



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ**

**Διπλωματική Εργασία με Τίτλο:**  
**Κατηγοριοποίηση και Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών**  
**(UAVs) στο πεδίο εφαρμογής της Ανθρωπιστικής Εφοδιαστικής Αλυσίδας**

**Ψωμάς Χρυσόστομος**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Σταύρος Πόνης**

**Αθήνα, Ιούλιος 2022**

## Ευχαριστίες

Δεδομένου ότι πλησιάζει η ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να αναγνωρίσω τη συμβολή ορισμένων ατόμων, χωρίς τα οποία η εργασία δε θα είχε πραγματοποιηθεί.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Σταύρο Πόνη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την ανάληψη της διπλωματικής εργασίας, αλλά και για την ευκαιρία που μου παρείχε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Χωρίς εκείνον η συγκεκριμένη εργασία δε θα μπορούσε να περατωθεί σε κανένα επίπεδο.

Έπειτα θα ήθελα να ευχαριστήσω τη διδακτορική ερευνήτρια Ελένη Αρετουλάκη, με την οποία συνεργάστηκα κατά τη διάρκεια της εργασίας μου και η οποία με καθοδήγησε υπομονετικά όποτε χρειάστηκα τη βοήθεια της.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τόσο την οικογένεια μου όσο και τους φίλους μου οι οποίοι έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη πορεία και τη πρόοδο μου όλα τα χρόνια των σπουδών μου. Με τη γενικότερη στήριξή τους, με βοήθησαν να περατώσω επιτυχώς τα μαθήματα, τη διπλωματική εργασία και τελικά τις σπουδές μου.

## Περίληψη

Η σύγχρονη εποχή φέρνει την ανθρωπότητα αντιμέτωπη με όλο και περισσότερες δυσμενείς καταστάσεις για τη διαχείριση των οποίων απαιτείται ταχύτητα, αποτελεσματικότητα και μείωση του κινδύνου. Ενώ μέχρι πρόσφατα τη παγκόσμια κοινότητα απασχολούσαν έκτακτες φυσικές και τεχνολογικές καταστροφές, η εξάπλωση της πανδημίας COVID-19 ανέδειξε την ανάγκη εφαρμογής εργαλείων που θα εκσυγχρονίσουν τον κύκλο του συστήματος διαχείρισης καταστροφών και κατ' επέκταση την ανθρωπιστική εφοδιαστική. Τέτοια εργαλεία είναι τα drones ή UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), τα οποία ενώ ξεκίνησαν ως εργαλεία στρατιωτικού χαρακτήρα, στην παρούσα εργασία εξετάζονται ως προς τη χρήση και την εφαρμογή τους για την εξυπηρέτηση σκοπών ανθρωπιστικής βοήθειας.

Τα drones, εκτός από τη γενική χρήση τους σε τομείς όπως οι κατασκευές, η γεωργία και οι τηλεπικοινωνίες, μπορούν να έχουν σημαντικό ρόλο και να προσεγγίσουν διαφορετικά εφαρμογές ανθρωπιστικής βοήθειας μέσω εφαρμογών αναζήτησης-διάσωσης, χαρτογράφησης, λήψης και ζωντανής μετάδοσης πληροφοριών, καθώς και εφαρμογών μεταφοράς χρήσιμου υλικού. Η μεταφορά ωφέλιμου φορτίου δεν έχει αποδείξει τη συνολική δυναμική της και σε αυτό έχουν συντελέσει αρκετοί παράγοντες όπως η εξέλιξη της τεχνολογίας, η κοινωνική αποδοχή αλλά και το νομοθετικό πλαίσιο. Παρά το γεγονός ότι τα drones έχουν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές μεταφοράς φορτίου εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας, δεν έχουν ακόμη αξιοποιηθεί πλήρως για τη μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού για σκοπούς ανθρωπιστικής βοήθειας. Για την εξέταση της εφαρμογής αυτής, απαιτείται η διερεύνηση της καταλληλότητας κάθε κατηγορίας UAV ανάλογα με την εφαρμογή που καλείται να επιτελέσει, ενώ απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η ανάλυση των κατηγοριών drones, των χαρακτηριστικών τους αλλά και η αξιολόγησή τους.

Οι κατηγορίες των drones, διαφοροποιούνται ανάλογα με το σκοπό που πρέπει να εξυπηρετήσουν. Παρά την ύπαρξη ευρείας γκάμας κατηγοριοποιήσεων, δεν υπάρχει μία κατηγοριοποίηση που να διευκολύνει την επιλογή drone βάσει των απαιτήσεων της εκάστοτε εφαρμογής. Μία τέτοιου είδους κατηγοριοποίηση μπορεί να προκύψει βάσει της εξωτερικής διαμόρφωσης των UAVs, δηλαδή βάσει των πτερυγίων, των κινητήρων και του μεταξύ τους τρόπου λειτουργίας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των δυνατοτήτων των drones για παροχή ανθρωπιστικής βοήθειας και ιδιαίτερα για τη μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας εξετάζεται η δυνατότητα χρήσης drone για σκοπούς μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού σε σενάρια έκτακτης ανάγκης, ενώ παράλληλα αξιολογείται η καταλληλότητα όλων των κατηγοριών drones βάσει ορισμένων χαρακτηριστικών ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε εφαρμογής. Για τη συστηματική προσέγγιση του θέματος, έγινε κατηγοριοποίηση των drones βάσει της διαμόρφωσής τους λαμβάνοντας υπόψη τη θέση και τον αριθμό των πτερυγίων και των κινητήρων αντίστοιχα. Ενώ τέλος με τη βοήθεια του UAV Readiness Tool v1.0, έγινε μελέτη ενός γενικού σεναρίου χρήσης για μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού μέσω drone, έγινε ανάλυση των παραμέτρων του σεναρίου καθώς και εξήχθησαν ορισμένα συμπεράσματα. Μέσα από κριτική επεξεργασία της παραπάνω πληροφορίας, η παρούσα εργασία παρουσιάζει λεπτομερώς το σύνολο των δυνατοτήτων των drones όπως προκύπτουν από την ενδεδειχμένη

μελέτη και ανάλυση της βιβλιογραφίας, εντοπίζει και παραθέτει παραδείγματα σχετικών εφαρμογών και καταλήγει σε συμπεράσματα σχετικά με τις προοπτικές των drones.

## Abstract

The modern era confronts humanity with more and more adverse situations that require speed, efficiency and risk reduction. While until recently the global community has been preoccupied with extraordinary natural and technological disasters, the spread of the COVID-19 pandemic has highlighted the need to implement tools that will modernise the disaster management system cycle and, by extension, humanitarian logistics. Such tools are drones or UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), which while they started as tools of military nature, are examined in this paper in terms of their use and application for humanitarian aid purposes.

In addition to their general use in areas such as construction, agriculture and telecommunications, drones can play an important role and approach different humanitarian aid applications through search-and-rescue, mapping, receiving and live information transmission applications as well as useful material transport applications. Payload transfer has not yet demonstrated its overall potential due to several factors, such as inadequate technological development, social acceptance and legislative framework. Although drones have been used in cargo transport applications within the supply chain, they have not yet been fully exploited for the transport of medical supplies for humanitarian aid purposes. To achieve this, it is necessary to investigate the suitability of each UAV category according to the application it is needed for, followed by an analysis of the drone categories and their characteristics.

The types of drones are classified based on the purpose they have to serve. Despite the existence of a wide range of categories, there is no categorization that facilitates the selection of drones based on the requirements of the application in question. Such a categorization can be derived on the basis of the external configuration of UAVs, i.e. on the basis of the wings, the engines and the way they interact with each other.

The purpose of this paper is to study the potential of drones for humanitarian aid delivery, particularly for the transport of medical supplies. The suitability of all drone categories is evaluated based on certain characteristics according to the requirements of each application. A categorization of drones was made based on their configuration taking into account the position and number of blades and engines respectively. Finally, with the help of the UAV Readiness Tool v1.0, a general scenario for the transport of medical material by drone was studied, the parameters of the scenario were analyzed and some conclusions were drawn. Through a critical treatment of the above information, this paper presents in detail all the capabilities of drones as derived from the thorough study and analysis of the literature, identifies and cites examples of relevant applications and draws conclusions about the prospects of drones.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	2
Περίληψη.....	3
Abstract .....	5
Κατάλογος Σχημάτων .....	8
Κατάλογος Πινάκων .....	10
1. Εισαγωγή .....	11
2. Συστατικά Μέρη Συστήματος Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους (Unmanned Aircraft System – UAS).....	13
2.1. Συστατικά Μέρη Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους (Unmanned Aerial Vehicle – UAV) 15	
3. Είδη Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους .....	23
3.1. Υπάρχουσες κατηγοριοποιήσεις Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών.....	23
3.2. Κατηγοριοποίηση UAVs βάσει της αεροδυναμικής και της θέσης των κινητήρων.....	26
3.2.1. Κλίνοντος Στροφείου (Tilt Rotor) .....	26
3.2.2. Περιστρεφόμενων Πτερυγίων (Tilt Wing).....	27
3.2.3. Περιστρεφόμενου Σώματος (Tilt Body).....	28
3.2.4. Περικλειόμενης Έλικας (Ducted Fan) .....	29
3.2.5. Ελικόπτερο (Helicopter) .....	30
3.2.6. Κυκλοειδούς Φτερωτής (Cyclocopter/ Cyclogyro).....	31
3.2.7. Ορνιθόπτερο (Flapping Wing) .....	32
3.2.8. Σταθερών Πτερυγίων (Fixed Wing) .....	34
3.2.9. Πολυροτορικά (Rotary Wing) .....	35
3.2.9.1. Μονοκόπτερο (Monocopter) .....	36
3.2.9.2. Δικόπτερο (Twincopter) .....	37
3.2.9.3. Τρικόπτερο (Tricopter) .....	38
3.2.9.4. Τετρακόπτερο (Quadcopter) .....	39
3.2.9.5. Εξακόπτερο (Hexacopter).....	40
3.2.10. Έξυπνη Σκόνη (Smart Dust) .....	41
3.2.11. Μη Συμβατικά .....	42
4. Εφαρμογές Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών .....	44
4.1. Περιβαλλοντικές αποστολές .....	47
4.2. Γεωργία.....	48
4.3. Εφοδιαστική Αλυσίδα .....	49
4.4. Κατασκευές .....	51

4.5.	Τηλεπικοινωνίες.....	52
5.	Ανθρωπιστική Εφοδιαστική .....	54
5.1.	Απαιτούμενα αγαθά και εξοπλισμός στην Ανθρωπιστική Εφοδιαστική Αλυσίδα .	56
5.2.	Είδη Ανθρωπιστικών Κρίσεων.....	57
5.3.	Κύκλος συστήματος διαχείρισης καταστροφών.....	59
6.	UAVs για ανθρωπιστική βοήθεια.....	61
6.1.	Αποδοχή της χρήσης UAVs στην ανθρωπιστική εφοδιαστική αλυσίδα .....	63
6.2.	Χαρτογράφηση.....	68
6.2.1.	Διαδικασία χαρτογράφησης UAV .....	69
6.2.2.	Σύγκριση UAVs και Εναλλακτικών Επιλογών Χαρτογράφησης.....	71
6.3.	Αναζήτηση και διάσωση.....	73
6.4.	Μετάδοση πληροφοριών και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο .....	79
6.5.	Μεταφορά ωφέλιμου φορτίου .....	86
6.5.1.	Τρόπος Παράδοσης Ωφέλιμου Φορτίου.....	88
6.5.2.	Τύποι UAVs για μεταφορά ωφέλιμου φορτίου .....	89
7.	UAVs στην Υγεία .....	92
7.1.	Μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού .....	95
7.1.1.	Άμεσες Έκτακτες Ανάγκες.....	97
7.1.2.	Έμμεσες Έκτακτες Ανάγκες.....	101
7.2.	Αξιολόγηση και αντιστοίχιση κατηγοριών UAVs σε γενικές εφαρμογές και εφαρμογές μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού.....	103
7.3.	Μελέτη Περίπτωσης με τη Χρήση του UAV Readiness Tool v1.0 .....	107
8.	Συμπεράσματα .....	113
	Κατάλογος Αναφορών.....	115

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2. 1: Διάρθρωση συστήματος UAS.....	14
Σχήμα 2. 2: Σχηματική απεικόνιση UAS (Iturri, 2017).....	14
Σχήμα 2. 3: Τρόπος καθοδήγησης MQ-9 Reaper από Washington Post .....	15
Σχήμα 2. 4: Σύνθεση υποσυστημάτων drone από Electronic Products.....	17
Σχήμα 2. 5: Κάμερες και LIDAR (Salami et al., 2014).....	19
Σχήμα 2. 7: Φόρτιση drone με τεχνολογία laser (Hassanalian & Abdelkefi, 2017) .....	20
Σχήμα 3. 1 Κατηγοριοποίηση drone βάσει υψομέτρου και διάρκειας πτήσης (Bekhti, 2018) .....	23
Σχήμα 3. 2: Φάσμα κατηγοριών drone βάσει ανοίγματος φτερών και βάρους (Hassanalian & Abdelkefi 2017) .....	26
Σχήμα 3. 3: Drone κατηγορίας κλίνοντος στροφείου (Defence Turkey, 2020).....	26
Σχήμα 3. 4: Drone κατηγορίας περιστρεφόμενων πτερυγίων (Hegde et al., 2019).....	27
Σχήμα 3. 5: Drone κατηγορίας περιστρεφόμενου σώματος (Hesham, 2008) .....	28
Σχήμα 3. 6: Drone περικλειόμενης έλικας (Ackerman, 2018).....	29
Σχήμα 3. 7: Σύγκριση Ducted fan με τετρακόπτερο.....	29
Σχήμα 3. 8: Ελικόπτερο μονής έλικας, ελικόπτερο ομοαξονικής έλικας, ελικόπτερο παράλληλης έλικας (Prodrone, 2017).....	30
Σχήμα 3. 9: Drone κυκλοειδούς φτερωτής (MacQuarrie, 2021; Russian News Agency, 2020; Atherton, 2019) .....	31
Σχήμα 3. 10: Drone διαμόρφωσης ορνιθοπτέρου (Festo, 2011).....	32
Σχήμα 3. 11: Drone σταθερών πτερυγίων (Dylan , 2017) .....	34
Σχήμα 3. 12: Drone διαμόρφωσης μονοκοπτήρου (Bakula et al., 2009).....	36
Σχήμα 3. 13: Drone διαμόρφωσης δικοπτήρου (Karatzas, 2019) .....	37
Σχήμα 3. 14: Drone διαμόρφωσης τρικοπτήρου (Pierce, 2016) .....	38
Σχήμα 3. 15: Drone διαμόρφωσης τετρακοπτήρου (Minhaj, 2022) .....	39
Σχήμα 3. 16: Drone διαμόρφωσης εξακοπτήρου (Frontier Precision, 2022).....	40
Σχήμα 3. 17: Έξυπνη σκόνη (Kahn et al., 1998).....	41
Σχήμα 3. 18: Μη συμβατικά drone (Quick, 2009).....	42
Σχήμα 4. 1: Η αγορά των UAVs για πολιτικούς και στρατιωτικούς σκοπούς από Business Insider (Ballve, 2014).....	44
Σχήμα 4. 2: Κατηγοριοποίηση εφαρμογών των drones από τους (Hassanalian et al., 2017) 46	
Σχήμα 4. 3: Παγκόσμια αγορά των drones βάσει εφαρμογής 2016-2027 από Global Market Insights (Wadhvani & Loomba, 2021) .....	46
Σχήμα 4. 4: Επιθεώρηση ηλιακών πάνελ με drone (Skyline Drones, 2021).....	51
Σχήμα 4. 5: Τρόπος πτήσης μπαλονιών-αερόστατων στη στρατόσφαιρα από Loon (Loon, 2021).....	53
Σχήμα 4. 6: Σενάρια κάλυψης της επικοινωνίας μέσω drone από τους Shakhathreh et al. (2019) .....	53
Σχήμα 5. 1: Η δομή της εφοδιαστικής αλυσίδας για ανθρωπιστική βοήθεια (Balcik et al., 2010).....	55
Σχήμα 5. 2: Φυσικές καταστροφές των τελευταίων 50 ετών από (Ritchie & Roser, 2014)....	57



Σχήμα 5. 3: Οι 4 κύριες φάσεις του κύκλου διαχείρισης καταστροφών (Nikbakhsh & Farahani, 2011).....	59
Σχήμα 6. 1: Χάρτης με παραδείγματα χρήσης drones για ανθρωπιστική βοήθεια (Soesilo et al., 2016).....	63
Σχήμα 6. 2: Drone που έχουν χρησιμοποιηθεί σε μελέτες περίπτωσης ανθρωπιστικής βοήθειας (Προσαρμοσμένο από Soesilo et al., 2016) .....	65
Σχήμα 6. 3: Αποτελέσματα έρευνας για την αποδοχή των drones από επαγγελματίες της ανθρωπιστικής εφοδιαστικής αλυσίδας (Soesilo et al., 2016) .....	66
Σχήμα 6. 4: Διαδικασία χαρτογράφησης μίας περιοχής (Soesilo et al. 2016) .....	70
Σχήμα 6. 5: Παράδειγμα ορθομωσαϊκού (OpenAerialMap, 2022) .....	70
Σχήμα 6. 6: Σύγκριση εικόνων μέσω drone και δορυφόρων από Soesilo et al. (2016).....	71
Σχήμα 6. 7: Κατηγορίες αναζήτησης και διάσωσης βάσει του περιβάλλοντος λειτουργίας .	74
Σχήμα 6. 8: Εικόνα αναγνώρισης του θύματος από Karaca et al. (2018) .....	76
Σχήμα 6. 9: Συχνά χρησιμοποιούμενα drone για εφαρμογές αναζήτησης και διάσωσης.....	78
Σχήμα 6. 10: Το drone senseFly Ebee, χρησιμοποιείται για χαρτογράφηση στην Αϊτή το 2013 (Gilman, 2014) .....	80
Σχήμα 6. 11: Σχηματική απεικόνιση του SocialDrone (Rashid et al., 2020) .....	84
Σχήμα 6. 12: Μελέτες περίπτωσης μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου με χρήση drone (Soesilo et al., 2016).....	87
Σχήμα 6. 13: : Διαδικασία παράδοσης φορτίου μέσω drone και παράδειγμα μηχανισμού παράδοσης φορτίου (Ashish et al., 2020).....	89
Σχήμα 7. 1: Τα έξι στάδια της προνοσοκομειακής ιατρικής φροντίδας στη διαδικασία περίθαλψης (Schooley & Horan, 2017).....	93
Σχήμα 7. 2: Υποκατηγορίες ιατρικών εφαρμογών (Rosser et al., 2018) .....	93
Σχήμα 7. 3: Κατηγορίες μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού .....	95
Σχήμα 7. 4: Λειτουργία drones μεταξύ κέντρων διανομής και τοποθεσιών όπου υπάρχει ανάγκη (Wulfovich et al., 2018) .....	96
Σχήμα 7. 5: Τα τέσσερα σκέλη αντιμετώπισης καρδιακής ανακοπής .....	98
Σχήμα 7. 6: Παράδοση AED μέσω drone.....	99
Σχήμα 7. 7: Ινσουλίνες αποθηκευμένες σε διαφορετικές θερμοκρασίες για 24 ώρες 0,2mg/mL (αριστερά) και 3,5mg/mL (δεξιά) για 30 λεπτά (Hii et al., 2019) .....	100
Σχήμα 7. 8: Το πρωτότυπο drone Delta σταθερής πτέρυγας με άνοιγμα φτερών 2 μέτρα, για μεταφορά ιατροφαρμακευτικών προμηθειών σε αγροτικές περιοχές (χρόνος πτήσης: 45' ταχύτητα πτήσης 70km/h) (Wulfovich et al., 2018).....	103
Σχήμα 7. 9: Σχηματική Απεικόνιση της Αξιολόγησης των Κατηγοριών drones για την εκάστοτε εφαρμογή .....	105

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2. 1: Σύγκριση διαφορετικού τύπου μπαταριών (Hassanalian et al., 2014).....	19
Πίνακας 3. 1: Κατηγοριοποίηση drone βάσει βάρους κατά Brooke-Holland (Hassanalian & Abdelkefi 2017) .....	24
Πίνακας 3. 2: Κατηγοριοποίηση drone βάσει βάρους (Hassanalian & Abdelkefi 2017) .....	24
Πίνακας 3. 3: Κατηγοριοποίηση drones βάσει βάρους και εμβέλειας (Hassanalian & Abdelkefi 2017) .....	25
Πίνακας 3. 4: Καταλληλότητα φάσματος αριθμών Reynold για διαφορετικές κατηγορίες drones (Windte et al. 2004) .....	33
Πίνακας 3. 5: Κατηγορίες drone, τρόπος προσγείωσης - απογείωσης τους καθώς και συνηθέστερα μεγέθη και εφαρμογές που συναντώνται.....	43
Πίνακας 4. 1: Μοντέλα UAVs για χρήση στη γεωργία .....	49
Πίνακας 5. 1: Συνέπειες των πιο συνήθων φυσικών καταστροφών (Nikbakhsh & Farahani, 2011).....	58
Πίνακας 6. 1: Αισθητήρες για αποστολές αναζήτησης και διάσωσης (Thavasi & Suriyakala, 2012).....	75
Πίνακας 6. 2: Αποτελέσματα των δύο μεθόδων έρευνας και διάσωσης (Karaca et al., 2018) .....	77
Πίνακας 6. 3: Μελέτες Περίπτωσης Μετάδοσης Πληροφοριών και Παρακολούθησης Καταστροφής σε Πραγματικό Χρόνο Soesilo et al. (2016).....	81
Πίνακας 6. 4: Βαθμολόγηση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (Moeyersons et al. 2018) ....	85
Πίνακας 6. 5: Παράδειγματα εφαρμογών Big Data για διαχείριση καταστροφών (Yu et al. 2018).....	85
Πίνακας 6. 6: Χαρακτηριστικά drones που έχουν χρησιμοποιηθεί σε μελέτες περίπτωσης μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου (Soesilo et al. 2016).....	91
Πίνακας 7. 1: Μελέτες περίπτωσης μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού (Scott, 2019)	96
Πίνακας 7. 2: Τύποι φαρμάκων που μπορούν να παραδοθούν από drones (Hii et al., 2019)	97
Πίνακας 7. 3: Χαρακτηριστικά τριών μελετών που αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των drones στην παροχή AED (Bhatt et al., 2018) .....	100
Πίνακας 7. 4: Τύποι φαρμάκων που μπορούν να παραδοθούν από drones (Hii et al., 2019) .....	101
Πίνακας 7. 5: Αξιολόγηση κατηγοριών drones και αντιστοίχισή τους με την εκάστοτε εφαρμογή παροχής ανθρωπιστικής βοήθειας .....	104
Πίνακας 7. 6: Αξιολόγηση drone για μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού.....	106
Πίνακας 7. 7: Παράμετροι σεναρίου χρήσης drone για μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού σε έκτακτη ανάγκη .....	111

## 1. Εισαγωγή

Στη σύγχρονη εποχή, όπου η τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς, τα drones αποτελούν μέρος αυτής της εξέλιξης. Τα drones είναι μία τεχνολογία ιπτάμενων ρομπότ που έχουν τη δυνατότητα να πετάνε χιλιόμετρα μακριά. Οι εξελίξεις στα συστήματα πλοήγησης, στις δυνατότητες τηλεχειρισμού και στα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας έχουν καταστήσει δυνατή την ανάπτυξη ευρέος φάσματος drones, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε καταστάσεις όπου η παρουσία ανθρώπων είναι δύσκολη, επικίνδυνη ή ακόμη και αχρείαστη.

