terrestrial and aerial telematics methods for the timely detection - reporting - monitoring of forest fires]. Σιθών. Funded by Γ ΚΠΣ, ΕΠΑΝ, Κοινοπραξίες, Φυσικό Περιβάλλον and Βιώσιμη Ανάπτυξη.