Η τεχνολογία των drones ή αλλιώς UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) έχει εφαρμογή από τη γεωργία μέχρι τη διάσωση ανθρώπων, από στρατιωτικές αποστολές μέχρι ανθρωπιστικές, από παράδοση εμπορικών προϊόντων μέχρι την παράδοση φαρμάκων. Ως drone μπορεί να οριστεί, το μη επανδρωμένο αεροσκάφος που μπορεί να πλοηγηθεί αυτόνομα, χωρίς να ελέγχεται εσωτερικά, χρησιμοποιώντας έναν αυτόματο πιλότο ή μέσω μίας συσκευής απομακρυσμένου ελέγχου. Σήμερα, ένα drone μπορεί να ελεγχθεί μέσω Wi-Fi, smartphone και tablet, εξοπλισμένων με Android ή iOS. Τα drones τα βρίσκουμε σε μια ευρεία γκάμα μορφών και μεγεθών. Από την άποψη της χρηστικότητας, χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Μη επανδρωμένο αεροσκάφος (UAV)
- Μη επανδρωμένο επιφανειακό όχημα (USV)
- Μη επανδρωμένο υποβρύχιο όχημα (UUV)
- Μη επανδρωμένο όχημα εδάφους (UGV)
- Υψηλού Υψομέτρου Ψευδο-Δορυφόρος (HAPS)

Τα drones, παρόλο που φαίνονται μία πρόσφατη τεχνολογία, έχουν τις ρίζες τους αρκετά παλιότερα. Αρκετούς αιώνες πίσω, είχε κατασκευαστεί ένα μηχανικό περιστέρι εκτελώντας πτήση 200 μέτρων, ενώ στον Α΄ και Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο είχαν χρησιμοποιηθεί drones κυρίως για αναγνώριση στόχων (Reese, 2021). Φαίνεται ότι η ιδέα των UAVs ξεκίνησε και αναπτύχθηκε για να εξυπηρετήσει στρατιωτικούς σκοπούς. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου διαπιστώθηκε η χρησιμότητα αυτών των συστημάτων και σε ανθρωπιστικό επίπεδο.

Σήμερα, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη έχουν κατακτήσει την προσοχή όλων. Το Δεκέμβριο του 2013, ο Jeff Bezos, διευθύνων σύμβουλος και ιδρυτής της Amazon, ανακοίνωσε στην εκπομπή "60 Minutes" ότι τα drones θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για ταχύτερη παράδοση δεμάτων στο last-mile delivery της εφοδιαστικής αλυσίδας (Pierce, 2013). Από τον Απρίλιο του 2014, το βίντεο "Amazon Prime Air" προκάλεσε συζητήσεις σε όλο τον κόσμο. Από τότε, τα UAVs γίνονται δημοφιλή και χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές όπως στα logistics, τη γεωργία, την τηλεπισκόπηση, τις τηλεπικοινωνίες ακόμη και τη διαχείριση καταστροφών. Πολλές εταιρείες του κλάδου της εφοδιαστικής, όπως η Amazon, η Google Wing, η United Parcel Service (UPS) και η Rakuten εργάζονται ενεργά για την ανάπτυξη και τη δοκιμή μοντέλων παράδοσης με drone (Wood, 2021).

Τα UAVs αναμένεται να επιφέρουν αρκετά πλεονεκτήματα συγκρινόμενα με τα συμβατικά οχήματα, τόσο σε θέματα ταχύτητας όσο και σε θέματα αποτελεσματικότητας. Λόγω της εξοικονόμησης χρόνου, αλλά και κόστους, θα μπορούσαν να ωφεληθούν τόσο οι εταιρείες

όσο και οι πελάτες, ενώ θα μπορούσαν να σωθούν ζωές και να αναβαθμισθεί η δημόσια υγεία μέσω της βελτίωσης των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης.

Παρόλη την αποδεδειγμένη αξία των drones και της εξελιγμένης τεχνολογίας τους, υπάρχει ακόμη μέλλον και προοπτικές στη χρήση τους αλλά και στις δυνατότητές τους. Παράγοντες επιβράδυνσης στην εξέλιξη αυτής της τεχνολογίας αποτελούν κυρίως η κοινωνική αποδοχή και το ρυθμιστικό νομοθετικό πλαίσιο. Ακόμη και σήμερα η πληροφορία γύρω από τα drones είναι αταξινόμητη, ενώ το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς αυτής της τεχνολογίας αφορά ψυχαγωγικούς σκοπούς.

Στην εργασία αυτή θα ταξινομηθεί η πληροφορία γύρω από τα drones, θα μελετηθούν οι κατηγορίες τους με τρόπο που να διευκολύνει την επιλογή μίας κατηγορίας ανάλογα με την εφαρμογή ενδιαφέροντος και θα γίνει μία εμπειριστατωμένη ανάλυση των δυνατοτήτων τους. Ακολούθως, θα μελετηθούν τα drones για ανθρωπιστική βοήθεια και για μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού και τέλος, θα αξιολογηθούν όλες οι κατηγορίες των drones τόσο σε γενικές εφαρμογές, όσο και στη μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

## 2. Συστατικά Μέρη Συστήματος Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους (Unmanned Aircraft System – UAS)

Τα UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν, απαρτίζονται και από διαφορετικά συστήματα και τεχνολογίες. Κάθε μη επανδρωμένο αερόχημα αποτελεί ένα υποσύστημα ενός ευρύτερου συστήματος, που ονομάζεται UAS (Unmanned Aircraft System). Δηλαδή το UAS είναι ένα σύστημα συμπληρωματικών υποσυστημάτων με στόχο την εκτέλεση μίας συγκεκριμένης εργασίας. Στην επιστημονική βιβλιογραφία λόγω της πληθώρας UAS τεχνολογιών, έγινε αντιληπτό πως δεν υπάρχει μία σαφής κατηγοριοποίηση αυτών. Στην πλειοψηφία των εφαρμογών που εξετάστηκαν, ο κυρίαρχος τύπος ανάλυσης UAS συστημάτων είναι ο ακόλουθος (Everaerts, 2008):

- Επίγειος σταθμός ελέγχου (GCS: Ground Control Station):

Ο επίγειος σταθμός ελέγχου είναι πολύ σημαντικό κομμάτι του συστήματος, αφού μαζί με τον χειριστή είναι υπεύθυνος για την πλοήγηση του UAV. Ο επίγειος σταθμός είναι συνήθως μια εφαρμογή λογισμικού που εκτελείται σε έναν επίγειο υπολογιστή και επικοινωνεί με το UAV μέσω ασύρματης τηλεμετρίας. Ένας τυπικός σταθμός αποτελείται από ένα ασύρματο ρούτερ και έναν υπολογιστή για τη λήψη, επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων. Ο σταθμός ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε αποστολής θα πρέπει να ικανοποιεί και τις αντίστοιχες απαιτήσεις, όπως π.χ συμβατότητα με διάφορες κατηγορίες UAV έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα ελέγχου τους, αναπαραγωγής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, επικοινωνίας με άλλους επίγειους σταθμούς ελέγχου, όπως επίσης και προειδοποιήσεις για στιγμές έκτακτης ανάγκης αλλά και ένα εναλλακτικό σχέδιο πτήσης όταν αυτό χρειαστεί (ArduPilot Team, 2021).

- Μη επανδρωμένο εναέριο όχημα (UAV):

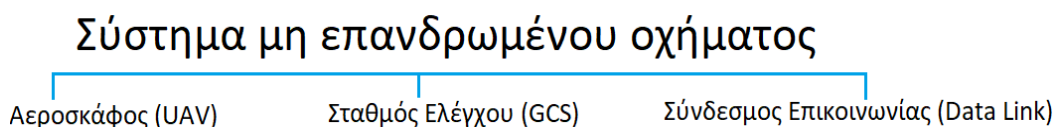
Είναι το ίδιο το αεροσκάφος, το οποίο αποτελείται από άλλα μικρότερα υποσυστήματα όπως είναι ο σκελετός, οι κινητήρες, οι έλικες, οι αισθητήρες, το σύστημα πλοήγησης και άλλα υποσυστήματα που το καθιστούν ικανό για την εκτέλεση μίας αποστολής.

- Σύνδεσμος επικοινωνίας δεδομένων (Data Link):

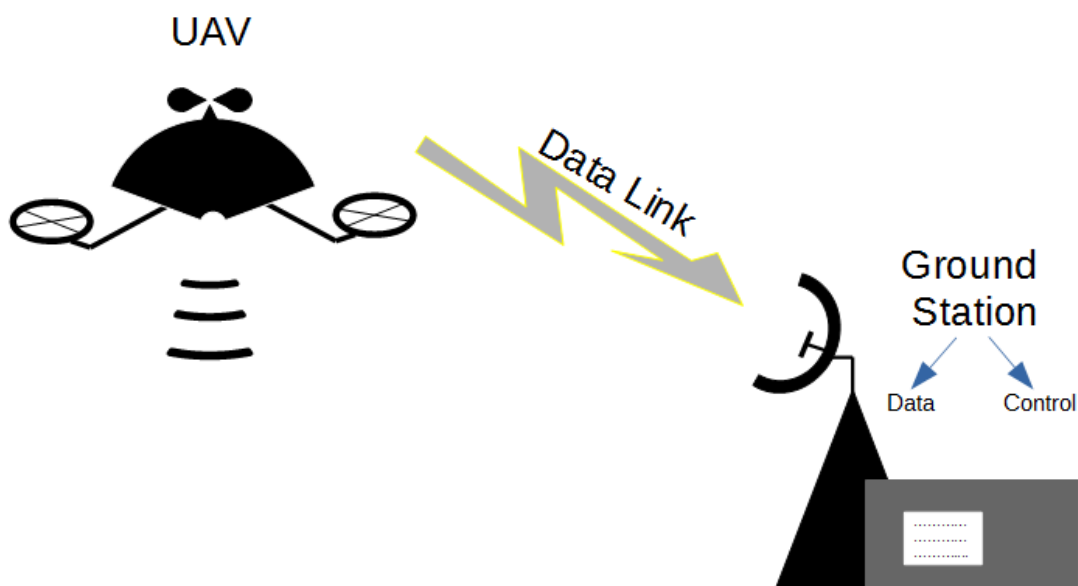
Ρόλος του είναι να ρυθμίζει το κανάλι επικοινωνίας μεταξύ του αεροσκάφους και του επίγειου σταθμού ελέγχου, έτσι ώστε ο χειριστής να μπορεί να πιλοτάρει το αεροσκάφος, να παρακολουθεί την πτήση του αεροσκάφους αλλά και να είναι έτοιμος να επέμβει σε περίπτωση που χρειαστεί. Βέβαια ο σύνδεσμος επικοινωνίας χρησιμεύει σαν εργαλείο ώστε να ανακτώνται πληροφορίες αναφορικά με την τοποθεσία, τον υπολειπόμενο χρόνο πτήσης, την απόσταση και την τοποθεσία του στόχου, την απόσταση και την τοποθεσία από τον πιλότο, πληροφορίες σχετικά με το φορτίο, την ταχύτητα του αέρα, το υψόμετρο και άλλες παραμέτρους. Επομένως, είναι το πιο σημαντικό τμήμα του συστήματος, αφού επιτρέπει τον έλεγχο του αεροσκάφους και τη συλλογή όλων των επιθυμητών δεδομένων. Συχνά, στο αεροσκάφος βρίσκονται δύο data links, ένα για τον έλεγχο του αεροσκάφους και ένα για τη συλλογή δεδομένων. Όσο πιο μεγάλο και εξεζητημένο είναι το UAV και ικανό να πετάει ακόμα και εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από τον χειριστή, αντιστοίχως πολύπλοκο είναι και το σύστημα datalink (UAV Navigation, 2018).

Όπως εύκολα μπορεί να γίνει αντιληπτό, εκτός από τα παραπάνω υπάρχουν και άλλα υποσυστήματα τα οποία συμπεριλαμβάνονται σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα, όπως οι αισθητήρες απεικόνισης (Imaging Sensors), οι αισθητήρες πλοήγησης (Navigation Sensors), τα ασύρματα συστήματα (Wireless Systems) και άλλα. Ένας ακόμη λόγος που σχετίζεται με την έλλειψη σαφούς κατηγοριοποίησης στα συστήματα των UAVs, είναι και η μεγάλη

ποικιλία στα υποσυστήματα που το συνθέτουν. Για παράδειγμα, διαφορετικής κατηγορίας UAVs, τα οποία θα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, θα απαιτούν και διαφορετικούς αισθητήρες. Επομένως, θα απαιτείται ένας επίγειος σταθμός ελέγχου με περισσότερες δυνατότητες, μία σύνδεση επικοινωνίας δεδομένων μεγαλύτερης εμβέλειας και πιθανότατα θα χρειάζονται επιπλέον τεχνολογικά συστήματα σε περιπτώσεις με ανάλογες απαιτήσεις. Παρακάτω στο Σχήμα 2.1 και Σχήμα 2.2 φαίνεται η δομή που αναλύθηκε προηγουμένως σχετικά με τη διάρθρωση ενός συστήματος μη επανδρωμένου αεροχήματος (UAS).



**Σχήμα 2. 1: Διάρθρωση συστήματος UAS**

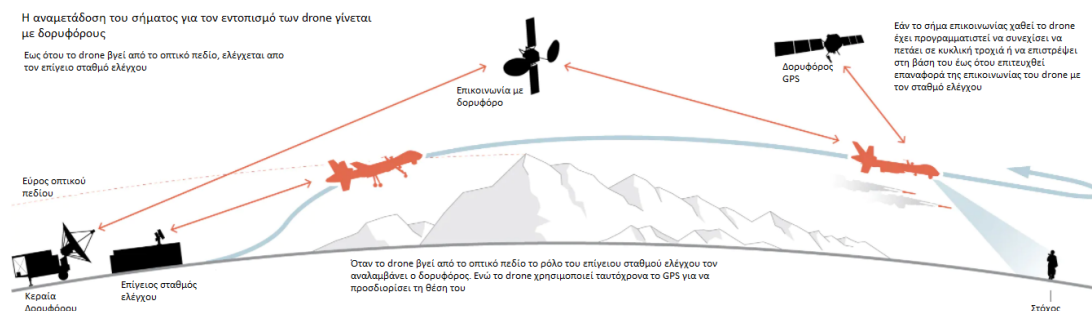


**Σχήμα 2. 2: Σχηματική απεικόνιση UAS (Iturri, 2017)**

Οι επικοινωνίες δεδομένων μπορεί να είναι ευάλωτες από πολλές απόψεις. Τα κανάλια μετάδοσης της πληροφορίας μπορεί να είναι αρκετά θορυβώδη και μπορεί να υπάρξουν αρκετές άστοχες μεταδόσεις πληροφορίας. Η αναμεταδιδόμενη πληροφορία μπορεί να τροποποιηθεί, να αντιγραφεί ή να υποκλαπεί ακόμα και να μην φτάσει στον χειριστή. Όταν αυτό μπορεί να συμβεί σε μεγαλύτερα UAV, όπου το ρίσκο μίας ενδεχόμενης αποτυχίας της αποστολής τους είναι τρομερά κοστοβόρο, τέτοιες καταστάσεις πρέπει να προλαμβάνονται (Ξωνίκης & Τζιούτζιας, 2017).

Για την προστασία των δεδομένων χρησιμοποιούνται κατάλληλα firewalls ή bodyguards του δικτύου, ώστε να διασφαλιστούν τα δεδομένα. Όπως μπορεί να γίνει αντιληπτό, οι κίνδυνοι για τη δημόσια ασφάλεια, αν κάποιος καταφέρει να υποκλέψει και αναλάβει τον έλεγχο μεγάλων UAVs στρατιωτικού χαρακτήρα, είναι ιδιαίτερα σημαντικοί και για αυτό απαιτείται η χρήση πρωτοκόλλων ασφαλείας. Ένα από αυτά χρησιμοποιείται σε ορισμένα εξελιγμένα UAV πολεμικής χρήσης και παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3. Το UAV από την στιγμή απογείωσης του και όσο υπάρχει οπτική επαφή ελέγχεται από τον επίγειο σταθμό. Οι χειριστές λαμβάνουν σε πραγματικό χρόνο όλα τα δεδομένα, όπως θέση, ζωντανή εικόνα

από τις εξελιγμένες κάμερες στόχευσης του drone, υψόμετρο και ταχύτητα. Όταν εκείνο περάσει το εύρος της εμβέλειας για τον απευθείας έλεγχο μέσω του επίγειου σταθμού, δορυφόροι αναλαμβάνουν την αναμετάδοση του σήματος ώστε να επιτευχθεί σταθερή επικοινωνία. Εάν βέβαια η επικοινωνία διακοπεί, το UAV έχει προγραμματιστεί να πετάει σε κυκλική τροχιά μέχρι η επικοινωνία να αποκατασταθεί. Αν αυτό δεν γίνει σε κάποιο εύλογο χρονικό διάστημα, το αερόχημα επιστρέφει στην βάση αυτόματα (Ξωνίκης & Τζιούτζιας, 2017).



Σχήμα 2. 3: Τρόπος καθοδήγησης MQ-9 Reaper από Washington Post

## 2.1. Συστατικά Μέρη Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους (Unmanned Aerial Vehicle – UAV)

Το σύνηθες υποσύστημα τηλεκατευθυνόμενου drone, αποτελείται από έναν χειριστή, ο οποίος ελέγχει πλήρως την πορεία του UAV χρησιμοποιώντας ένα απλό σύστημα μετάδοσης/λήψης. Αντίστοιχα με το σύστημα του μη επανδρωμένου αεροχήματος οι διαφοροποιήσεις στα υποσυστήματα που απαρτίζουν το drone ποικίλουν. Αυτό γίνεται λόγω των διαφορετικών εργασιών που έχει να εκτελέσει το εκάστοτε drone, το οποίο επιλέγεται βάσει των μορφολογικών χαρακτηριστικών του, αλλά και των τεχνολογιών τις οποίες αυτό διαθέτει. Μία γενικώς αποδεκτή ανάλυση των υποσυστημάτων που αποτελούν το drone παρουσιάζεται παρακάτω.

- **Σκελετός (Frame):** Ο σκελετός είναι η βάση του αεροχήματος, είναι αυτός που καθορίζει τη μορφολογία της αεροπλανοφόρου και επομένως την αεροδυναμική της, όμως είναι και ο φορέας όλων των τεχνολογιών με τις οποίες θα έρθει εις πέρας η αποστολή. Το υλικό πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ελαφρύ αλλά ταυτόχρονα και ανθεκτικό. Για τα μικρά UAV χρησιμοποιείται κυρίως το πλαστικό και τα παράγωγά του (φελιζόλ), ενώ για τα μεγαλύτερα UAV συνήθως το αλουμίνιο και τα ανθρακονήματα (Hexcel, 2020; Ξωνίκης & Τζιούτζιας, 2017).
- **Κινητήρας (Motor):** Ο κινητήρας είναι η πηγή ενέργειας του drone, επομένως είναι ο συντελεστής με τη μεγαλύτερη βαρύτητα για τη συνολική επίδοση της πτήσης του drone, καθορίζοντας την διάρκεια, την ταχύτητα πτήσης αλλά και το βάρος που μπορεί να μεταφέρει το αερόχημα. Ανάλογα με τον σκοπό, και επομένως τη διαμόρφωση του drone, ένας κινητήρας μπορεί να είναι ηλεκτρικός, εσωτερικής καύσης ή να λειτουργεί με κυψέλες καυσίμου, όπως αντίστοιχα μπορεί να διαφοροποιηθεί ο αριθμός και η θέση ανάλογα με την αποστολή που έχει να

εκτελέσει. Γενικά, για όλους τους τύπους drone οι κινητήρες αποτελούν το 40–60% του βάρους απογείωσης τους (Hassanalian et al., 2017).

- Flight Control System (Υπολογιστής Πτήσης): Πρόκειται για τον εγκέφαλο του drone. Είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο τόσο της ταχύτητας, όσο και των πτερυγών του αεροσκάφους. Λειτουργεί στέλνοντας εντολές ως σήματα ραδιοσυχνότητας στο drone μέσω του αναμεταδότη, προκειμένου αυτό να εκτελέσει τις αντίστοιχες ενέργειες. Συνήθως συνδέεται με ένα σύνολο αισθητήρων. Αυτοί οι αισθητήρες παρέχουν στον υπολογιστή πτήσης πληροφορίες όπως το ύψος, ο προσανατολισμός και η ταχύτητά. Οι συνήθεις αισθητήρες περιλαμβάνουν μια μονάδα αδρανειακής μέτρησης (IMU-Inertial Measurement Unit) για τον προσδιορισμό της γωνιακής ταχύτητας, της επιτάχυνσης και ένα βαρόμετρο για το ύψος (Gudde, 2020).
- Avionics (Σύστημα Πλοήγησης): Το ηλεκτρονικό σύστημα που κατευθύνει το UAV. Πρόκειται για μια κατηγορία ηλεκτρονικών συστημάτων και εξοπλισμού ειδικά σχεδιασμένα για την εκτέλεση μιας σειράς λειτουργιών που σχετίζονται με τον σκοπό και την αποστολή των drones.
- Radar: Είναι υπεύθυνο για την ανίχνευση στόχων και είναι απαραίτητο σε μεγαλύτερα UAV. Τα ραντάρ αντίθετα με άλλους αισθητήρες μπορούν να σαρώσουν γρήγορα μεγάλες περιοχές χωρίς περιορισμούς από καιρικές συνθήκες, το καπνό ή τη σκόνη. Τα μεγάλα βεληνεκούς ραντάρ μπορούν να παρέχουν ταχεία επιτήρηση μεγάλων περιοχών εδάφους (Schwartz et al., 1990).
- Gimbal Control (Σύστημα Ευστάθειας): Είναι το σύστημα ευστάθειας της φωτογραφικής μηχανής το οποίο βελτιώνει την ποιότητα των φωτογραφιών. Τα gimbal συστήματα επιτρέπουν σε ένα αντικείμενο, συνήθως σε μια κάμερα, να παραμένει στην ίδια γωνία, ανεξάρτητα από την κίνηση του drone. Για παράδειγμα, ένα gimbal προσαρμοσμένο σε drone μειώνει τους κραδασμούς και διατηρεί την κάμερά σταθερή παρά την κίνηση του drone. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας βαθμονομημένους ηλεκτρονικούς κινητήρες και έξυπνους αισθητήρες, αντισταθμίζοντας αυτόματα κάθε κίνηση που ανιχνεύεται στους τρεις άξονες (Frey, 2020).
- Sensors (Αισθητήρες): Μέσω των drones επιτυγχάνεται μεγάλη συλλογή δεδομένων από αισθητήρες, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι πάνω σε αυτά. Πολλοί αισθητήρες είναι ικανοί να συλλέγουν δεδομένα με πολύ μεγάλη συχνότητα παρέχοντάς μας μεγάλο όγκο πληροφοριών, όπως φωτογραφικές μηχανές και συστήματα Lidar (Light Detection and Ranging) τα οποία βασίζονται στην εκπομπή παλμικής ακτινοβολίας για την διενέργεια μετρήσεων (Ξωνίκης & Τζιούτζιας, 2017).





**Σχήμα 2. 4: Σύνθεση υποσυστημάτων drone από Electronic Products**

Υπάρχουν πολλοί τρόποι προκειμένου να πετάξει ένα drone. Τα προωθητικά συστήματα των drones διαφέρουν ανάλογα με τη διαμόρφωση και τη λειτουργία του αεροσκάφους. Σε πολλές περιπτώσεις, όπως στα drones σταθερών πτερυγίων, τα προωθητικά συστήματα είναι παρόμοια με αυτά των κανονικών αεροσκαφών σε λειτουργία. Έτσι, αυτά τα αεροχήματα δεν χρειάζονται κάποια ιδιαίτερη καινοτομία στο σχεδιασμό των συστημάτων προώθησής τους. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνεται το κόστος και ο χρόνος από την ανάπτυξη καινούριων συστημάτων. Από την άλλη κάποιοι τύποι drone απαιτούν νέα τεχνολογία συστημάτων προώθησης με αποτέλεσμα να χρειάζονται καινοτομίες στο τομέα αυτό (Hassanalian et al., 2017).

Στα συστήματα πρόωσης, η πυκνότητα ισχύος και ενέργειας είναι δύο πολύ σημαντικές μεταβλητές που καθορίζουν την απόδοση μετατροπής ενέργειας του κινητήρα (Abdelkefi & Ghommem, 2013). Το σύστημα πρόωσης ενός drone είναι ανάλογο του βάρους, του μεγέθους, της αποστολής, και της αντοχής. Το επιλεγμένο σύστημα πρέπει να παρέχει οικονομία καυσίμου (ορυκτό καύσιμο ή μπαταρία), χαμηλό βάρος, μικρό μέγεθος και υψηλή αξιοπιστία.

Στα μεγαλύτερα UAVs μεταξύ όλων των μηχανών που λειτουργούν με καύσιμο τα αεροπροωθητικά συστήματα υπερέχουν λόγω του υψηλού λόγου ισχύος προς το βάρος ο οποίος είναι 3-6 φορές μεγαλύτερος σε σχέση με τις εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης, αλλά και λόγω της αξιοπιστίας τους (Austin, 2011). Επίσης αυτές οι μηχανές έχουν πολύ μεγαλύτερο χρόνο ζωής σε σύγκριση με αυτό των εμβολοφόρων. Παρόλα αυτά λόγω του υψηλού κόστους, αλλά και της έλλειψης μικρού μεγέθους αεροπροωθητικών μηχανών, οι εμβολοφόρες προτιμώνται έως και σήμερα.

Σε ό,τι αφορά drones μικρότερου μεγέθους, ο πιο εύκολος και συνήθης τρόπος πτήσης είναι αυτός της χρήσης ηλεκτρικών κινητήρων. Τα μεγαλύτερα σε μέγεθος drones συνήθως χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης ενώ τα μικρότερα ηλεκτρικούς κινητήρες. Αυτοί οι τύποι μηχανών χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της αξιοπιστίας τους, της υψηλής απόδοσης και του εύκολου ελέγχου τους. Σήμερα χρησιμοποιούνται δύο τύποι ηλεκτροκινητήρων συνεχούς ρεύματος, αυτοί με ή χωρίς ψήκτρες. Από τότε που οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες (BLDC) έγιναν μικρότεροι και ελαφρύτεροι θεωρούνται καταλληλότεροι. Σε αυτούς τους τύπους ηλεκτροκινητήρων δεν υπάρχει πυρήνας σιδήρου, ενώ ο μαγνήτης βρίσκεται εντός του πηνίου (Prakosa et al., 2019).

Σε όλα τα προωθητικά συστήματα, τα οποία χρησιμοποιούν οποιουδήποτε τύπου κινητήρα (εμβολοφόρα μηχανή, ηλεκτρικό κινητήρα), η έλικα αποτελεί την προέκτασή τους, αφού βρίσκεται ενσωματωμένη σε αυτούς. Στα drones κατηγορίας flapping wing ο κινητήρας αποτελεί το πιο σημαντικό μέρος του προωθητικού συστήματος. Αυτή η κατηγορία drones χρειάζεται κινητήρες υψηλής απόδοσης, χωρίς την αναπαραγωγή δονήσεων και συνεπώς οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι ιδανικοί αφού αποτελούν την τέλεια διασύνδεση μεταξύ ηλεκτρικών και μηχανικών μερών, όπου η τάση και το ρεύμα ως είσοδοι μετατρέπονται σε περιστροφική κίνηση ως έξοδος. Ένα από τα πιο σημαντικά κριτήρια επιλογής κινητήρα στην κατηγορία flapping wing είναι το χαμηλό βάρος και η υψηλή ροπή. Δυστυχώς αυτά τα δύο χαρακτηριστικά είναι αντικρουόμενα αφού συνήθως μεγαλύτερου βάρους κινητήρες παράγουν και μεγαλύτερη ροπή (Campolo et al. 2012).

Όσον αφορά τους αισθητήρες, οι οποίοι είναι προσαρμοσμένοι πάνω στο αεροσκάφος, φαίνεται να είναι υπεύθυνοι για τη σωστή λειτουργία του, αλλά και για την τροφοδοσία του χειριστή με τις απαραίτητες πληροφορίες. Μερικές κατηγορίες αισθητήρων παρουσιάζονται παρακάτω.

- Αισθητήρες αποφυγής εμποδίων

Τα περισσότερα σύγχρονα UAVs όταν το απαιτεί η αποστολή τους διαθέτουν σύστημα αποφυγής εμποδίων. Το σύστημα αυτό λαμβάνει δεδομένα από συγκεκριμένους αισθητήρες και αλλάζει την κατεύθυνση κίνησής του drone όταν ανιχνεύσει κάποιο εμπόδιο εντός της πορείας πτήσης. Οι αισθητήρες που συνθέτουν το σύστημα αποφυγής εμποδίων είναι κάμερες και εξαρτήματα μέτρησης απόστασης με την χρήση υπερηχητικών κυμάτων.

- Αισθητήρες πλοήγησης

Από τα πιο σημαντικά συστήματα των σύγχρονων drone είναι το σύστημα πλοήγησης. Αυτό του δίνει την δυνατότητα να ίπταται αυτόνομα και να ακολουθεί το σχέδιο πτήσης το οποίο του έχει ανατεθεί. Αυτή η λειτουργία επιτυγχάνεται με την βοήθεια διάφορων αισθητήρων που τροφοδοτούν το λογισμικό πλοήγησης με δεδομένα. Οι αισθητήρες αυτοί ονομάζονται IMU (Inertial Measurement Units) και αποτελούνται από το γυροσκόπιο, το επιταχυνσιόμετρο και το μαγνητόμετρο. Θα πρέπει να τονίσουμε όμως ότι τον σημαντικότερο ρόλο πλοήγησης τον έχει ο αισθητήρας του GPS.

- Αισθητήρες καταγραφής και μετρήσεων

Από τους πιο σημαντικούς αισθητήρες είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται με σκοπό τη καταγραφή οπτικοακουστικού υλικού και μετρήσεων. Η ποικιλία των αισθητήρων αυτών είναι πολύ μεγάλη με περισσότερο χρησιμοποιούμενους τις κάμερες και τα συστήματα LIDAR (Light Detection And Ranging). Οι κάμερες μπορεί να είναι απλές φωτογραφικές μηχανές ή πολυφασματικοί αισθητήρες που ανιχνεύουν και καταγράφουν την ανακλώμενη ηλιακή και την θερμική ακτινοβολία στα ορατά και στα υπέρυθρα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το LIDAR πρόκειται για μία συσκευή με την οποία μετριέται το αποτέλεσμα της διαμόρφωσης της ακτινοβολίας από τα συστατικά της ατμόσφαιρας. Η τεχνική αυτή βασίζεται στην εκπομπή παλμικής ακτινοβολίας laser στην ατμόσφαιρα και ακολούθως, στην καταγραφή της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας καθώς και του χρόνου που μεσολαβεί ανάμεσα στην εκπομπή και στη λήψη και εφαρμόζεται στην τοπογραφία, στην γεωργία, στην δασολογία και σε άλλους τομείς.



**Σχήμα 2. 5: Κάμερες και LIDAR (Salami et al., 2014)**

Ένα άλλο πολύ σημαντικό τμήμα των drones είναι αυτό της πηγής ενέργειάς τους και συνεπώς της διάρκειας πτήσης. Drones με μηχανή εσωτερικής καύσης συνήθως χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα όπως βενζίνη, μεθάνιο και υδρογόνο. Τα μικρότερου μεγέθους UAV τροφοδοτούνται από μπαταρίες. Πάνω από το 90% των drones χρησιμοποιούν μπαταρίες πολυμερών λιθίου (Li-PO). Ειδικά για τα πολύ μικρού μεγέθους drones οι μπαταρίες λιθίου αποτελούν την καλύτερη επιλογή λόγω του πολύ χαμηλού τους βάρους. Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα μικρότερου μεγέθους drones (Micro Air Vehicles-MAVs ή micro drones) είναι ότι δεν μπορούν να πετάξουν περισσότερο από 30 λεπτά είτε με τη χρήση καυσίμου είτε με τη χρήση μπαταριών. Παρόλα αυτά, οι μικροκυψέλες καυσίμου είναι μία τεχνολογία υπό ανάπτυξη, όπου η εφαρμογή της στις μικρότερου μεγέθους κατηγορίες είναι πολλά υποσχόμενη. Βέβαια στη σύγχρονη εποχή, οι μπαταρίες πολυμερών λιθίου είναι οι κυρίως χρησιμοποιούμενες και όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.1 βάσει των χαρακτηριστικών τους είναι και οι καταλληλότερες ως επιλογή (Hassanalian et al., 2014).

**Πίνακας 2. 1: Σύγκριση διαφορετικού τύπου μπαταριών (Hassanalian et al., 2014)**

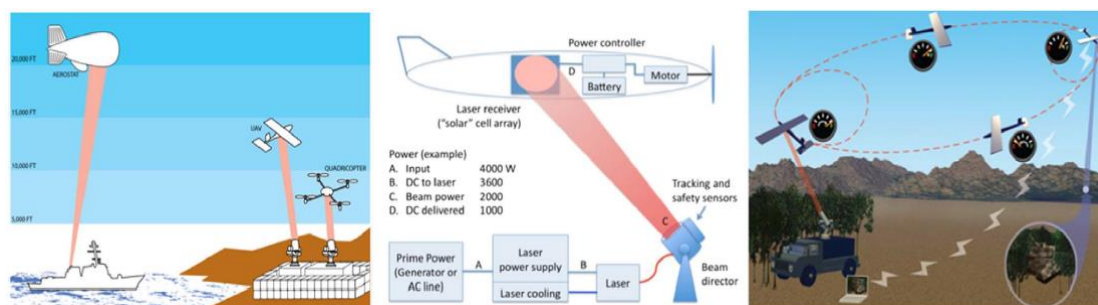
Χαρακτηριστικό	Ni-Cd	Ni-Mh	Li-Po	Li-S
Ειδική Ενέργεια (Wh/kg)	40	80	180	350
Ενεργειακή Πυκνότητα (Wh/l)	100	300	300	350
Ειδική Ισχύς (W/Kg)	300	900	2800	600

Γενικότερα, το ενδιαφέρον για τα micro drones έχει αυξηθεί. Βέβαια, όπως ήδη αναφέρθηκε, το βασικό τους πρόβλημα σε σχέση με τα μεγαλύτερα drones είναι ο χρόνος πτήσης, ο οποίος εξαρτάται από το ρυθμό κατανάλωσης ενέργειας. Επίσης, αυτή η κατηγορία δεν μπορεί να υποστηρίξει αποστολές με μεγάλο φορτίο, αφού δεν ανταποκρίνεται σε ισχύ και δεν διαθέτει μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης. Η πιθανή μείωση της οπισθέλκουσας δύναμης στα drones μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα για την αύξηση του χρόνου πτήσης. Οι διαφορετικές γεωμετρικές παράμετροι, όπως η διαμόρφωση και το άνοιγμα των φτερών, η αεροτομή, η ταχύτητα πρόωσης, ακόμη και οι συνθήκες πτήσης λόγω καιρού αποτελούν συντελεστικό παράγοντα μείωσης της οπισθέλκουσας δύναμης και συνεπώς του ρυθμού κατανάλωσης ενέργειας (Bronz et al., 2009). Προκειμένου να αυξηθεί ο χρόνος πτήσης ή ακόμη να αυξηθεί η χρήση αισθητήρων στην πλατφόρμα του αεροσκάφους θα μπορούσαν να τεθούν υπό μελέτη συστήματα με ενεργειακά πάνελ ή πιεζοηλεκτρικοί συλλέκτες ενέργειας. Κάποια παραδείγματα αεροσκαφών με χρήση ηλιακής ενέργειας είναι το Centurion, το Pathfinder και το Helios (Muller, 2010; Nicholas et al., 1994; Noll et al., 2004).

Στην κατηγορία micro drones, επίσης, πρόκληση είναι η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας λόγω περιορισμού βάρους. Σε αυτή την κατηγορία drones ο χρόνος πτήσης κυμαίνεται από 20 έως 30 λεπτά. Σήμερα, η χρήση υβριδικών συστημάτων ηλιακών πάνελ θεωρείται κοινή πρακτική προκειμένου να αυξηθεί η διάρκεια πτήσης, ενώ η μπαταρία έχει εφεδρική ισχύ όταν τα φωτοβολταϊκά κύτταρα δεν μπορούν να παραγάγουν αρκετή ενέργεια λόγω συννεφιάς ή νυχτερινής πτήσης. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα αποτελούν μία λεπτή εύκαμπτη στρώση με χαμηλό βάρος και υψηλή απόδοση, η οποία εφαρμόζεται στην επιφάνεια των φτερών διαφορετικών κατηγοριών αεροχημάτων χωρίς να επηρεάζει την αεροδυναμική τους. Αρκετοί περιορισμοί στη χρήση φωτοβολταϊκών κυττάρων είναι το υψηλό κόστος τους και η ευαισθησία τους στις υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες μειώνουν την απόδοσή τους (Chu, 2011).

Σε περιπτώσεις όπου η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών κυττάρων δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όπως τη νύχτα, λύση στο πρόβλημα μπορεί να δώσει η τεχνολογία λέιζερ με τη βοήθεια μίας φορητής γεννήτριας ή με ένα ηλεκτρικό δίκτυο. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.6 το λέιζερ πέφτει πάνω στον φωτοβολταϊκό αποδέκτη στην κάτω επιφάνεια του αεροχήματος, όπου με αυτόν τον τρόπο η τεχνολογία ακτινοβολίας λέιζερ επιτρέπει στις περισσότερες περιπτώσεις να απαλείψει τον περιορισμό διάρκειας πτήσης (Petricca et al., 2011; Prem Anand et al., 2015). Πλεονέκτημα των συστημάτων ασύρματης ενεργειακής τροφοδοσίας είναι η θέση της πηγής στο έδαφος από όπου είναι ευκολότερο και φθηνότερο να παραχθεί ενέργεια.

Παρόλο που αυτή η τεχνολογία λύνει ένα βασικό πρόβλημα, δεν μπορεί να εφαρμοστεί για μεγάλο εύρος πτήσης, επομένως δεν μπορεί να λειτουργήσει σε περιπτώσεις που το αεροχέιμα πετάει σε μεγάλο ύψος, ενώ είναι μία καλή πρακτική σε περιπτώσεις micro air vehicles και πολυροτορικών drone, για τα οποία θα γίνει λόγος σε επόμενη ενότητα, όπου το εύρος πτήσης δεν ξεπερνά συνήθως τα 5 χιλιόμετρα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η τεχνολογία ακτινοβολίας λέιζερ μεταφοράς ισχύος.



**Σχήμα 2. 6: Φόρτιση drone με τεχνολογία laser (Hassanalian & Abdelkefi, 2017)**

Τα τελευταία 20 χρόνια, αρκετές έρευνες έγιναν με στόχο την εξέλιξη των συστημάτων ελέγχου και πλοήγησης. Ο έλεγχος και η πλοήγηση των drones γινόταν κατεξοχήν μέσω ραδιοελέγχου, μέσω ανταπόκρισης βίντεο και με χρήση αυτόματου πιλότου. Ο πιο συνήθης τρόπος για τον έλεγχο και την πλοήγηση είναι μέσω του ραδιοελέγχου. Αυτός ο τρόπος επιτυγχάνεται μέσω ενός πομπού και ενός δέκτη στέλνοντας τις οδηγίες πλοήγησης στα ηλεκτρονικά συστήματα μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα κανάλια (Hassanalian et al., 2012). Συνήθως το εύρος λειτουργίας ενός τέτοιου πομπού κυμαίνεται γύρω στα 6 χλμ. Ο ραδιοπομπός των drones πρέπει να έχει τουλάχιστον 4-6 κανάλια για τον έλεγχο διαφόρων επιπέδων πτήσεων. Μερικά κανάλια μπορούν να προστεθούν για τη χρήση κάμερας. Στα συστήματα ραδιοελέγχου συνήθως η λειτουργία του δέκτη είναι να αναμεταδίδει τις εντολές στους σερβομηχανισμούς και τους ελεγκτές ταχύτητας του οχήματος.

Για τα συστήματα πλοήγησης με τη χρήση βίντεο, όπου ο χειριστής είναι αυτός που καθοδηγεί το drone, μία κάμερα είναι τοποθετημένη σε αυτό. Το μικρό μέγεθος, το χαμηλό βάρος και η υψηλή ανάλυση είναι σημαντικά χαρακτηριστικά αυτών. Στα συστήματα αυτά οι εικόνες και το βίντεο λαμβάνονται προκειμένου να εμφανιστούν στην οθόνη του χειριστή, στον επίγειο σταθμό ελέγχου. Σήμερα υπερηχητικοί αισθητήρες, έγχρωμες, θερμικές και υπέρυθρες κάμερες χρησιμοποιούνται για τη συλλογή πληροφορίας. Μικρότερου μεγέθους drones χρησιμοποιούν έγχρωμες κάμερες, οι οποίες λειτουργούν με το φως της ημέρας και συνήθως δεν μπορούν να παρουσιάσουν λεπτομέρειες σε βάθος για το περιβάλλον που παρατηρούν. Το αρνητικό σε αυτή την κατηγορία πλοήγησης είναι ότι το drone έχει μία συγκεκριμένη ακτίνα λειτουργίας και επομένως δεν είναι εφικτή η αναμετάδοση πληροφορίας (βίντεο) πέραν αυτής της ακτίνας. Για το λόγο αυτό, το καλύτερο σύστημα ελέγχου και πλοήγησης προκειμένου το drone να ακολουθήσει την επιθυμητή πορεία μας, με πλήρη αυτονομία είναι αυτό του αυτόματου πιλότου. Για παράδειγμα, καθορίζοντας το σχέδιο πτήσης, την κατεύθυνση, την ταχύτητα αλλά και σημεία στάσης (αιώρησης) του αεροσκάφους, αυτό εκτελεί ακριβώς το σχέδιο πτήσης χωρίς λάθη. Υπάρχουν αρκετοί τύποι αυτόματων πιλότων, ένας εκ των οποίων είναι ο MicroPilot, με βάρος μόλις 28 γραμμαρίων, διαστάσεις 4 cm πλάτος και 10 cm μήκος, ενώ μπορεί να ελέγξει έως 24 σερβομηχανισμούς, για ύψος μέχρι 12 χιλιόμετρα και ακτίνα 50 χιλιομέτρων (Hassanalain, 2017).

Εκτός των παραπάνω συστημάτων προτείνονται και άλλοι τρόποι πλοήγησης περισσότερο καινοτόμοι. Ο ερευνητής Bublitz εφάρμοσε τα γυαλιά της Google προκειμένου να κατευθύνει ένα τετρακόπτερο μέσω των κινήσεων του κεφαλιού. Τα γυαλιά της Google μπορούν να ανιχνεύσουν τις κινήσεις που κάνει το κεφάλι και να τις μετατρέψουν σε εντολές κίνησης του drone. Αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη για μικρότερα drones με περιορισμένη ακτίνα πτήσης τα οποία έχουν τη λειτουργία αιώρησης όπως τα πολυροτορικά κατηγορίας MAV (Woollaston, 2013).

Ένα άλλο σύστημα το οποίο αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο της Minnesota μετατρέπει τις σκέψεις του ανθρωπίνου εγκεφάλου σε εντολές για ένα τετρακόπτερο. Χρησιμοποιώντας διεπαφές μεταξύ εγκεφάλου και υπολογιστή κατάφεραν να κάνουν το τετρακόπτερο να στρίψει, να σηκωθεί, να βυθιστεί κατακόρυφα, ακόμη και να πετάξει μέσα από ένα δαχτυλίδι. Η τεχνική με την οποία αυτό επιτεύχθηκε ονομάζεται εγκεφαλογραφία η οποία μπορεί να καταγράψει την ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου ενός ατόμου μέσω ενός καλύμματος εφοδιασμένου με 64 ηλεκτρόδια. Αυτή η τεχνική μπορεί να λειτουργήσει λόγω της περιοχής του κεφαλιού που ονομάζεται κινητικός φλοιός και επιτρέπει την κίνηση της επιφάνειας του. Όταν υπάρχει μια κίνηση ή σκέψη για μια κίνηση, οι νευρώνες του κινητικού φλοιού παράγουν μικρές ποσότητες ηλεκτρικού ρεύματος. Η σκέψη για μια διαφορετική κίνηση ενεργοποιεί ένα νέο σύνολο νευρώνων. Σε αυτήν τη μέθοδο, τα σήματα εγκεφάλου καταγράφονται μέσω ενός κράνους και αποστέλλονται στο τετρακόπτερο μέσω WiFi. Και σε αυτή τη μέθοδο, όπως και των γυαλιών της Google, υπάρχει ο περιορισμός χρήσης μόνο για αεροσκάφη μικρού μεγέθους. Βέβαια για την καθοδήγηση των drones χρησιμοποιούνται και τα κινητά τηλέφωνα (Szondy, 2015).

Κύριο κομμάτι των μεθόδων πλοήγησης είναι το σύστημα εντοπισμού θέσης. Συνήθως, προκειμένου να βρεθεί η θέση, η ταχύτητα και το υψόμετρο χρησιμοποιείται το GPS. Για να βρεθεί η ακριβής τοποθεσία του αεροσκάφους το GPS πρέπει να επικοινωνήσει με 4 δορυφόρους. Βέβαια, το GPS επηρεάζεται εύκολα από εξωτερικές παρεμβολές με αποτέλεσμα να χάνεται η σύνδεση προσωρινά. Σε τέτοιες περιπτώσεις, το αερόχημα θα πρέπει να προσγειωθεί και να ακυρωθεί η αποστολή για λόγους ασφάλειας. Για να αποφευχθούν τέτοιου είδους καταστάσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το αδρανειακό σύστημα πλοήγησης (Inertial Navigation System-INS). Το INS αποτελείται από γυροσκόπια

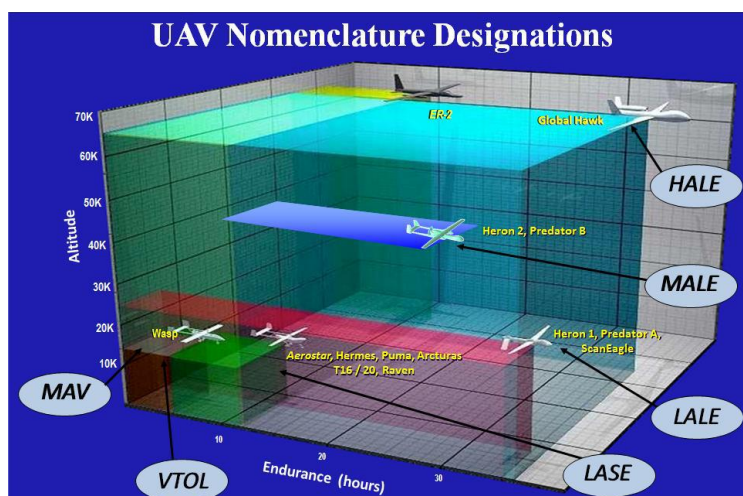
επιταχυνσιόμετρα προκειμένου να υπολογίσουν τη θέση και την κατεύθυνση του αεροσκάφους. Πλέον για μεγαλύτερη αξιοπιστία, GPS και INS μπορούν να συνδυαστούν (Wang et al., 2008). Τέλος, μία νέα μέθοδος για την πλοήγηση drone είναι με την εφαρμογή του δικτύου τηλεπικοινωνιών και του ίντερνετ. Σε σύγκριση με τις προηγούμενες μεθόδους πλοήγησης σε αυτή δεν υπάρχει περιορισμός εύρους πτήσης του drone (Gharib et al., 2016).

### 3. Είδη Μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους

Όπως οι ανάγκες στη χρήση των UAV ποικίλλουν, έτσι και οι κατηγορίες τους. Κατά καιρούς, πολλά είδη drone έχουν κάνει την εμφάνισή τους, κάθε ένα εξυπηρετώντας ένα σκοπό. Οι κατηγορίες μπορεί να διαφοροποιούνται ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά, με τις δυνατότητες που έχει ένα drone ή ακόμη και με τον βαθμό επικινδυνότητάς του σε περίπτωση πρόσκρουσης στο έδαφος. Παρατηρήθηκε πως στην επιστημονική βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές και διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται μία σύγχυση την ώρα που ο ενδιαφερόμενος αναζητεί το καταλληλότερο drone για τον ίδιο. Η διαμόρφωση ενός drone με την έννοια των εξωτερικών χαρακτηριστικών του συντελούν στην αεροδυναμική του και στον τρόπο με τον οποίο αυτό πετάει. Για παράδειγμα, ανάλογα με το σκοπό της εργασίας που έχουμε να εκτελέσουμε, μας ενδιαφέρει αν το drone μπορεί να αιωρηθεί και να απογειώνεται-προσγειώνεται κατακόρυφα ή αν χρειάζεται χώρο για τις αντίστοιχες ενέργειές του. Έτσι, παρακάτω παρουσιάζεται μία κατηγοριοποίηση των drones βάσει της διαμόρφωσής τους και επομένως του τρόπου λειτουργίας τους.

#### 3.1. Υπάρχουσες κατηγοριοποιήσεις Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

Σε αυτό το κεφάλαιο κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν μερικές από τις κατηγοριοποιήσεις που βρέθηκαν στην επιστημονική βιβλιογραφία. Η ταξινόμηση των drones για πολιτικούς σκοπούς, συνάδει με την περιγραφή που υπάρχει ήδη από την πολεμική βιομηχανία και έχει ως βάση χαρακτηριστικά, όπως το μέγεθος, τη διάρκεια πτήσης και τις δυνατότητές τους (Watts et al., 2012), ενώ οι κατηγορίες, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1, ονομάζονται MAVs (Micro Air Vehicles), NAVs (Nano Air Vehicles), VTOL (Vertical Take Off & Landing-Κατακόρυφη Απογείωση και Προσγείωση), LASE (Low Altitude Short-Endurance-Χαμηλό Υψόμετρο μικρής διάρκειας), LALE (Low Altitude Long Endurance-Χαμηλό υψόμετρο Μεγάλη διάρκεια), MALE (Medium Altitude Long Endurance-Μεσαίου υψομέτρου Μεγάλης Διάρκειας), και HALE (High Altitude Long Endurance-Μεγάλου υψομέτρου Μεγάλης Διάρκειας).



Σχήμα 3. 1 Κατηγοριοποίηση drone βάσει υψομέτρου και διάρκειας πτήσης (Bekhti, 2018)

Όπου VTOL είναι drones τα οποία έχουν τη δυνατότητα να απογειώνονται και να προσγειώνονται κατακόρυφα, χαρακτηριστικό που τα ξεχωρίζει από drones με συμβατικό τρόπο πτήσης παρόμοιο με αυτών των επιβατικών αεροπλάνων. Βέβαια έχουν περιορισμούς στις ταχύτητες πτήσης. Τα MAVs, όπως προδίδεται και από το όνομα τους, αναφέρονται σε μικροσκοπικά drones, τα οποία πετούν σε πολύ χαμηλά υψόμετρα (<330 μέτρα) με περιορισμούς στην μπαταρία να οδηγούν και σε περιορισμένη διάρκεια πτήσης (5-30 λεπτά). Τα LASE είναι μικρά drones (2-5 κιλά) με άνοιγμα φτερών έως 3 μέτρα και με χαρακτηριστικό τους να ωθούνται από ειδικό μηχανισμό (καταπέλτη) ή από ανθρώπινο χέρι. Τα LALE μπορούν να μεταφέρουν φορτία πολλών κιλών και να πετούν σε υψόμετρα μερικών χιλιάδων μέτρων. Τα MALE είναι αρκετά μεγαλύτερα από τα LALE και έχουν τη δυνατότητα να πετούν σε υψόμετρα έως και 9000 μέτρα. Και τέλος τα HALE είναι τα μεγαλύτερα και πιο πολύπλοκα UAV με δυνατότητα να ίπτανται σε υψόμετρα μεγαλύτερα των 20.000 μέτρων ενώ η διάρκεια πτήσης τους φτάνει και τις 30 ώρες.

Ο Brooke-Holland ταξινόμησε τα drone στρατιωτικού χαρακτήρα, που χρησιμοποιούν οι ένοπλες δυνάμεις του Ηνωμένου Βασιλείου, σε τρεις κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία υποδιαίρεθηκε σε τέσσερις υποκατηγορίες (α, β, γ, δ). Η κατηγοριοποίηση έγινε βάσει του ελάχιστου βάρους απογείωσης, του τρόπου, αλλά και του μέρους που τα αεροχήματα θα λειτουργήσουν (Brooke-Holland, 2012). Στο Πίνακα 3.1 φαίνεται αυτή η κατηγοριοποίηση.

**Πίνακας 3. 1: Κατηγοριοποίηση drone βάσει βάρους κατά Brooke-Holland (Hassanalian & Abdelkefi 2017)**

Κατηγορία	Τύπος	Εύρη Βάρους
Κατηγορία 1 (α)	Nano Drones	Μικρότερο από 200γρ.
Κατηγορία 1 (α)	Micro Drones	200 γρ έως 2 κιλά
Κατηγορία 1 (α)	Mini Drones	2 κιλά έως 20 κιλά
Κατηγορία 1 (α)	Small Drones	20 κιλά έως 150 κιλά
Κατηγορία 2	Tactical Drones	150 κιλά έως 600 κιλά
Κατηγορία 3	MALE/HALE Drones	Περισσότερο από 600 κιλά

Μία άλλη ταξινόμηση έγινε βάσει του βάρους, της ακτίνας και διάρκειας πτήσης, του φορτίου των φτερών, του μέγιστου υψόμετρου και του τύπου μηχανής. Ταξινόμησαν τα αεροχήματα σε υπερβολικά βαρέος τύπου (πάνω από 2000 κιλά), βαρέος τύπου (μεταξύ 200 και 2000 κιλών), μεσαίου τύπου (μεταξύ 50 και 200 κιλών), ελαφριά (μεταξύ 5 και 50 κιλών) και τα μικροσκοπικά (λιγότερο από 5 κιλά) (Arjomandi et al., 2006). Αυτή η κατηγοριοποίηση φαίνεται στον Πίνακα 3.2.

**Πίνακας 3. 2: Κατηγοριοποίηση drone βάσει βάρους (Hassanalian & Abdelkefi 2017)**

Κατηγορίες	Εύρη Βάρους
Μεγάλου βάρους	Μεγαλύτερο από 2000 κιλά
Αρκετού βάρους	200 εως 2000 κιλά
Μεσαίου βάρους	50 έως 200 κιλά
Ελαφριά	5 έως 50 κιλά
Μικρά	Μικρότερο από 5 κιλά

Υπάρχουν και άλλες πολλές κατηγοριοποιήσεις βάσει του βάρους με διαφορετικά εύρη κάθε φορά. Η Αρχή Προστασίας της Πολιτικής Αεροπορίας της Αυστραλίας συνδυάζει στην κατηγοριοποίησή της διαφορετικά εύρη βάρους για drones σταθερών πτερυγίων και άλλα



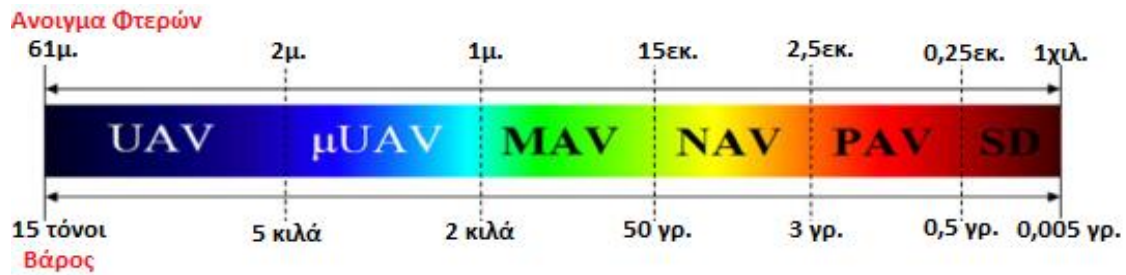
για τα πολυροτορικά. Άλλες κατηγορίες drones ταξινομούνται βάσει του τύπου κινητήρα. Μία άλλη κατηγοριοποίηση από τους Zakora και Molodchik συνδυάζει το βάρος με την εμβέλεια λειτουργίας του drone στις εξής κατηγορίες: μικρά drone, ελαφριά drone μικρής εμβέλειας, ελαφριά drone μεσαίας εμβέλειας, drone μέσου τύπου, μεσαία προς βαριά αεροχήματα, βαριά προς μεσαία αεροχήματα, βαριά αεροχήματα μεγάλης διάρκειας, και μη επανδρωμένο όχημα μάχης. Η τελευταία κατηγοριοποίηση φαίνεται και στον επόμενο πίνακα.

**Πίνακας 3. 3: Κατηγοριοποίηση drones βάσει βάρους και εμβέλειας (Hassanalian & Abdelkefi 2017)**

<b>Κατηγορίες</b>	<b>Εύρη Βάρους (B)</b>	<b>Ακτίνα πτήσης (ρ)</b>
Μικρά drone	≤5 κιλά	25 χλμ ≤ ρ ≤ 40 χλμ
Ελαφριά drone μικρής εμβέλειας	5 κιλά ≤ B ≤ 50 κιλά	10 χλμ ≤ ρ ≤ 70 χλμ
Ελαφριά drone μεσαίας εμβέλειας	50 κιλά ≤ B ≤ 100 κιλά	70 χλμ ≤ ρ ≤ 250 χλμ
Drone μέσου τύπου	100 κιλά ≤ B ≤ 300 κιλά	150 χλμ ≤ ρ ≤ 1000 χλμ
Μεσαία προς βαριά αεροχήματα	300 κιλά ≤ B ≤ 500 κιλά	70 χλμ ≤ ρ ≤ 300 χλμ
Βαριά προς μεσαία αεροχήματα	500 κιλά ≤ B	70 χλμ ≤ ρ ≤ 300 χλμ
Βαρια αεροχήματα μεγάλης διάρκειας	1500 κιλά ≤ B	ρ ≤ 1500 χλμ
Μη επανδρωμένο όχημα μάχης	500 κιλά ≤ B	ρ ≤ 1500 χλμ

Πλέον, ο ρυθμός εξέλιξης της τεχνολογίας έχει οδηγήσει στη σμίκρυνση των στοιχείων που αποτελούν ένα drone. Μικρότεροι επεξεργαστές, αισθητήρες, μπαταρίες και συστήματα πλοήγησης. Έτσι παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα ένα φάσμα κατηγοριών drone βάσει του μεγέθους τους, με αεροχήματα ανοίγματος φτερών 61 μέτρων και 15 τόνων, δηλαδή όσο το μέγεθος ενός αεροπλάνου έως και 1 χιλιοστό και 0,005 γραμμάρια, δηλαδή όσο το μέγεθος ενός κόκκου άμμου. Προφανώς, στα άκρα του φάσματος, αυτά τα drone προορίζονται για συγκεκριμένου τύπου αποστολές, δηλαδή μεγάλα drones, στο μέγεθος ενός αεροπλάνου συνήθως έχουν στρατιωτικό ή εμπορικό χαρακτήρα με σκοπό να μεταφέρουν εμπόρευμα και όχι να χαρτογραφήσουν μία μικρή περιοχή. Αντίστοιχα τα drones σε μέγεθος κόκκου άμμου έχουν ρόλο αισθητήρων που θα αναλυθεί σε επόμενο υποκεφάλαιο.

Βέβαια, οι παραπάνω κατηγοριοποιήσεις περισσότερο εξυπηρετούν από πλευράς νομοθεσίας παρά διευκολύνουν κάποιον να επιλέξει drone ανάλογα τον σκοπό του. Δηλαδή αν η αποστολή του drone είναι να βοηθήσει στην περίπτωση πυρκαγιάς ενός κτιρίου, τότε αυτό θα πρέπει να έχει κάποια χαρακτηριστικά όπως μικρό μέγεθος, ευκινησία, δυνατότητα αιώρησης, αναμετάδοση βίντεο στον επίγειο σταθμό ελέγχου ή ακόμη και προσαρμοσμένο σύστημα ήχου (μεγάφωνο) προκειμένου να δίνονται οδηγίες σε εγκλωβισμένα άτομα εντός του κτιρίου. Συνεπώς, μία εμφωλευμένη κατηγοριοποίηση τεχνικών χαρακτηριστικών σε μία γενικότερη κατηγοριοποίηση μεγέθους, θα διευκόλυne την επιλογή drone βάσει της αποστολής που έχει να εκτελέσει. Στο επόμενο υποκεφάλαιο θα γίνει μία τέτοιου τύπου κατηγοριοποίηση των drones βάσει των εξωτερικών χαρακτηριστικών τους σε σχέση με το είδος λειτουργίας των φτερών τη θέση και τη λειτουργία των κινητήρων.



**Σχήμα 3. 2: Φάσμα κατηγοριών drone βάσει ανοίγματος φτερών και βάρους (Hassanalian & Abdelkefi 2017)**

### 3.2. Κατηγοριοποίηση UAVs βάσει της αεροδυναμικής και της θέσης των κινητήρων

Οι κατηγορίες drones δημιουργούνται με μοναδικό σκοπό τη διευκόλυνση του αναγνώστη στη κατάλληλη επιλογή drone για εκείνον. Αποστολές που μπορεί να εκτελέσει ένα drone είναι η χαρτογράφηση μίας περιοχής, η μεταφορά φορτίου, η χρήση τους εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας και πολλές άλλες. Ανάλογα με το είδος της αποστολής, το drone πρέπει να έχει κάποια χαρακτηριστικά στη διαμόρφωσή του. Για το λόγο αυτό, τα τελευταία χρόνια τα drones κατασκευάζονται σε διάφορα σχήματα και με διαφορετικούς τρόπους πτήσης. Παρακάτω παρουσιάζεται μία κατηγοριοποίηση σε συνάρτηση με το σχήμα του αεροσκάφους και του τρόπου με τον οποίο αυτό λειτουργεί. Δηλαδή, θα λάβουμε υπόψη τον τρόπο λειτουργίας των φτερών και του κυρίου σώματος του αεροσκάφους σε συνδυασμό με τη θέση και τον αριθμό των κινητήρων του. Στο τέλος αυτής της ανάλυσης παρατίθεται ο συγκεντρωτικός Πίνακας 3.5 όπου φαίνονται όλες οι κατηγορίες drone, ο τρόπος πτήσης τους, το συνηθέστερο μέγεθος και η συνηθέστερη εφαρμογή που αυτά συναντώνται.

#### 3.2.1. Κλίνοντος Στροφείου (Tilt Rotor)



**Σχήμα 3. 3: Drone κατηγορίας κλίνοντος στροφείου (Defence Turkey, 2020)**

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, υπάρχουν δύο βασικά χαρακτηριστικά του τρόπου πτήσης ενός drone, δηλαδή αν ανήκει στην κατηγορία VTOL και έχει τη δυνατότητα αιώρησης, αλλά τον περιορισμό στην ταχύτητας πτήσης, ή ανήκει στην κατηγορία HTOL όπου έχει

μεγαλύτερες ταχύτητες πτήσης, αλλά χρειάζεται χώρο προσγείωσης και απογείωσης. Για τον λόγο αυτόν των περιορισμών δημιουργήθηκε η ιδέα για την ύπαρξη ενός τύπου drone που συνδυάζει και τα χαρακτηριστικά ενός HTOL και αυτά ενός VTOL. Έτσι, δημιουργήθηκαν οι κατηγορίες υβριδικών drones όπως τα tilt-rotor και tilt-wing UAV.

Στα drone κατηγορίας tilt rotor κατά την απογείωση οι κινητήρες είναι σε κάθετη θέση προκειμένου να ανυψωθούν, ενώ τη στιγμή που αυτά θα πραγματοποιήσουν το ταξίδι πτήσης οι κινητήρες περιστρέφονται κατά 90°. Πιο συγκεκριμένα, το tilt rotor είναι ένα αεροσκάφος που παράγει ανύψωση και πρόωση μέσω ενός ή περισσότερων κινητήρων, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε περιστρεφόμενους άξονες στα άκρα των σταθερών πτερυγίων (φτερών). Σχεδόν όλα τα μοντέλα τύπου tilt rotor χρησιμοποιούν εγκάρσιο σχεδιασμό ρότορα, με μερικές εξαιρέσεις που χρησιμοποιούν άλλες διατάξεις πολλαπλών στροφών. Συνήθως αυτός ο τύπος drone συναντάται σε κατηγορίες μεγαλύτερες των MAVs, αφού το άνοιγμα των φτερών τους ξεπερνάει το 1,5 μέτρο (Panigrahi et al., 2021).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το Wingcopter 198, το οποίο είναι σχεδιασμένο για εργασίες εντός της εφοδιαστικής αλυσίδας και συγκεκριμένα στο κομμάτι του last-mile delivery. Το συγκεκριμένο αερόχημα μπορεί να μεταφέρει φορτία βάρους έως 6 kg με ακτίνα πτήσης 110 χιλιομέτρων (60χλμ. μετ' επιστροφής). Έχει τεχνολογία 3 drop που του επιτρέπει να διανέμει έως και 3 δέματα ταυτόχρονα και τέλος, μπορεί να αναμεταδώσει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο με σύνδεση σε δίκτυο κινητής τηλεφωνίας (3G, 4G, 5G) (Jager, 2021).

### 3.2.2. Περιστρεφόμενων Πτερυγίων (Tilt Wing)



**Σχήμα 3. 4: Drone κατηγορίας περιστρεφόμενων πτερυγίων (Hegde et al., 2019)**

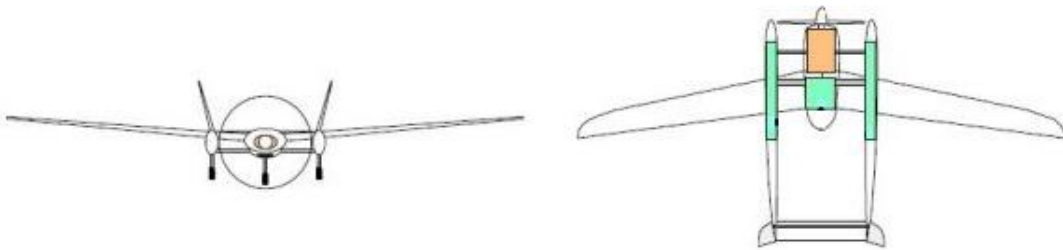
Αυτή η κατηγορία drones υιοθετεί επίσης έναν υβριδικό τρόπο πτήσης, αφού συνδυάζει τα χαρακτηριστικά HTOL και VTOL. Είναι παρόμοια στο σχεδιασμό με τον τύπο των tilt rotor, μόνο που εδώ οι κινητήρες είναι ενσωματωμένοι πάνω στα φτερά με αποτέλεσμα στη διαδικασία εναλλαγής από VTOL σε HTOL να περιστρέφονται κινητήρες και φτερά μαζί. Συνήθως είναι κατηγορίας MAV ή μεγαλύτερα σε μέγεθος.

Σε αντίθεση με τα tilt rotor, τα tilt wing πλεονεκτούν στη λειτουργία VTOL. Αυτό, διότι στη λειτουργία αιώρησης, όπου δεν υφίστανται οι δυνάμεις που δημιουργούν οριζόντια κίνηση (οπισθέλκουσα, ώθηση), προστίθεται και η αντίσταση του αέρα, όπου στην κατηγορία tilt wing η επιφάνεια του αεροσκάφους μειώνεται. Με αυτόν τον τρόπο, αυξάνεται η απόδοση των κινητήρων, ενώ έχει παρατηρηθεί ότι τα tilt rotor χάνουν 10% της ώσης τους λόγω του προσανατολισμού της επιφάνειας των φτερών.

Ένα άλλο πλεονέκτημα των tilt rotor drones είναι η ευκολία μετάβασης από VTOL σε οριζόντια λειτουργία πτήσης. Δηλαδή, αυτή η κατηγορία δεν χρειάζεται κατά την διάρκεια της εναλλαγής στην οριζόντια λειτουργία πτήσης να κινηθεί προς τα μπροστά με τον τρόπο του ελικοπτέρου προκειμένου να δημιουργήσει την κατάλληλη δύναμη ανύψωσης στα φτερά για να πετάξει τελικά με τον τρόπο του συμβατικού αεροπλάνου (σταθερά πτερύγια). Βέβαια, ένα από τα μειονεκτήματά τους είναι ότι στη λειτουργία αιώρησης, όπου τα φτερά είναι κάθετα, είναι ευάλωτα σε πλευρικούς ανέμους και ριπές σε σύγκριση με τα tilt rotor.

Στις παραπάνω κατηγορίες, αλλά και στη fixed wing, η οποία θα αναλυθεί στη συνέχεια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες κατηγορίες συστημάτων προώθησης, όπως εμβολοφόρες, αεροπρωθητικές και ηλεκτρικές μηχανές.

### 3.2.3. Περιστρεφόμενου Σώματος (Tilt Body)



**Σχήμα 3. 5: Drone κατηγορίας περιστρεφόμενου σώματος (Hesham, 2008)**

Πρόκειται για άλλη μία καινοτομία στο σχεδιασμό των drones, η οποία ανήκει στην κατηγορία των HTOL. Πρόκειται για αεροσκάφη που χρειάζονται αεροδιάδρομο προκειμένου να προσγειωθούν ή απογειωθούν. Αυτή η κατηγορία διακρίνεται για την αρθρωτή σύνδεση των φτερών, του κυρίου σώματος αλλά και της ουράς (empennage) και της ταυτόχρονης λειτουργίας μεταξύ τους. Αυτό επιτρέπει την ελεύθερη περιστροφή στα φτερά σχετικά με το σώμα του αεροσκάφους, ενώ η ουρά η οποία έχει τη μορφή διπλής δίδυμης ουράς συνδεδεμένης με το πίσω μέρος του κυρίως αεροσκάφους αλλάζει τη γωνία πρόσπτωσης ανάλογα με τις εξωτερικές εντολές (Schmittle, 2016).

Αυτός ο τύπος drone μέσα από τη μεγάλη ποικιλία που υπάρχει, προσέλκυσε το ερευνητικό ενδιαφέρον λόγω των δυνατοτήτων σύντομης απογείωσης και προσγείωσης (Short Take Off Landing-STOL) και της μικρής ευαισθησίας στις ριπές ανέμου (Schmittle, 2016).

### 3.2.4. Περικλειόμενης Έλικας (Ducted Fan)

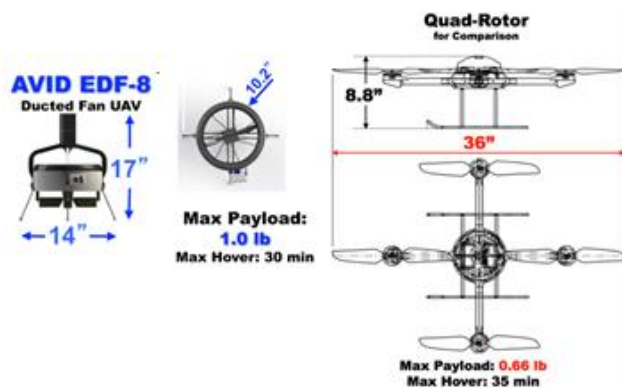


Σχήμα 3. 6: Drone περικλειόμενης έλικας (Ackerman, 2018)

Μία κατηγορία VTOL μικρών συνήθως drones, η οποία έχει τραβήξει το ενδιαφέρον αρκετών ερευνητών, είναι τα ducted fan drones. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι έλικες του αεροσκάφους είναι καλυμμένες περιμετρικά με έναν αγωγό. Ο αγωγός λειτουργεί μειώνοντας τις απώλειες ώσης, οι οποίες δημιουργούνται από τις άκρες των ελίκων. Αυτή η κατηγορία μπορεί να απογειωθεί και να προσγειωθεί κάθετα, γεγονός που της διευρύνει το φάσμα δραστηριοτήτων, ενώ περιστρέφεται και κατευθύνεται με των έλεγχο πτερυγίων κάτω από το επίπεδο της έλικας. Επίσης, συγκρινόμενη με drone ανοιχτής έλικας ίδιας διαμέτρου και ίδιας ισχύος αυτή, η κατηγορία παράγει μεγαλύτερη ώση, περίπου 26% μεγαλύτερη ή προκειμένου να σηκώσει το ίδιο φορτίο χρειάζεται 30% λιγότερη ενέργεια. Ακόμη, λόγω της εσωτερικής διαμόρφωσης του αγωγού, ο οποίος μοιάζει σαν να έχει σταθερά πτερύγια, αυξάνεται η δύναμη της ανύψωσης η οποία παράγεται από την έλικα.

Το γεγονός ότι οι έλικες είναι εντός του αγωγού καθιστά αυτά τα drones ασφαλέστερα, αφού μπορούν να έρθουν σε κοντύτερη απόσταση με τον στόχο τους, ενώ είναι περισσότερο προστατευμένα από ζημίες σε κρούση και είναι δυσκολότερο να τραυματίσουν κάποιον άνθρωπο. Τέλος, λόγω της περιμετρικής κάλυψης της έλικας από τον αγωγό, ο ήχος που δημιουργείται από την έλικα ηχομονώνεται, με αποτέλεσμα να θεωρείται ένα πλεονέκτημα αυτής της κατηγορίας για συγκεκριμένες εφαρμογές.

Τα ducted fan drones έχουν μεγαλύτερο λόγο φορτίου προς όγκο οχήματος, αφού μπορούν να κουβαλήσουν 4 φορές βαρύτερο φορτίο σε σύγκριση με ένα αντίστοιχο αερόχημα fixed wing. Τα ducted fan drones μπορούν να έχουν φορτίο από μερικά γραμμάρια και να πετούν με φορτίο έως 10 κιλά με χρόνο πτήσης από 10 λεπτά έως 2 ώρες (Gelhausen, 2015). Στο Σχήμα 3.7 φαίνεται μία σύγκριση ενός συγκεκριμένου ducted fan drone με ένα απλό τετρακόπτερο.



Σχήμα 3. 7: Σύγκριση Ducted fan με τετρακόπτερο

### 3.2.5. Ελικόπτερο (Helicopter)



**Σχήμα 3. 8: Ελικόπτερο μονής έλικας, ελικόπτερο ομοαξονικής έλικας, ελικόπτερο παράλληλης έλικας (Prodrone, 2017)**

Παρόλο που με την λέξη ελικόπτερο μας έρχεται στο μυαλό απευθείας το συμβατικό ελικόπτερο με τη μονή έλικα που φαίνεται αριστερά της εικόνας, ο όρος ελικόπτερο αναφέρεται στον τρόπο πτήσης επομένως και σε άλλες διαμορφώσεις αεροχημάτων, όπως είναι αυτά της ομοαξονικής έλικας (coaxial rotor-μεσαία εικόνα), παράλληλης έλικας (tandem rotor-δεξιά εικόνα) αλλά και του τετρακοπτέρου. Η τελευταία, λόγω της πολύ διαδεδομένης λειτουργίας της, θα αναλυθεί εκτενέστερα παρακάτω. Όλοι οι συγκεκριμένοι τύποι drone θεωρούνται VTOL και συνεπώς, υπερτερούν όταν η φύση της εργασίας που έχουν να εκτελέσουν περιορίζει τον χώρο προσγείωσης και απογείωσης ή όταν το χαρακτηριστικό της αιώρησης θεωρείται απαραίτητο.

Η διαμόρφωση ενός drone ελικοπτέρου είναι από τις πιο βασικές διαμορφώσεις, ενώ δεν διαφέρει σε σχέση με ένα συμβατικό επανδρωμένο ελικόπτερο. Drone μονής έλικας με έναν κινητήρα (χωρίς να προσμετράται της ουράς) σημαίνει και λιγότερη συνολική χρησιμοποιούμενη ισχύ. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί πλεονέκτημα όταν η επιθυμητή χρήση του drone αφορά μεγάλης διάρκειας πτήσεις. Λόγω του ότι το βάρος αυτού του τύπου drone σηκώνεται βάσει αυτής της έλικας, τα πτερύγια της πρέπει να είναι μεγαλύτερα σε μήκος. Αυτό σημαίνει ότι θα περιστρέφονται με πιο αργό ρυθμό αλλά θα πετυχαίνουν τον ίδιο ρυθμό ανύψωσης χρησιμοποιώντας λιγότερη ενέργεια. Έτσι, αυτή η κατηγορία πλεονεκτεί και για μεταφορά μεγαλύτερων φορτίων (περισσότερο καύσιμο, αισθητήρες ή δέματα με μεγαλύτερο φορτίο), ενώ σε σχέση με πολυροτορικά drones, ο τύπος μονής έλικας έχει μεγαλύτερες ταχύτητες όταν το σχέδιο πτήσης προσεγγίζει ευθεία. Τέλος, σε σχέση με πολυροτορικά συστήματα υστερεί σε θέμα ελιγμών και σταθερότητας, ενώ τα εκτεθειμένα και μεγάλα πτερύγια το περιορίζουν στην κίνηση σε στενούς χώρους. Αυτή η διαμόρφωση drone συνήθως συναντάται με κάποια μηχανή εσωτερικής καύσης και συχνότερα χρησιμοποιούμενο σε εφαρμογές όπως η γεωργία, η περιπολία ή η πυρόσβεση (Rennie, 2016).

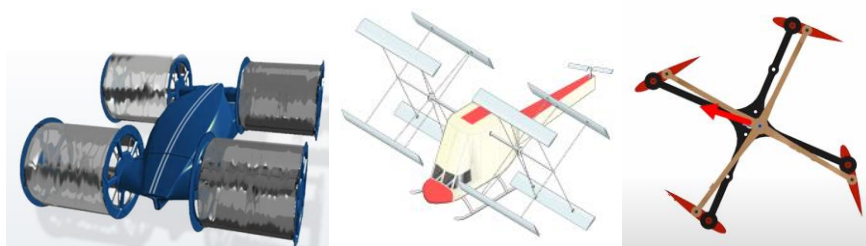
Ο τύπος των ομοαξονικών αεροχημάτων (coaxial drones) αναπτύχθηκε μετά την εμφάνιση των συμβατικών ελικοπτέρων. Ο τρόπος λειτουργίας τους διαφέρει από τον παραδοσιακό τρόπο πτήσης των ελικοπτέρων μονής έλικας. Πρακτικά αναιρείται η έλικα ουράς, που έχει σκοπό τη δημιουργία αντίρροπης δύναμης, σε σχέση με αυτή που δημιουργεί η βασική έλικα στο σώμα του αεροσκάφους και αντικαθίσταται με έναν ρότορα και άλλη μία ομοαξονική έλικα πάνω από τη βασική, με αντίθετη φορά περιστροφής. Έτσι, οι αντίρροπες δυνάμεις αλληλοαναιρούνται με αποτέλεσμα την ομαλή πτήση του ελικοπτέρου. Ένα από τα πλεονεκτήματα σε σχέση με την διαμόρφωση του απλού ελικοπτέρου, είναι η αύξηση του ωφέλιμου φορτίου για ίδια ισχύ μηχανής λόγω της εξάλειψης του ρότορα της ουράς, ο οποίος κατανάλωνε ποσό της ενέργειας. Επίσης, λόγω της συγκεκριμένης διαμόρφωσης επιτυγχάνεται μείωση στη δημιουργία θορύβων από τις έλικες, ενώ μειώνεται και το μέγεθος του αεροχήματος σε σχέση με τα παραδοσιακά ελικόπτερα. Αντίθετα, λόγω της μεγάλης οπισθέλκουσας δύναμης (drag) που δημιουργείται από τα πτερύγια της έλικας, αυτός ο τύπος drone δεν αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες πτήσης. Συνήθως, αυτός ο τύπος

drone συναντάται σε στρατιωτικές ή ναυτικές επιχειρήσεις, όπου η μηχανική πολυπλοκότητα συναρτήσει του κόστους δεν αποτελούν πρόβλημα σε σχέση με τα επιχειρησιακά πλεονεκτήματα (Petrosyan, 2013).

Η κατηγορία παράλληλης έλικας (tandem rotor) συγκαταλέγεται επίσης στην ομάδα των VTOL όπου, όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.8, η καινοτομία της διπλής έλικας αντικαθιστά την έλικα ουράς του κλασικού ελικοπτέρου. Οι δύο έλικες βρίσκονται η μία μπροστά στην άλλη και περιστρέφονται αντίστροφα προκειμένου να εξισορροπούνται οι ροπές που δημιουργούνται από κάθε έλικα. Έτσι, όλη η ισχύς των κινητήρων χρησιμοποιείται για την ανύψωση του αεροσκάφους και δεν μοιράζεται συνδυαστικά, όπως γίνεται στα ελικόπτερα μονής έλικας με την υποστήριξη της έλικας ουράς. Αυτή η διαμόρφωση αεροσκάφους χρησιμοποιείται κυρίως για ελικόπτερα μεταφοράς βάρους και χαρακτηρίζεται από καλή διαμήκη σταθερότητα, αλλά και πολύπλοκη μετάδοση κίνησης. Η μετάδοση κίνησης μεταξύ των δύο κινητήρων διασφαλίζει την ομαλή λειτουργία τους προκειμένου να υπάρχει συγχρονισμός για την αποφυγή σύγκρουσης μεταξύ των δύο ελίκων ακόμη και στην περίπτωση μηχανικής αστοχίας των κινητήρων. Σε αυτή την κατηγορία ελικοπτέρων, υπάρχει το πλεονέκτημα της ανύψωσης μεγαλύτερου βάρους με κοντύτερες έλικες, αφού αυτές υπερέρχουν αριθμητικά σε σχέση με το ελικόπτερο μονής έλικας. Η πίσω έλικα συνήθως λειτουργεί καλυπτόμενη από τη μπροστινή της, γεγονός που μειώνει την αεροδυναμική απόδοσή της και επομένως, τη συνολική. Αυτό μπορεί να διορθωθεί είτε απομακρύνοντας τους άξονες των ελίκων μεταξύ τους είτε ανυψώνοντας τη μία έλικα σε σχέση με την άλλη. Συνοψίζοντας, τα ελικόπτερα παράλληλης έλικας απαιτούν λιγότερη ενέργεια προκειμένου να αιωρηθούν ή για πτήση χαμηλής ταχύτητας σε σύγκριση με τα ελικόπτερα μονής έλικας, ενώ και οι δύο κατηγορίες απαιτούν την ίδια ενέργεια για πτήση μεγάλης ταχύτητας (Hull, 2007).

Ένα τέτοιο παράδειγμα drone παράλληλης έλικας είναι το 210TL της Avidrone, το οποίο είναι κατάλληλο για αποστολές μεγάλης ακτίνας, για γεωργικές εφαρμογές ή μεταφορά δεμάτων, όπως και για να δώσει λύσεις σε προβλήματα εντός της βιομηχανίας. Μπορεί να ταξιδέψει με βάρος μέχρι 25 κιλά για μιάμιση ώρα και ακτίνα 120 χιλιομέτρων με μέγιστη ταχύτητα τα 100 χλμ./ώρα.

### 3.2.6. Κυκλοειδούς Φτερωτής (Cyclocopter/ Cyclogyro)



**Σχήμα 3. 9: Drone κυκλοειδούς φτερωτής (MacQuarrie, 2021; Russian News Agency, 2020; Atherton, 2019)**

Το cyclocopter ή cyclogyro πρόκειται για διαμόρφωση αεροσκάφους αποτελούμενου από ζυγό αριθμό φτερωτών, συνήθως δύο ή τέσσερις, περιστρεφόμενων γύρω από οριζόντιο εγκάρσιο άξονα συνδυαστικά πολλές φορές με μία έλικα της μορφής ελικοπτέρου στο πίσω μέρος του αεροσκάφους. Η συγκεκριμένη διαμόρφωση αποτελεί καινοτομία ειδικά για τα μικρότερου μεγέθους drones (MAV ή μUAV), αφού στηρίζει την αρχή λειτουργίας της

σε φτερωτές, οι οποίες έχουν μία κυκλοειδή διάταξη αποτελούμενη συνήθως από τέσσερις αεροτομές (λεπίδες), παράγοντας ανύψωση και ώθηση για το αεροσκάφος (Yun et al., 2005)

Οι αεροτομές, πέρα από την κυκλική πορεία που ακολουθούν λόγω του ρότορα, μπορούν και να αλλάζουν ταυτόχρονα τη σχετική τους γωνία (γωνία πρόσπτωσης) με αρνητική κλίση στο κάτω σημείο της κυκλικής κίνησης, ενώ είναι επίπεδες στο δεξί και το αριστερό σημείο της κυκλικής κίνησης προκειμένου να μη δημιουργούν δυνάμεις σε άλλες κατευθύνσεις πέραν των δυνάμεων ανύψωσης. Πρακτικά, οι φτερωτές του αεροσκάφους μπορούν να λειτουργούν παράγοντας διαφορετική ώθηση προκειμένου να επιτυγχάνεται η κίνηση του αεροσκάφους προς όλες τις κατευθύνσεις. Η συγκεκριμένη κατηγορία drone έχει τη δυνατότητα να απογειώνεται και να προσγειώνεται κάθετα, ενώ μπορεί να αιωρείται όπως το ελικόπτερο. Ο σχεδιασμός της μηχανικής τους βοηθάει τα αεροσκάφη αυτής της κατηγορίας να έχουν μεγαλύτερη ευελιξία, να είναι λιγότερο επιρρεπή σε ριπές ανέμου, ενώ οι μικρότερες στροφές του ρότορα δημιουργούν μικρότερες ταχύτητες στα άκρα των λεπίδων που τα καθιστά αθόρυβα. Βέβαια, το μεγαλύτερο πλεονέκτημά τους είναι ότι αυτή η κατηγορία drone αποδίδει καλύτερα όσο μικραίνει το μέγεθος της, γεγονός που τα καθιστά ιδανικά για αποστολές, όπου το μέγεθος παίζει κομβικό ρόλο. Για το λόγο αυτό το συγκεκριμένο είδος συναντάται κυρίως σε κατηγορία μικρού μεγέθους όπως MAV και μUAV (Hassanalian et al., 2017).

Αυτού του είδους τα αεροσκάφη, παρόλο που σαν καινοτομία υπάρχουν εδώ και πολλά χρόνια, το ερευνητικό ενδιαφέρον για περαιτέρω εξέλιξή τους έχει μεγαλώσει τα τελευταία χρόνια. Αυτό δυστυχώς έχει ως αποτέλεσμα αυτή η κατηγορία αεροσκαφών να υπάρχει με τη μορφή πρωτοτύπων, τα οποία έχουν αποδείξει ότι υπάρχει δυνατότητα εξέλιξης, αλλά χωρίς να υπάρχει παραγωγή από τη μεριά της βιομηχανίας.

### 3.2.7. Ορνιθόπτερο (Flapping Wing)



**Σχήμα 3. 10: Drone διαμόρφωσης ορνιθοπτέρου (Festo, 2011)**

Μία άλλη κατηγορία εμπνευσμένη από την ίδια τη φύση, είναι αυτή των flapping wing drones, η οποία στηρίζει τη λειτουργία της στον τρόπο πτήσης των πουλιών, αλλά και άλλων οργανισμών που χρησιμοποιούν φτερά προκειμένου να πετάξουν. Τα flapping wing κάνουν την παρουσία τους αντιστοιχίζόμενα σε τρεις κατηγορίες μεγεθών MAV, NAV, και PAV. Η κατηγορία MAV αντιστοιχίζεται με τα πουλιά στον πραγματικό κόσμο όσον αφορά το μέγεθος αλλά και την κινησιολογία, η κατηγορία NAV με οργανισμούς μικρότερους από το μέγεθος των μικρών πουλιών, ενώ η κατηγορία PAV με μεγέθη μικρότερα και από τις δύο προηγούμενες κατηγορίες, όπως είναι τα έντομα (Shyy et al. 2008; Fenelon & Furukawa 2010). Λόγω του τρόπου κίνησης των φτερών τους και της αεροδυναμικής τους, τους επιτρέπεται να πετούν με τρόπο που δεν μπορούν άλλες κατηγορίες drones.



Τα πιο σημαντικά μέρη στα drones αυτής της κατηγορίας είναι τα φτερά τους, τα οποία πρέπει να είναι ευλύγιστα και ελαφριά όπως και των πουλιών ή των υπόλοιπων οργανισμών, που αποτελούν έμπνευση αυτής της κατηγορίας. Το δεύτερο και εξίσου σημαντικό συστατικό μέρος αυτών των drones, είναι ο μηχανισμός ενεργοποίησης, υπεύθυνος για τη μετάδοση κίνησης στα φτερά. Το πόσο εύκαμπτα θα είναι τα φτερά, αλλά και το βάρος τους, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αεροδυναμική και τη σταθερότητα στην κίνηση αυτών των drones (Shyy et al. 2010). Όπως είναι φανερό, λόγω της ιδιαίτερης διαμόρφωσης αυτών των drones, η αεροδυναμική τους και ο τρόπος λειτουργίας τους βγαίνει πέραν των τετριμμένων σε σχέση με drones σταθερών πτερυγίων ή των πολυροτορικών. Επομένως, η έρευνα ξεκινάει από τον πραγματικό κόσμο μελετώντας πουλιά και έντομα και εφαρμόζοντας την τεχνογνωσία για βελτίωση της αεροδυναμικής στα drones.

Από την ανασκόπηση στον πραγματικό κόσμο φαίνεται ότι τα flapping wings παρουσιάζουν φοβερές ικανότητες σε ελιγμούς σε σύγκριση με τις αναφερθείσες κατηγορίες των πολυροτορικών και σταθερών πτερυγίων, ιδιαίτερα όσο το μέγεθος μικραίνει. Στα πολυροτορικά και σταθερών πτερυγίων drones όταν η επιφάνεια των πτερυγίων μικραίνει, συμβαίνει μία αλλαγή της ροής αέρα από υψηλούς αριθμούς Reynolds σε χαμηλούς, γεγονός που μειώνει την αεροδυναμική τους απόδοση. Ο αριθμός Reynold αποτελεί καθοριστικό παράγοντα της αεροδυναμικής των αεροχημάτων σε σχέση με την ανάπτυξη άνωσης και οπισθέλκουσας δύναμης. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται κάποια εύρη των αριθμών Reynolds για την κατηγορία των micro drones και μία αντιστοιχία καταλληλότητας βάσει διαμορφώσεων των drones όπως τα flapping wing, τα fixed wing και τα πολυροτορικά (Windte et al. 2004). Στα μικρότερα drones κυρίως αναπτύσσονται στρωτές ροές αέρα, ενώ για μεγαλύτερα drones συνήθως γίνονται μεταβάσεις από στρωτή ροή σε τυρβώδη και αντίστροφα.

**Πίνακας 3. 4: Καταλληλότητα φάσματος αριθμών Reynold για διαφορετικές κατηγορίες drones (Windte et al. 2004)**

Κατηγορία	PAV	NAV	MAV	μUAV	UAV
<b>Αριθμός Reynold</b>	$10^3-10^4$	$10^4-5*10^4$	$5*10^4-2*10^5$	$2*10^5-5*10^5$	$5*10^5-2*10^6$
<b>Διαμόρφωση</b>	Flapping wing	Σταθερών πτερυγίων, πολυροτορικά, Flapping wing	Σταθερών πτερυγίων, πολυροτορικά, Flapping wing	Σταθερών πτερυγίων	Σταθερών πτερυγίων

Έχει παρατηρηθεί ότι για αριθμούς Reynolds μεταξύ 104 και 106 γύρω από τα drones δημιουργείται αποκόλληση της ροής που δημιουργεί μεγαλύτερη οπισθέλκουσα δύναμη στο αεροσκάφος. Για το λόγο αυτό, τα drones που λειτουργούν σε χαμηλούς αριθμούς Reynolds χρησιμοποιούν άλλους τρόπους για βελτίωση των αεροδυναμικών τους ικανοτήτων. Για παράδειγμα, τα flapping wing drones δημιουργούν ασταθείς ροές αέρα, καθοριστικές για τις δυνάμεις ανύψωσης και αντίστασης του αέρα που δέχεται το αεροσκάφος. Τα αεροσκάφη σταθερών πτερυγίων και τα πολυροτορικά λειτουργώντας σε χαμηλούς Reynolds είναι επιρρεπή σε αποκολλήσεις της ροής με αποτέλεσμα αύξηση της οπισθέλκουσας δύναμης και μείωση της απόδοσης τους, ενώ ακόμη και χωρίς αποκόλληση της ροής, οι χαμηλοί αριθμοί Reynolds οδηγούν σε μικρούς λόγους των δυνάμεων ανύψωσης προς την οπισθέλκουσα δύναμη (Shyy et al., 2008).

Η κατηγορία των flapping wing, όπως έχει αναφερθεί, μπορεί να επωφεληθεί όσο το μέγεθος της μικραίνει, αφού συνδυάζοντας την ικανότητα τους να αιωρούνται με τη δυνατότητα για πολύ γρήγορες μεταβάσεις από τη λειτουργία αιώρησης σε λειτουργία πτήσης, να τα καθιστά ιδανικά για αποστολές διάσωσης και έρευνας, ιδιαίτερα για χώρους όπως κτίρια ή άλλες κλειστές και δυσπρόσιτες εγκαταστάσεις. Αυτή η κατηγορία μπορεί να διακριθεί σε τρεις μικρότερες, τα monoplanes, τα biplanes και τα tandems. Η πρώτη υποκατηγορία λειτουργεί με ένα ζεύγος φτερών, ενώ τα tandem λειτουργούν με δύο ζεύγη, το ένα πίσω από το άλλο, ανεξάρτητα μεταξύ τους, όπως πετάνε οι λιβελλούλες. Αντίθετα, τα biplane δεν υπάρχουν στον πραγματικό κόσμο, έχοντας δύο ζευγάρια φτερών το ένα πάνω από το άλλο δημιουργώντας μία διαμόρφωση που μοιάζει με Χ.

Στην κατηγορία flapping wing χρησιμοποιούνται αποκλειστικά ηλεκτρικοί κινητήρες, λόγω του βάρους, αλλά και επειδή λειτουργούν σε μικρότερες ταχύτητες παράγοντας μεγαλύτερη ροπή, ενώ αντίθετα με τα αεροσκάφη σταθερών πτερυγίων τα flapping wing απαιτούν περισσότερη ενέργεια. Ένας τρόπος για να επιτευχθεί η αύξηση της ενεργειακής αντοχής αυτών των drones είναι μέσω εκμετάλλευσης της μηχανικής κίνησης των φτερών μέσω πιεζοηλεκτρισμού. Έτσι, η ανακτώμενη ενέργεια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τις περιφερειακές ανάγκες ενέργειας όπως αισθητήρες και κάμερες (Hassanalian et al., 2017).

### 3.2.8. Σταθερών Πτερυγίων (Fixed Wing)



**Σχήμα 3. 11: Drone σταθερών πτερυγίων (Dylan , 2017)**

Μία από τις πιο διαδεδομένες κατηγορίες drones είναι αυτή των fixed wing (σταθερών πτερυγίων). Η διαμόρφωση αυτής της κατηγορίας είναι παρόμοια με αυτή των αεροπλάνων μεγαλύτερης κλίμακας. Αποτελείται από την άτρακτο που είναι το κυρίως σώμα του αεροσκάφους, τα φτερά τα οποία είναι άκαμπτα και δημιουργούν την ανύψωση του αεροσκάφους και τέλος, την ουρά του. Αυτά τα drones ανήκουν στην κατηγορία HTOL (Horizontal Take Off and Landing) που σημαίνει ότι η απογείωση τους μπορεί να γίνει είτε με καταπέλτη είτε με το χέρι, ενώ για την προσγείωσή τους χρειάζονται είτε ειδικό μηχανισμό είτε ανοιχτό χώρο που να μη τους δημιουργεί χωρικό περιορισμό (περίπου 150m\*30m). Δηλαδή, η προσγείωσή τους δεν μπορεί να γίνει οπουδήποτε. Συνεπώς, μιλάμε για μία κατηγορία που βάσει των χαρακτηριστικών της κρίνεται κατάλληλη για συγκεκριμένο εύρος αποστολών (Rennie, 2016).

Τα drones σταθερών πτερυγίων καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια σε σχέση με άλλες κατηγορίες, διότι τα συστήματα προώθησής τους δεν διοχετεύουν την ενέργεια τους για την παραγωγή δυνάμεων ανύψωσης του αεροσκάφους, αφού αυτά ανυψώνονται παθητικά μέσω των φτερών τους σχηματίζοντας κατάλληλη γωνία με τον προσπίπτοντα αέρα. Πρακτικά, η ανύψωση τους επιτυγχάνεται λόγω της διαφοράς πίεσης που δημιουργείται εκατέρωθεν του φτερού.

Λόγω της ήδη υπάρχουσας τεχνογνωσίας, μιας και τέτοιου τύπου αεροσκάφη μοιάζουν με τη διαμόρφωση των αεροπλάνων, αλλά και λόγω της εξελιγμένης τεχνολογίας στη μικροκατασκευή τέτοιων αεροσκαφών, η παραγωγή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μεγάλες ποσότητες και με χαμηλό κόστος.

Τα drone σταθερών πτερυγίων, που πετούν σε περιβάλλον με πολλές χωρικές εναλλαγές, όπως τα αστικά ή τα δασώδη, θα πρέπει να έχουν κοντύτερα φτερά με μικρές αναλογίες διαστάσεων, αφού αεροσκάφη με μεγαλύτερα φτερά είναι πιο δύσκολα στον χειρισμό τους με μεγαλύτερη πιθανότητα να συγκρουστούν με κάποιο εμπόδιο (Mir et al., 2017). Πολλές αποστολές, όπως η χαρτογράφηση περιοχών ή η περισυλλογή στοιχείων, απαιτούν μεγάλη διάρκεια πτήσης και εμβέλεια. Η διάρκεια πτήσης, και επομένως η κατανάλωση ενέργειας, σχετίζεται με τον λόγο δυνάμεων ανύψωσης προς την οπισθέλκουσα δύναμη, ενώ τα drones σταθερών πτερυγίων με μεγαλύτερο λόγο ανύψωσης/οπισθέλκουσας δύναμης έχουν καλύτερες επιδόσεις σε σχέση με αυτά με μικρότερο λόγο. Τα fixed wing drones έχουν μεγαλύτερη διάρκεια πτήσης και μπορούν να πετούν σε μεγαλύτερο υψόμετρο σε σχέση με τα flapping wing ή τα πολυροτορικά, τα οποία είναι καταλληλότερα για αποστολές σε εσωτερικούς χώρους με μικρότερες ταχύτητες πτήσης. Ένας γενικός κανόνας είναι πως, εάν η έκταση που πρέπει να καλυφθεί με το drone είναι κάτω από 2.000km<sup>2</sup> τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα πολυροτορικό αεροσκάφος, αλλιώς θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί drone σταθερών πτερυγίων ή κάποιο υβριδικό.

Ιδιαίτερα στην κατηγορία των σταθερών πτερυγίων συναντώνται διαφόρων ειδών προωθητικά συστήματα. Μπορεί να χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί κινητήρες, μηχανές εσωτερικής καύσης, ακόμη και αεροπρωθητικά συστήματα τύπου jet, τα οποία βέβαια συναντώνται σε αεροσκάφη με μεγαλύτερες διαστάσεις. Βέβαια τα αεροσκάφη που χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης έχουν ακόμη χαμηλή απόδοση και δεν προτιμώνται.

Κλείνοντας, αυτή η κατηγορία υπερτερεί σε χαρακτηριστικά όπως η διάρκεια και η ταχύτητα πτήσης ενώ είναι ιδανικό για αποστολές σε ανοιχτούς χώρους. Από την άλλη, στα μειονεκτήματα του συγκαταλέγονται η αδυναμία αιώρησης πάνω από ένα σταθερό σημείο και η αδυναμία να πετάει σε περιορισμένους χώρους, ενώ είναι ακριβότερο από άλλες κατηγορίες, περίπου τρεισήμισι φορές ακριβότερο σε σχέση με τα τετρακόπτερα, και δύσκολο στην εκμάθησή του (Rennie, 2016).

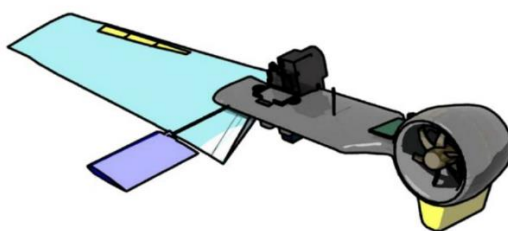
### 3.2.9. Πολυροτορικά (Rotary Wing)

Τα πολυροτορικά drones είναι drones που συγκαταλέγονται στην ομάδα των VTOL (Vertical Take Off and Landing) και είναι η πιο διαδεδομένη κατηγορία στον τομέα των drones. Η ποικιλία και η μαζική παραγωγή τέτοιων drones έχει δημιουργήσει πολλές υποκατηγορίες που θα αναλυθούν παρακάτω. Πρακτικά, το βασικό αυτής της κατηγορίας είναι ότι αποτελείται από έναν έως πολλούς κινητήρες συνεπώς και έλικες (προπέλες) σε διαφορετικές διατάξεις, κάνοντας τα εύκολα στη χρήση και την εκμάθηση, αλλά και πολύ σταθερά, ιδιαίτερα όσο αυξάνεται ο αριθμός των ελίκων. Ιδιαίτερα σε μικρότερα μεγέθη κατηγορίας MAV, αλλά και ακόμη μικρότερα, είναι ιδανικά για χρήση σε κλειστούς χώρους, λόγω της εξαιρετικής ιδιότητας τους να αιωρούνται, αλλά και αντίθετα με τα drone σταθερής πτέρυγας, να πετάνε ως προς οποιαδήποτε κατεύθυνση (οριζόντια, κάθετα) και με τρομερή ευελιξία. Πλέον, υπάρχουν πολυροτορικά drones από μία έλικα τα λεγόμενα monocopters (μονοκόπτερα), με δύο έλικες twin-copters (δικόπτερα) και ούτω καθ' εξής, φτάνοντας μέχρι και δώδεκα έλικες, τα λεγόμενα twelve-copter (δωδεκακόπτερα). Τα πιο εμπορικά διαδεδομένα είναι τα τετρακόπτερα και τα εξακόπτερα, μιας και όπως

αναφέρθηκε είναι πολύ απλά στη χρήση τους, αλλά και οικονομικά αφού στην πλειοψηφία χρησιμοποιούνται για ψυχαγωγικούς σκοπούς. Τέλος, στα πολυροτορικά drones η πιο κατάλληλη κατηγορία κινητήρων είναι οι ηλεκτροκινητήρες. Τα γενικά πλεονεκτήματα σε αυτή την κατηγορία drones είναι ο υψηλός λόγος απόδοσης προς βάρος και η απλή σχεδίαση και κατασκευή τους (Nagel, 2020).

Παρακάτω θα αναλυθούν οι συνηθέστερες υποκατηγορίες πολυροτορικών drones μιας και η αρχή λειτουργίας των πολυροτορικών drones είναι η ίδια, οπότε δεν θα είχε νόημα να επαναλαμβάνεται κάθε φορά.

### 3.2.9.1. Μονοκόπτερο (Monocopter)



**Σχήμα 3. 12: Drone διαμόρφωσης μονοκοπτέρου (Bakula et al., 2009)**

Το μονοκόπτερο συγκαταλέγεται σε μεγέθη κατηγορίας NAV ή MAV. Μηχανικά, είναι αρκετά απλή η σχεδίαση του, ακόμη και σε σχέση με το ελικόπτερο, αφού αποτελείται από δύο κινούμενα μέρη, το βασικό κινητήρα με την έλικα του, η οποία μπορεί να είναι εκτεθειμένη ή κλεισμένη σε σωλήνα τύπου ducted fan, και το πηδάλιο κλίσεως που είναι προσαρτημένο στο πτερύγιο, το οποίο είναι υπεύθυνο για να δίνει κατεύθυνση στην πτήση του αεροχήματος και περιστρέφεται με τη βοήθεια σερβομηχανισμού. Είναι λογικό να υπάρχουν και άλλα συστατικά μέρη που όμως δεν βοηθάνε στην αεροδυναμική, όπως η μπαταρία και τα ηλεκτρονικά. Τα drones αυτού του τύπου δεν είναι ακόμα διαθέσιμα εμπορικά και η κατασκευή τους γίνεται λόγω ερευνητικού ενδιαφέροντος, αφού το εύρος χρήσης τους τα προορίζει για συγκεκριμένες αποστολές (Bakula et al., 2009).

Αυτή η κατηγορία είναι εμπνευσμένη από τον τρόπο που στροβιλίζονται κατά την πτώση τους οι σπόροι σφενδάμου. Πρακτικά η αερό-πλατφόρμα πετάει περιστρεφόμενη ολόκληρη γύρω από τον κάθετο άξονα που διέρχεται από το κέντρο βάρους της, ενώ χρησιμοποιεί το πηδάλιο κλίσεως του πτερυγίου για να ανυψωθεί και να κατευθυνθεί στο χώρο. Λόγω του μικρού μεγέθους τους, τα μονοκόπτερα είναι πλατφόρμες drones που είναι κατάλληλα για αποστολές σε εσωτερικούς χώρους και κυρίως για αναμετάδοση εικόνας και περισυλλογή στοιχείων μέσω αισθητήρων. Αυτή η διαμόρφωση μπορεί να επανδρωθεί με απλούς αισθητήρες, αφού η ικανότητα τους, λόγω της συνεχούς περιστρεφόμενης πλατφόρμας, είναι να σκανάρουν και όχι να εστιάζουν συγκεκριμένα στον χώρο. Οι χρόνοι πτήσης αυτής της κατηγορίας ξεπερνούν τα έντεκα λεπτά χρονικό διάστημα σεβαστό για τέτοιου είδους αποστολές (Jager, 2021).

Ένα μονοκόπτερο, λόγω της διαμορφώσής του, μπορεί να αιωρείται βάσει του τρόπου πτήσης του χωρίς σύστημα ελέγχου, ενώ έχει τους ίδιους βαθμούς ελευθερίας με το ελικόπτερο και μπορεί να πετάει προς όλες τις κατευθύνσεις. Λόγω του απλοϊκού σχεδιασμού το μονοκόπτερο δεν χρειάζεται σύστημα μετάδοσης κίνησης ή κάποιο άλλο μηχανικό μέρος πέραν των αναφερθέντων, ενώ σύμφωνα με τους Hoburg και Houghton (Hoburg & Houghton, 2008), αυτή η κατηγορία drone είναι τόσο απλή, που μπορεί να

κατασκευαστεί εντός τριών ωρών σε εργαστηριακό περιβάλλον. Τέλος, αυτή η διαμόρφωση αποδεικνύεται πιο ανθεκτική, ελαφρύτερη και περισσότερο αξιόπιστη σε σχέση με άλλες διαμορφώσεις της ίδιας τάξης μεγέθους.

### 3.2.9.2. Δικόπτερο (Twincopter)



**Σχήμα 3. 13: Drone διαμόρφωσης δικοπτέρου (Karatzas, 2019)**

Τα δικόπτερα (twincopters, bi-copters, dualcopters) είναι διαμορφώσεις drones αποτελούμενα από δύο ρότορες και συνεπώς δύο έλικες. Παρόλο που ο παραπάνω ορισμός φαίνεται να είναι συγκεκριμένος υπάρχουν πολλές διατάξεις δικοπτέρων. Αν σκεφτούμε μία μπάρα, η οποία στις άκρες της έχει δύο κινητήρες με έλικες τότε έχουμε την πιο απλή μορφή δικοπτέρου.

Τα δικόπτερα ανήκουν στην ομάδα VTOL, δηλαδή μπορούν να απογειώνονται και να προσγειώνονται κάθετα, αυξάνοντας ή μειώνοντας την ταχύτητα των δύο ελίκων ταυτόχρονα. Τα μικρότερα σε μέγεθος δικόπτερα ανταποκρίνονται πολύ γρηγορότερα στις εντολές κίνησης σε σχέση με τα μεγαλύτερα, ενώ τα τελευταία είναι πιο εύκολα στο χειρισμό τους. Έτσι, το drone πρέπει να είναι στο ιδανικό μέγεθος για την αποστολή του, προκειμένου να υπάρχει ισορροπία μεταξύ αυτών των χαρακτηριστικών. Εστιάζοντας στο πρόβλημα της μικρής διάρκειας πτήσης των drones, τα δικόπτερα έχοντας μόνο δύο έλικες, μειώνουν τις απαιτήσεις για κατανάλωση ενέργειας και επομένως, αυξάνουν το χρόνο πτήσης. Μπορούν να πετούν σε περιορισμένους χώρους όπως είναι τα κτίρια, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια πτήσης και μεγαλύτερες οριζόντιες ταχύτητες από τα ελικόπτερα αλλά και τα τετρακόπτερα.

Οι έλικες αυτής της κατηγορίας περιστρέφονται με αντίθετη φορά προκειμένου να αλληλοαναιρούνται οι αντίρροπες δυνάμεις που θα προκαλούσαν περιστροφή γύρω από τον κάθετο άξονα (yaw). Η ελεγχόμενη περιστροφή γύρω από τον κάθετο άξονα επιτυγχάνεται με την διαφοροποίηση των ταχυτήτων περιστροφής των ελίκων. Για την επίτευξη περιστροφής γύρω από τον άξονα που διέρχεται κατά μήκος του αεροσκάφους (roll) γίνεται με τη διαφοροποίηση της ώσης μεταξύ των δύο κινητήρων. Δηλαδή αλλάζοντας την ώση του ενός κινητήρα σε σχέση με τον απέναντι του, επιτυγχάνεται περιστροφή γύρω από τον διαμήκη άξονα. Επομένως, το πρόβλημα σταθερότητας των δικοπτέρων αρχίζει και γίνεται εμφανές. Το ζήτημα είναι ότι η κίνηση yaw συνοδεύεται αναγκαία και από κίνηση roll και αντίστροφα. Ακόμη τα δικόπτερα στην απλή μορφή τους, δεν μπορούν να περιστραφούν γύρω από τον άξονα που διέρχεται εγκάρσια από το σώμα τους, δηλαδή δεν μπορούν να εφαρμόσουν την κίνηση pitch. Αυτό βέβαια μπορεί να επιλυθεί μέσω των περιστρεφόμενων κινητήρων (Agarwal et al., 2014)

Όπως έχει φανεί, η τεχνολογία των δικοπτέρων έχει μεγάλη δυναμική και απαιτεί παραπάνω έρευνα. Λόγω αυτού, νέες τεχνολογίες εφαρμόζονται πάνω τους, προκειμένου

οι δυνατότητες τους να εξελιχθούν ακόμη περισσότερο. Μερικοί ερευνητές εφάρμοσαν μία νέα τεχνολογία προσγείωσης που επιτρέπει στα δίκωπτερα να σέρνονται, ενώ άλλοι εισήγαγαν ένα υβριδικό σχεδιασμό μεταξύ δικοπτέρου και τετρακοπτέρου, ο οποίος μπορεί να προσαρμόζει το μέγεθός του, μειώνοντάς το έως και 48% όταν απαιτηθεί. Επομένως, αποστολές που το δίκωπτερο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είναι η χαρτογράφηση, η εποπτεία δυσπρόσιτων χώρων και οι μετεωρολογικές εφαρμογές (Kuswadi et al., 2020; Qin et al., 2020).

Ένα παράδειγμα δικοπτέρου είναι το V-Copter Falcon της εταιρείας Zero Zero Robotics, το οποίο ζυγίζει μόλις 730 γραμμάρια ενώ μπορεί να πετάει έως και 50 λεπτά με ακτίνα έως 7 χιλιόμετρα. Διαθέτει λειτουργία αυτόματης επιστροφής και λειτουργία αυτόματης αποφυγής εμποδίων. Αυτό το drone αποτελεί ένα εργαλείο για αποστολές, όπως η χαρτογράφηση αλλά και η επιτήρηση αφού δεν ανήκει στα drones μεταφοράς φορτίου (Robotics, 2019).

### 3.2.9.3. Τρικόπτερο (Tricopter)



**Σχήμα 3. 14: Drone διαμόρφωσης τρικοπτέρου (Pierce, 2016)**

Το τρικόπτερο είναι μία κατηγορία drone, όπως και οι προηγούμενες πολυροτορικές υποκατηγορίες, το οποίο έχει τρεις δίσκους ρότορα με τρεις έλικες. Τα τρικόπτερα συνήθως έχουν τρεις κινητήρες σε σχήμα “Υ” ή “Τ”. Όπως έχει διατυπωθεί, οι ανάγκες που πρέπει να καλύπτουν τα πολυροτορικά drones, αλλά και οι υπόλοιπες κατηγορίες, είναι υψηλοί λόγοι απόδοσης προς βάρος, ευκινησία και σταθερότητα. Ο Oluwasegun, σε έρευνα που διενήργησε, καταλήγει ότι η διαμόρφωση του τρικοπτέρου ενδείκνυται ως η πιο κατάλληλη για τη μεταφορά δεμάτων σε μικρές αποστάσεις έναντι των τετρακοπτέρων (Oluwasegun, 2015).

Ακόμη, οι Salazar-Cruz et al. (2008) προτείνουν τα τρικόπτερα ως εναλλακτική λύση έναντι άλλων drones της κατηγορίας VTOL. Η διαμόρφωση των τρικοπτέρων είναι το ίδιο απλή με των τετρακοπτέρων, αλλά στις βιβλιογραφικές πηγές αναφέρονται ως πιο ανθεκτικά με μεγαλύτερο χρόνο ζωής και ευκολότερα στην επισκευή τους. Συνήθως, συναντώνται σε μικρότερα μεγέθη κατηγορίας MAV και έχουν μεγαλύτερους χρόνους πτήσης έναντι άλλων drones με περισσότερους ρότορες.

Ένα drone επαγγελματικής χρήσης είναι το SwitchBlade-Elite Tricopter της Vision Aerial με διάρκεια πτήσης 40 λεπτά, μέγιστο φορτίο βάρους 2.3 κιλών και ακτίνα πτήσης 16 χλμ. Είναι κατάλληλο για περιβάλλοντα με δυνατούς ανέμους έως και 40 χλμ./ώρα ή για εφαρμογές έρευνας, χαρτογράφησης, επίβλεψης εγκαταστάσεων και δημόσιας υγείας.

### 3.2.9.4. Τετρακόπτερο (Quadcopter)



**Σχήμα 3. 15: Drone διαμόρφωσης τετρακοπτέρου (Minhaj, 2022)**

Τα τετρακόπτερα αποτελούν την πιο διαδεδομένη κατηγορία drone. Είναι η πιο γνωστή κατηγορία, αφού αποτελεί τη βασική διαμόρφωση αεροσκάφους σε δραστηριότητες ψυχαγωγίας, αλλά και σε εφαρμογές όπως η γεωργία, η πυρόσβεση και η χαρτογράφηση περιοχών. Το τετρακόπτερο ανήκει στην ομάδα VTOL καθιστώντας το ικανό για εύκολες απογειώσεις και προσγειώσεις. Η πλατφόρμα του τετρακοπτέρου αποτελείται από τέσσερις ρότορες και έλικες. Συνήθως έχει διαμόρφωση σχήματος “X” όπου κάθε ζεύγος διαγώνιων κινητήρων περιστρέφεται προς την ίδια κατεύθυνση, ενώ το δεύτερο ζεύγος αντίθετα από το προηγούμενό του. Αυτό γίνεται προκειμένου να εξισορροπούνται οι αντίρροπες δυνάμεις και το drone να μένει σταθερό. Σε περίπτωση βλάβης ενός κινητήρα, το τετρακόπτερο χάνει τον έλεγχο και δεν μπορεί να συνεχίσει να πετάει. Ένα τετρακόπτερο σταθεροποιείται χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνολογίες, με κύρια το γυροσκόπιο (Thu et al., 2017).

Αν αριθμήσουμε τους κινητήρες με δεξιόστροφη φορά, τότε αν οι κινητήρες 1 και 3 περιστρέφονται δεξιόστροφα και έχουν μικρότερη ταχύτητα σε σχέση με τους 2 και 4, η αεροπλατφόρμα περιστρέφεται δεξιόστροφα, ενώ αν συνέβαινε το αντίθετο θα περιστρεφόταν προς την αριστερή κατεύθυνση. Αυξάνοντας την ταχύτητα των κινητήρων 1 και 2 και μειώνοντας των 3 και 4, το αερόχημα πετάει με κατεύθυνση προς τα πίσω (από τους 1,2 προς τους 3,4) ενώ αυξάνοντας την ταχύτητα των 3 και 4, προς τα μπροστά. Αντίστοιχα συμβαίνει προκειμένου το drone να πετάξει προς την αριστερή ή τη δεξιά κατεύθυνση (Thu et al., 2017).

Τα τετρακόπτερα, αλλά και γενικότερα τα drones, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς τομείς. Ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί τύποι drones. Για παράδειγμα, τα τρικόπτερα και τα τετρακόπτερα χρησιμοποιούνται κυρίως για ψυχαγωγία και για εφαρμογές παρακολούθησης, χωρίς να προσαρτάται πάνω τους πολύ βάρος. Αντιθέτως, drones με περισσότερες έλικες όπως τα εξακόπτερα ή τα οχτακόπτερα, συνήθως συναντώνται σε εφαρμογές πυρόσβεσης, γεωργίας ή χρησιμοποιούνται για κινηματογραφικούς σκοπούς λόγω των απαιτήσεων βάρους. Οι Dhivya και Premkumar (2017) ανέπτυξαν ένα drone με ιδιότητες ασθενοφόρου προκειμένου να εξυπηρετεί σε έκτακτες ανάγκες, ενώ η Zainab Zaheer (2016) ανέπτυξε ένα τετρακόπτερο για χρήση σε αστικές και στρατιωτικές εφαρμογές, με σκοπό την παρακολούθηση. Η αεροπλατφόρμα της τελευταίας ζυγίζει 400 γραμμάρια ενώ έχει διάρκεια ζωής 1.622 λεπτά. Ο Arnab Kumar Saha πρότεινε τη δημιουργία ενός drone, που να παρακολουθεί τις καλλιέργειες χρησιμοποιώντας αλγορίθμους μηχανικής μάθησης και IoT, ενώ άλλες έρευνες έχουν ασχοληθεί με τη μεγιστοποίηση της σοδειάς σε γεωργικές εργασίες αξιολογώντας τις απαιτήσεις νερού ή την ύπαρξη παρασίτων, με την λειτουργία drone (Talaviya et al., 2020; Srivastava et al., 2020).

Ένας βασικός περιορισμός στα τετρακόπτερα είναι ο χρόνος πτήσης, ο οποίος συνήθως δεν υπερβαίνει τα 40 λεπτά. Αυτός ο περιορισμός έγκειται στο γεγονός ότι τα τετρακόπτερα είναι αεροσκάφη με ηλεκτρικούς κινητήρες, όπου η δυναμικότητα των μπαταριών δεν μπορεί να υπερβεί χρόνους που επιτυγχάνονται με άλλα drone, που χρησιμοποιούν μηχανές εσωτερικής καύσης (Townsend et al., 2020).

Ένα παράδειγμα drone αυτής της κατηγορίας, που χρησιμοποιείται στον τομέα των logistics, είναι το M2 drone της Matternet το οποίο έχει εγκριθεί από την Ελβετική Αρχή Αεροπορίας για δραστηριοποίηση εντός των αστικών περιοχών, ενώ είναι σχεδιασμένο να δέχεται φορτίο έως και 2 κιλά, σε όγκο μέχρι τεσσάρων λίτρων και για αποστάσεις έως 20 χιλιομέτρων (Urquhart, 2017).

### 3.2.9.5. Εξακόπτερο (Hexacopter)



**Σχήμα 3. 16: Drone διαμόρφωσης εξακοπτερου (Frontier Precision, 2022)**

Τα εξακόπτερα είναι ένας τύπος drone, που όπως δηλώνεται από την ονομασία τους, έχουν έξι κινητήρες και επομένως έξι έλικες. Ανήκει όπως και όλες οι προηγούμενες υποκατηγορίες πολυκοπτερων στην ομάδα VTOL, γεγονός που του προσδίδει όλα τα πλεονεκτήματα, αλλά και μειονεκτήματα, που έχουν αναφερθεί, ενώ λόγω της διαμόρφωσής του χαρακτηρίζεται από ευελιξία. Σε αντίθεση με τα τετρακόπτερα, αυτή η κατηγορία μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί ακόμη και με αστοχία ενός εκ των έξι κινητήρων. Λόγω του αυξημένου αριθμού κινητήρων η συγκεκριμένη κατηγορία προσφέρει μεγαλύτερη ανυψωτική δύναμη.

Η πιο συνήθης διάταξη είναι αυτή του αστέρα με τους κινητήρες σε 60° μεταξύ τους, ενώ υπάρχει και η διάταξη “Y”, που συνδυάζει την ανυψωτική δύναμη του εξακοπτερου στο μέγεθος τρικόπτερου. Αυτά τα drones, όπως και τα πολυροτορικά με παραπάνω έλικες (οχτακόπτερα, δωδεκακόπτερα), προσφέρουν μεγάλη ταχύτητα οδήγησης, υψηλή ασφάλεια, σταθερότητα και μπορούν να πετάξουν σε μεγάλα ύψη, ακόμη και με κακές καιρικές συνθήκες (Aswath et al., 2021)

Για να επιτευχθεί η πτήση ενός τέτοιου drone, οι τρεις εκ των έξι κινητήρων περιστρέφονται δεξιόστροφα, ενώ οι υπόλοιποι αριστερόστροφα. Με αυτόν τον τρόπο, εξισορροπούνται οι αντίρροπες δυνάμεις από τους κινητήρες. Σε αυτή την κατηγορία οι κινητήρες είναι ηλεκτρικοί (συνήθως BLDC) ενώ η ταχύτητά τους ελέγχεται, όπως και στα προηγούμενα πολυροτορικά, από τους ελεγκτές ταχύτητας (ESC) (Aswath et al., 2021).

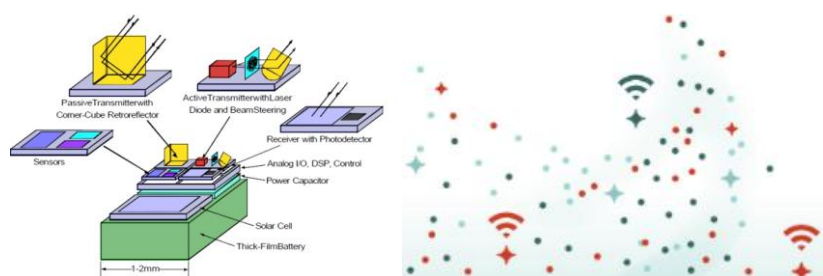
Αυτά τα drones χρησιμοποιούνται για εφαρμογές όπως η γεωργία επανδρώνοντάς τα με δεξαμενές προκειμένου να ψεκάζουν καλλιέργειες, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πυρκαγιές φέροντας μάνικες, αλλά ακόμη και σε πιο συνήθεις εφαρμογές όπως η



επιτήρηση, η παρακολούθηση πλημμυρών, σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, για σκοπούς χαρτογράφησης, καθώς και σε άλλους τομείς των humanitarian logistics. Βέβαια αυτή η κατηγορία κοστίζει περισσότερο σε σχέση με άλλες κατηγορίες, γεγονός που έγκειται στη μη χρήση για ψυχαγωγικούς σκοπούς.

Οι Monica Abarca et al. (2017) σχεδίασε ένα εξακόπτερο για έλεγχο ποιότητας του αέρα. Το drone αυτό μπορεί να πετάξει 5.000 μέτρα πάνω από το ύψος της θάλασσας. Ο Bitar και οι συνεργάτες του (2017), σχεδίασαν ένα drone για ιατρικές εφαρμογές προκειμένου να μεταφέρει ιατρικές προμήθειες. Το τελευταίο drone στοχεύει στη μείωση του χρόνου ανταπόκρισης προς τον πληγέντα με κύρια εφαρμογή του τον τομέα του αθλητικού σκι σε πάρκα με αρκετό κόσμο.

### 3.2.10. Έξυπνη Σκόνη (Smart Dust)



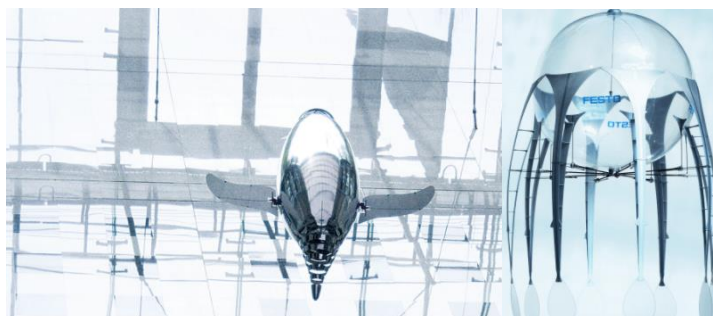
Σχήμα 3. 17: Έξυπνη σκόνη (Kahn et al., 1998)

Μία άλλη κατηγορία λίγο διαφορετική σε σχέση με όσες έχουν αναφερθεί είναι η λεγόμενη έξυπνη σκόνη (smart dust). Ο συνδυασμός της νανοτεχνολογίας με τους ασύρματους αισθητήρες μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών. Αυτή η κατηγορία προκειμένου να λειτουργήσει αποτελείται από χιλιάδες μικροαισθητήρες σε μέγεθος κόκκων άμμου και μπορεί να έχει εφαρμογές σε περιβαλλοντικές μελέτες όπως είναι ο έλεγχος του κλίματος, η ασφάλεια κτιρίων με χρήσεις όπως έλεγχος της θερμοκρασίας, του φωτός, δονήσεων, μαγνητισμού ή χημικών (Warneke et al., 2001; Sun et al., 2014). Συχνά, αυτοί οι αισθητήρες αφήνονται να αιωρηθούν πάνω από συγκεκριμένες περιοχές για να φέρουν εις πέρας συγκεκριμένες αποστολές ενώ ταυτόχρονα μπορούν να μετακινούνται μέσω του αέρα παίρνοντας μετρήσεις σχετικές με τον καιρό ή την ποιότητα του αέρα (Römer, 2004).

Η σύλληψη της ιδέας της έξυπνης σκόνης έγινε σε ένα εργαστήριο του μη κερδοσκοπικού οργανισμού RAND το 1992, αλλά και από έρευνες που διεξήχθησαν το 1990 από την Υπηρεσία Έρευνας Προηγμένων Αμυντικών Προγραμμάτων (DARPA), ενώ ύστερα συνεχίστηκαν έρευνες από τον Warneke το 2001. Οι Hsu et al. (1998) και Warneke et al. (2001) προσπάθησαν να σχεδιάσουν μία ασύρματη επικοινωνία προκειμένου να στέλνουν και να λαμβάνουν δεδομένα μέσω της τεχνολογίας smart dust. Η τεχνολογία της έξυπνης σκόνης αποτελείται από πολλούς κόκκους που περιέχουν από έναν έως πολλούς αισθητήρες και μία πηγή ενέργειας προκειμένου να επιτυγχάνεται αμφίδρομη επικοινωνία (Liu et al., 2018). Η πηγή ενέργειας καθορίζει και το μέγεθος των κόκκων, ενώ ανάλογα αν αυτή βασίζεται σε ηλιακά κύτταρα ή σε λεπτά φιλμ μπαταρίας το μέγεθος κυμαίνεται από 1 έως 3 χιλιοστά αντίστοιχα. Αυτή η τεχνολογία μπορεί να εφαρμοστεί για την λήψη και ανάλυση δεδομένων σε εμπορικές και στρατιωτικές εφαρμογές ακόμη και συνδυαστικά με άλλες κατηγορίες drones προκειμένου τα τελευταία να μεταφέρουν την έξυπνη σκόνη στη

στοχευμένη περιοχή για συλλογή πληροφοριών. Τελευταία, γίνεται μία προσπάθεια προκειμένου να ενσωματωθούν βιολογικοί και χημικοί αισθητήρες σε αυτή την τεχνολογία.
















### 3.2.11. Μη Συμβατικά



**Σχήμα 3. 18: Μη συμβατικά drone (Quick, 2009)**

Drones που δε μπορούν να αντιστοιχηθούν στις προηγούμενες κατηγορίες θεωρούνται ως μη συμβατικά. Συχνά, drones που είναι εμπνευσμένα από την ίδια τη φύση με βιολογική προσέγγιση ανήκουν σε αυτή την κατηγορία. Η καινοτόμα εταιρεία FESTO έχει το λεγόμενο AirJelly το οποίο είναι εμπνευσμένο από τη βιολογία της μέδουσας. Το AirJelly είναι ένα πραγματικά ελαφρύ drone με διάμετρο 1,35 μέτρα και ύψος 2,20 μέτρα, ενώ ζυγίζει μόνο 1,3 κιλά. Εκτός από την κεντρική ηλεκτρική κίνηση, το σώμα περιέχει επίσης μπαταρίες και ένα μπαλόνι γεμάτο ήλιο, με το οποίο επιτυγχάνεται η απαραίτητη πλευστότητα. Ο έλεγχος εντός του χώρου επιτυγχάνεται με μετατόπιση του βάρους. Σε συνδυασμό με την περισταλτική πρόωση, το drone μπορεί να πετάει προς όλες τις κατευθύνσεις. Υπάρχουν και άλλες μη συμβατικές διαμορφώσεις drone όπως, πάλι από την εταιρεία FESTO, οι ιπτάμενοι πιγκουίνοι που πετούν συλλογικά ενώ είναι πολύ κοντά στο βιολογικό τους πρότυπο από την άποψη διαμόρφωσης και κινησιολογίας. Χάρη στη δομή τους, μπορούν και γλιστρούν στον αέρα, όπως κάνουν και στο νερό. Με τα περιστρεφόμενα φτερά τους, μπορούν να πετάξουν μπροστά και πίσω, ενώ όλα αυτά επιτυγχάνονται όπως και στο AirJelly με την τεχνολογία του μπαλονιού γεμάτου ήλιο (Ackerman, 2016).

**Πίνακας 3. 5: Κατηγορίες drone, τρόπος προσγείωσης - απογείωσης τους καθώς και συνηθέστερα μεγέθη και εφαρμογές που συναντώνται**

Κατηγορία	HTOL	VTOL	Συνηθέστερο Μέγεθος	Συνηθέστερη Εφαρμογή
<b>Tilt Rotor</b> 	✓	✓	μUAV/MAV	Μεταφορά φορτίου/ Χαρτογράφηση/ Αναζήτηση και διάσωση
<b>Tilt Wing</b> 	✓	✓	μUAV/MAV	Μεταφορά φορτίου/ Χαρτογράφηση/ Αναζήτηση και διάσωση
<b>Tilt Body</b> 	✓	-	μUAV	Μεταφορά φορτίου/ Χαρτογράφηση
<b>Ducted Fan</b> 	-	✓	MAV	Μεταφορά φορτίου
<b>Helicopter</b> 	-	✓	μUAV/MAV	Μεταφορά φορτίου/ Γεωργία/ Πυρόσβεση/ Χαρτογράφηση/ Αναζήτηση και διάσωση
<b>Cyclocopter</b> 	-	✓	μUAV/MAV	Χαρτογράφηση/ Αναζήτηση και διάσωση
<b>Flapping Wing</b> 	-	-	MAV/NAV/PAV	Χαρτογράφηση/ Αναζήτηση και διάσωση
<b>Fixed Wing</b> 	✓	-	μUAV/UAV	Μεταφορά φορτίου/ Χαρτογράφηση
<b>Monocopter</b> 	-	✓	MAV/NAV	Χαρτογράφηση/ Αναζήτηση και διάσωση/ Μετάδοση πληροφοριών
<b>Twincopter</b> 	-	✓	MAV/NAV	Χαρτογράφηση
<b>Tricopter</b> 	-	✓	MAV	Μεταφορά φορτίου/ Αναζήτηση και διάσωση/ Χαρτογράφηση
<b>Quadcopter</b> 	-	✓	μUAV/MAV	Μεταφορά φορτίου/ Έρευνα και διάσωση/ Χαρτογράφηση
<b>Hexacopter</b> 	-	✓	μUAV/MAV	Μεταφορά φορτίου/ Έρευνα και διάσωση/ Χαρτογράφηση/ Πυρόσβεση/ Γεωργία
<b>Smart Dust</b> 	-	-	SD	Μετάδοση πληροφοριών/ Χαρτογράφηση
<b>Μη συμβατικά</b> 	-	-	μUAV	Τηλεπικοινωνίες

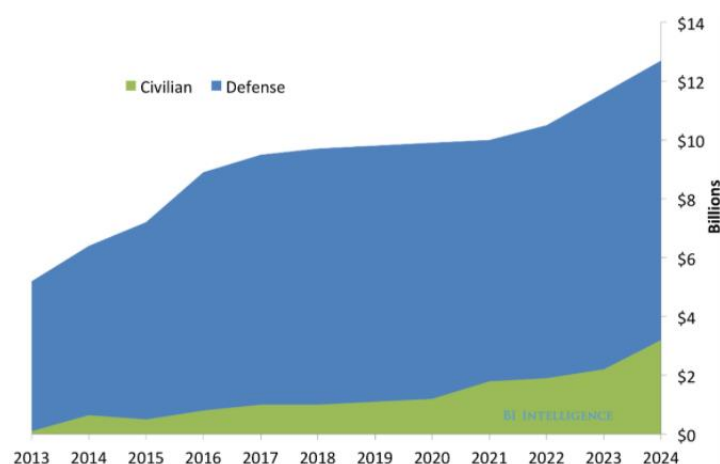
## 4. Εφαρμογές Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

Η πληθώρα κατηγοριών των drones, οι διαφορετικές διαμορφώσεις τους, τα διαφορετικά μεγέθη τους, αλλά και η πληθώρα αισθητήρων που μπορούν να προσαρτηθούν πάνω σε αυτά, τα καθιστούν κατάλληλα σε ένα ευρύ φάσμα αποστολών. Η προηγούμενη κατηγοριοποίηση, βάσει της διαμόρφωσης, δεν είχε μοναδικό σκοπό της την ανάδειξη των διαφορετικών κατηγοριών UAVs, αλλά να αποτελέσει έναν οδηγό για την αντιστοίχιση drone και εφαρμογής που αυτό μπορεί να εξυπηρετήσει.

Τα drones, παρόλο που δεν είναι μία καινούρια τεχνολογία, μέχρι πρότινος η έρευνα γύρω από αυτά αφορούσε εφαρμογές στρατιωτικού χαρακτήρα. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια τα drones με την τεχνολογική ανάπτυξή τους, χρησιμοποιούνται καθημερινά σε διάφορους τομείς με μοναδικό στόχο την ανθρώπινη διευκόλυνση. Τα drones έχουν πληθώρα δυνατοτήτων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αρκετές εφαρμογές, διευκολύνοντας τη ζωή μας και δημιουργώντας νέους δρόμους περαιτέρω εφαρμογής τους. Η επιτακτική ανάγκη για χρήση αυτής της τεχνολογίας μετατόπισε τα όρια και τους περιορισμούς από τις στρατιωτικές εφαρμογές σε τομείς όπως η γεωργία, η μεταφορά αγαθών, η φωτογραμμετρία, η τοπογραφία ακόμη και σε διαστημικές ή υποθαλάσσιες εφαρμογές.

Τα UAVs μπορούν να εφαρμοστούν ακόμη και σε θαλάσσια περιβάλλοντα για τη μελέτη θαλάσσιων οργανισμών και τον εντοπισμό πετρελαιοκηλίδων (Koski et al., 2009). Λόγω της έλλειψης διαδρόμου σε θαλάσσια οχήματα, όπως υποβρύχια και σκάφη, τα περισσότερα από τα drones εκτοξεύονται κάθετα σε αυτά τα περιβάλλοντα. Η εκτόξευση drones από το νερό εισήχθη αρχικά από Αμερικανούς ερευνητές το 2005 (Koh & Wich, 2012).

Ταυτόχρονα, η πρώτη χρήση των drones ήταν για στρατιωτικούς σκοπούς, όπως κατασκοπία εγκαταστάσεων, έρευνα και διάσωση πιλότων εντός πολεμικών ζωνών, προστασία συνόρων και διαχείριση πολεμικών επιχειρήσεων μέσω αναμετάδοσης εικόνας. Τα τελευταία χρόνια έχουν κατασκευαστεί στρατιωτικά UAVs στο μέγεθος αεροπλάνου για ρίψη βομβών και κατάρριψη στόχων. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το μέγεθος της αγοράς των drones για πολιτικούς και στρατιωτικούς σκοπούς.

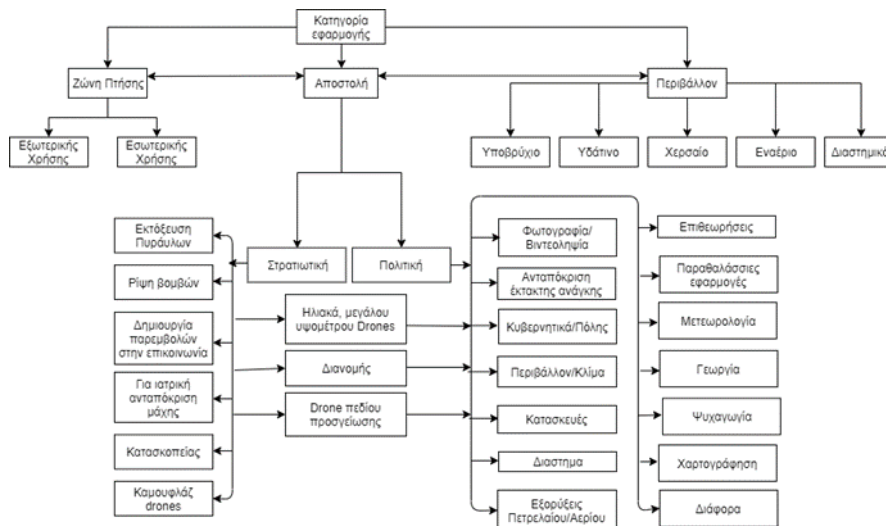


**Σχήμα 4. 1: Η αγορά των UAVs για πολιτικούς και στρατιωτικούς σκοπούς από Business Insider (Ballve, 2014)**

Όπως έχει γίνει φανερό από τα παραπάνω και όσα αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα UAVs, εξοπλισμένα με διάφορους αισθητήρες και νέες τεχνολογίες, μπορούν να εφαρμόσουν τη δυναμική τους σε πολλούς τομείς. Τα UAVs ξεπερνούν περιορισμούς προσβασιμότητας με την έννοια της χερσαίας προσέγγισης, περιορισμούς ταχύτητας και αξιοπιστίας. Για τη συλλογή δεδομένων με την έννοια της τηλεπισκόπησης, χρησιμοποιούνται είτε δορυφόροι είτε drones, το κάθε ένα με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του σε χαρακτηριστικά όπως η κάλυψη περιοχής, η φασματική, η χωρική και η χρονική ανάλυση (Barnes, 2018). Βέβαια, η αξία των drones είναι ακόμη πιο εμφανής σε χαρακτηριστικά όπως η μικρή κατανάλωση ενέργειας, η εύκολη και γρήγορη συλλογή δεδομένων και η εξαιρετική ανάλυση αυτών.

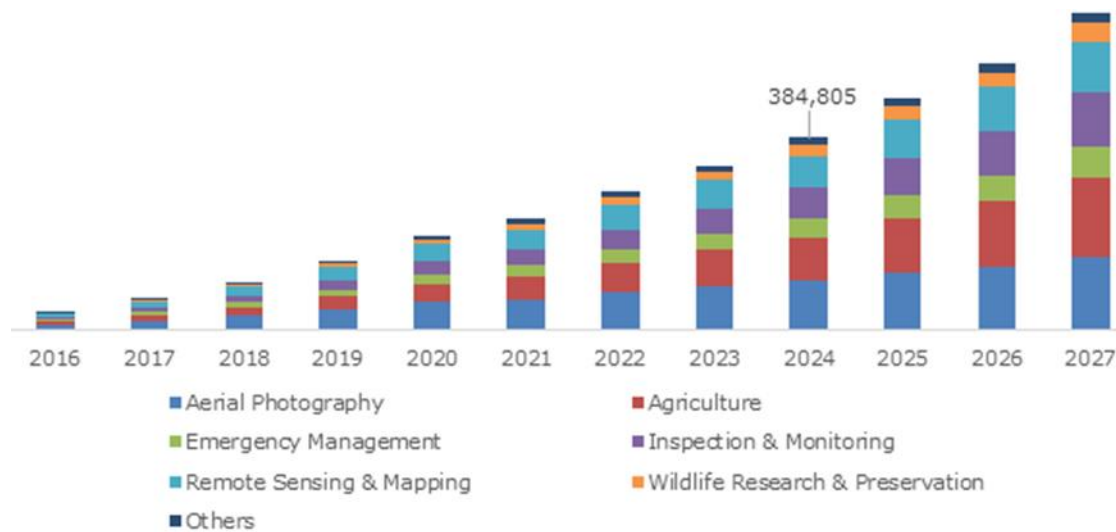
Η περισσότερο διαδεδομένη χρήση των drones είναι με την εφαρμογή μίας ενσωματωμένης κάμερας σε αυτά για εναέρια φωτογράφιση και βιντεοληψία για σκοπούς ψυχαγωγίας, για δραστηριότητες ερευνητικού χαρακτήρα ακόμη και για κινηματογραφικές ανάγκες. Με την κατάλληλη εφαρμογή ειδικών βάσεων στα drone, αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μεταφορά φορτίου σε τομείς των logistics ιδιαίτερα στο last-mile delivery, για μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού και φαγητού, ενώ με προσάρτηση ειδικού εξοπλισμού όπως ψεκαστήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ράντισμα καλλιεργειών στον τομέα της γεωργίας. Θερμικές κάμερες ή κάμερες με 3D λειτουργία μπορούν να προσαρμοστούν στα drones για σκοπούς χαρτογράφησης, ενώ με κάμερες νυχτερινής όρασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για σκοπούς περιπολίας. Βέβαια ο ρόλος των drones γίνεται ολοένα και περισσότερο ζωτικής σημασίας, αφού πλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αποστολές διάσωσης και αποστολές πυρόσβεσης, όπου η προσέγγιση από ξηράς είναι δύσκολη έως ανέφικτη. Τη χρονιά της πανδημίας με τον ιό COVID-19 στην Ινδία επιστρατεύθηκαν drones για τη δημόσια ασφάλεια και για την επιβολή των κανόνων τήρησης αποστάσεων, ενώ μπορούσαν να ψεκάζουν και να ελέγχουν περιοχές με σκοπό την απολύμανση και να μεταφέρουν ιατρικό υλικό και self tests (Martins, 2021).

Τα drones μπορούν να λειτουργήσουν είτε σε ανοιχτούς είτε σε κλειστούς χώρους. Έτσι, μία πρακτική κατηγοριοποίηση των εφαρμογών των drones θα μπορούσε να είναι εάν αυτά λειτουργούν σε ανοιχτά ή κλειστά περιβάλλοντα, όπου αντίστοιχα το μέγεθος τους θα τα καθιστούσε κατάλληλα στην εκάστοτε περίπτωση. Ακόμη, οι εφαρμογές των drones θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε στρατιωτικής ή πολιτικής φύσεως. Οι Hassanalian et al. (2017) κατηγοριοποίησαν τις εφαρμογές των drones σε τρεις κατηγορίες, την περιοχή πτήσης, την αποστολή τους και το περιβάλλον που αυτά δραστηριοποιούνται όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4.2. Η ζώνη πτήσης αναλύθηκε σε εξωτερική ή εσωτερική χρήση, το περιβάλλον σε υποβρύχιο, υδάτινο, χερσαίο, εναέριο και διαστημικό, ενώ η αποστολή υποδιαιρέθηκε σε στρατιωτικού ή πολιτικού χαρακτήρα, όπου κάθε μία από τις δύο τελευταίες είχε τις δικές της υποδιαιρέσεις.



**Σχήμα 4. 2: Κατηγοριοποίηση εφαρμογών των drones από τους (Hassanalian et al., 2017)**

Τα drones σήμερα βρίσκουν πεδίο χρήσης σε εκατοντάδες εφαρμογές. Μερικές από αυτές έχουν ήδη αναφερθεί, ενώ άλλες αφορούν αποστολές έκτακτης ανάγκης, την προστασία του περιβάλλοντος ή και την εφαρμογή τους στον κατασκευαστικό τομέα για την αναγνώριση χημικών, βιολογικών ή και πυρηνικών κινδύνων με τη βοήθεια των αισθητήρων τους. Δηλαδή τα drones πλέον βοηθούν τις διαδικασίες που ο άνθρωπος θα έφερνε εις πέρας ο ίδιος είτε με προσωπική κούραση είτε ακόμη και με προσωπικό ρίσκο της ζωής του και όλα αυτά με πολύ μικρότερο κόστος. Στο Σχήμα 4.3 φαίνεται ένα γράφημα των διαφόρων τομέων εφαρμογής των drones συναρτήσει του χρόνου με ορίζοντα το 2027.



**Σχήμα 4. 3: Παγκόσμια αγορά των drones βάσει εφαρμογής 2016-2027 από Global Market Insights (Wadhvani & Loomba, 2021)**

Από το γράφημα φαίνεται ότι γίνονται και προβλέπεται να γίνουν στο μέλλον αλματώδη βήματα στην εφαρμογή των drones σε τομείς όπως το remote sensing (τηλεπισκόπηση), στη διαχείριση έκτακτων αναγκών, αλλά και στους υπόλοιπους τομείς που μέχρι τώρα έχουν ανοίξει το δρόμο, όπως η αεροφωτογραφία. Αυτό το αναγνωρίζουν και οι εταιρείες, οι οποίες πλέον μετέχουν ενεργά στον καθορισμό της αγοράς και στην ένταξη των UAVs στην εφοδιαστική αλυσίδα με την τη λεγόμενη αναβάθμιση αυτής σε Supply Chain 4.0.

Παρακάτω θα παρουσιαστούν μερικές από τις πιο σημαντικές εφαρμογές των drones προκειμένου να αναδειχθούν οι δυνατότητες αυτών και το στάδιο, στο οποίο βρίσκονται σήμερα. Η παρακάτω ανάλυση δεν έχει στόχο τον ακριβή προσδιορισμό όλων των εφαρμογών των drones, αλλά περισσότερο να αναδείξει τις δυνατότητες αυτών και το πως μπορούν να εφαρμοστούν και σε άλλους τομείς, αφού τα UAVs αποτελούν το μέσο της τεχνολογικής εξέλιξης και όχι την ίδια την τεχνολογική εξέλιξη.

#### 4.1. Περιβαλλοντικές αποστολές

Τα drones χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο σε εφαρμογές σχετιζόμενες με το περιβάλλον. Τέτοιες εφαρμογές είναι η μελέτη της άγριας πανίδας, η μελέτη φαινομένων κλιματικής αλλαγής, όπως το λιώσιμο των παγετώνων, η χρονική δυναμική αυτών και οι διαθέσιμες ποσότητες νερού. Επίσης, μπορούν να μελετάνε τη βιοποικιλότητα σε οικοσυστήματα, όπως τροπικά δάση και ωκεανούς. Μία άλλη χρήση είναι η δασοκομία και η μελέτη περιοχών που έχουν πληγεί από πυρκαγιές ή αποψιλώσεις, αλλά και η μελέτη φύτευσης δέντρων. Στην τελευταία περίπτωση, τα drones, μετά τη συλλογή της πληροφορίας του εδάφους, δημιουργούν τρισδιάστατους χάρτες προκειμένου να κατασκευαστεί το σχέδιο σπόρων. Στη συνέχεια τα drones εκτελώντας το σχέδιο σπόρων καταθέτουν τους σπόρους στο έδαφος, όπου στη συνέχεια παρακολουθούν την ανάπτυξη τους (Mohan et al., 2021).

Τα drones, όπως και σε προηγούμενες εφαρμογές, μπορούν να βρίσκονται σε δυσπρόσιτες περιοχές, όπου θα ήταν δύσκολο για τον άνθρωπο να φτάσει σε αυτές ή να παραμείνει. Επίσης, μέσω αισθητήρων, μπορεί να ελέγχεται η ατμοσφαιρική ρύπανση κατοικημένων και μη περιοχών. Στην Πολωνία υπάρχει το φαινόμενο της καύσης σκουπιδιών για τη θέρμανση των κατοικιών, ενώ ταυτόχρονα το ποσοστό αναπνευστικών παθήσεων όλο και μεγαλώνει. Η εταιρεία SoftBlue ανέλυσε την ποιότητα του αέρα προερχόμενου από καμινάδες με τη βοήθεια drone. Η εταιρεία FlyTronic σε συνεργασία με το δήμο Κατοβίτσε και το Ινστιτούτο για την Χημική Επεξεργασία του Άνθρακα ξεκίνησαν το πρόγραμμα anti-smog drone. Στην πρώτη δοκιμή το 2018, δόθηκε το πρώτο πρόστιμο στα πρώτα 60 λεπτά πτήσης. Σε τέτοιου είδους εφαρμογές τα δεδομένα που συλλέγουν τα drones αναμεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο και πραγματοποιούνται οι κατάλληλες ενέργειες από τους αρμόδιους φορείς (Frankowski et al., 2020).

Μία άλλη χρήση των drones, σχετίζεται με την εκτίμηση της δραστηριότητας των ηφαιστειών και άλλων αντίστοιχων περιβαλλοντικών φαινομένων (Dunbabin & Marques, 2012). Στην Κίνα χρησιμοποιήσαν drones μικρού μεγέθους στο τέλος του 2013 για την μέτρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Xuefeng, 2015). Αισθητήρες που έχουν κατασκευαστεί για συλλογή δεδομένων ατμοσφαιρικής ρύπανσης και δημιουργίας μίας γεωγραφικής πληροφορίας για την ποιότητα του αέρα μετράνε ουσίες όπως CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, HCl, HCN, PH<sub>3</sub>, EtO, Cl<sub>2</sub> αλλά και τα μεγέθη των σωματιδίων (PM<sub>1</sub>, 2.5 και 10).

Τα drones, πέρα από τον αέρα, ελέγχουν και το νερό και ιδίως κοντά στις καλλιέργειες με σκοπό την παρακολούθηση της απορροής νιτρικών αλάτων, αιτία οξίνισης και ευτροφισμού του νερού. Το Υπουργείο Γεωργίας των ΗΠΑ έχει ξεκινήσει ένα έργο δειγματοληψίας νερού, ενώ ερευνητές έχουν εγκαταστήσει συστήματα υπό δοκιμή στο ισπανικό εθνικό πάρκο Doñana (Schwarzbach et al., 2014). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν drones σταθερών πτερυγίων, αλλά και πολυροτορικά για τη δειγματοληψία νερού από λίμνες ή θάλασσες. Για την ανάλυση του νερού χρησιμοποιούνται αισθητήρες θερμοκρασίας, αγωγιμότητας και αισθητήρες για το pH και της ποσότητας διαλυμένου οξυγόνου στο νερό.

Μία άλλη περιβαλλοντική χρήση είναι η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των βουνών, για την χαρτογράφηση τους και την εξαγωγή αποτελεσμάτων που θα προβλέπουν μέσω αλγορίθμων φυσικές καταστροφές όπως κατολισθήσεις, ροές λάσπης και χύματος (Lin et al., 2010). Τέλος, drones επιστρατεύονται και από τη βιομηχανία πετρελαίου προκειμένου να συμμορφωθούν στους περιβαλλοντικούς κανονισμούς (Rosenblum, 2015).

## 4.2. Γεωργία

Ένας άλλος τομέας εφαρμογής των drones είναι η γεωργία. Και σε αυτήν την περίπτωση τα drones μπορούν να λειτουργήσουν όπως και προηγουμένως για τη συλλογή και τη λήψη δεδομένων και εικόνων. Ακόμη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν προσθέτοντας ψεκαστές ραντίσματος ή ποτίσματος κάνοντας πιο εύκολη την εργασία για τον άνθρωπο. Στη γεωργία υπάρχουν συνέχεια προβλήματα ασθενειών, άρδευσης ή παρασίτων. Τα drones, συλλέγοντας φωτογραφίες, μπορούν να χαρτογραφήσουν τις καλλιέργειες και ύστερα από επεξεργασία των δεδομένων να βγάλουν δείκτες βλάστησης και να αναδείξουν τα σημεία που χρειάζονται θεραπεία. Έτσι, βγαίνει ένα σχέδιο πτήσης, ενώ ταυτόχρονα έχει υπολογιστεί η ποσότητα των σπόρων ή λιπασμάτων που θα εφαρμοστούν στα αντίστοιχα σημεία της καλλιέργειας.

Στη Θεσσαλονίκη, η εταιρεία Geosense προσπάθησε να βελτιώσει την ποιότητα στις καλλιέργειες βαμβακιού. Στην περιοχή της Σοφιάδας Φθιώτιδας με τη βοήθεια drones κατάφεραν να αυξήσουν την απόδοση και την αποτελεσματικότητα της καλλιέργειας μειώνοντας τις εισροές (νερό, λιπάσματα, φάρμακα). Έτσι, οι αγρότες βελτίωσαν την ποιότητα του τελικού προϊόντος (βαμβάκι) ενώ ήταν σε θέση πώλησης του σε υψηλότερη τιμή (Bollas et al., 2021). Άλλα στοιχεία που θα μπορέσουν να συλλέξουν τα drones είναι η πυκνότητα των καλλιεργειών και τα ύψη των φυτών. Με τον τρόπο αυτό προκύπτουν στατιστικά του χωραφιού και μία κατηγοριοποίηση αυτού σε ζώνες ανάλογης της φροντίδας που θα χρειαστεί.

Σε άλλες χώρες, όπως η Ινδία, η γεωργία αποτελεί το ένα τέταρτο του ΑΕΠ της χώρας, ενώ βρίσκεται στη δεύτερη θέση παγκοσμίως σε αγροτική παραγωγή. Όπως είναι φυσικό, μεγάλο μέρος του πληθυσμού απασχολείται στον συγκεκριμένο τομέα και συγκεκριμένα το 50% του εργατικού δυναμικού. Η χρήση φυτοφαρμάκων λιπασμάτων και άλλων χημικών ουσιών προκαλεί ασθένειες όπως αρθρίτιδα, άσθμα ακόμη και θάνατο. Ένα γεγονός που κινητοποίησε την κυβέρνηση της Ινδίας το 2018 και επέτρεψε την εφαρμογή drones στη γεωργία είναι ο θάνατος 272 αγροτών λόγω επαφής τους με επικίνδυνα φυτοφάρμακα. Έτσι, τα drones μπορούν να ψεκάζουν φυτοφάρμακα ή άλλες χημικές ουσίες για την βέλτιστη απόδοση των καλλιεργειών, χωρίς οι αγρότες να έρχονται σε επαφή με αυτά (Shaw et al. 2020)

Τέλος, δύο διαφορετικές εταιρείες, η DJI και η MMC κατασκευάζουν από το 2015 και διαθέτουν στην αγορά drones με σκοπό τον ψεκασμό καλλιεργειών. Σύμφωνα με την Deutsche Welle, η εταιρεία DJI πούλησε το 2018 στην Κίνα 20.000 drones με τη δυνατότητα ψεκασμού φυτοφαρμάκων (Thompson, 2019). Τα ίδια drones θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για έλεγχο πράσινων χώρων στο κέντρο της πόλης για παράσιτα. Τέτοιου είδους drones, τα οποία χρησιμοποιούνται στη γεωργία, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.1.



**Πίνακας 4. 1: Μοντέλα UAVs για χρήση στη γεωργία**

Μοντέλο	Χρήση	Φορτίο/Υψόμετρο/ Διάρκεια Πτήσης	Πηγή
Yamaha Aero Robot R-50	Έλεγχος και ψεκασμός καλλιεργείων	20 κιλά/-/ 1 ώρα	(Muchiri & Kimathi, 2016)
Yanmar KG-135, YH300 and AYH3	Ψεκασμός φυτοφαρμάκων	22.7 κιλά/ 1500 μέτρα/ 5 ώρες	(Huang, Thomson, Hoffmann, Lan & Fritz, 2013)
Σταθερών πτερυγίων	Ανίχνευση των διαφοροποιήσεων στη καλλιέργεια λόγω νερού (π.χ. βαμβάκι)	Ελαφριά κάμερα/ 90 μέτρα/ < 1 ώρα	(Sullivan, Fulton, Shaw & Bland, 2007)
Εξακόπτερο ESAFLY A2500-WH	Ανάλυση καλλιέργειας για εξαγωγή δεικτών βλάστησης	<2.5 κιλά/-/ 12'-20'	(Candiago, Remondino, De Giglio, Dubbini & Gattelli, 2015)

### 4.3. Εφοδιαστική Αλυσίδα

Μαζί με την εξέλιξη της τεχνολογίας και επομένως των επιμέρους εξαρτημάτων των drones, πέρα από τη δυνατότητα τους να συλλέγουν πληροφορίες, τα drones είναι πλέον ικανά να πετούν με επιπλέον φορτίο. Η παράδοση δεμάτων μέσω drone έχει αποκτήσει ενδιαφέρον από πολλές εταιρείες ανά τον κόσμο. Τα drones μπορούν να έχουν καθοριστικό ρόλο στον τομέα των logistics. Αποδεικνύεται ότι η μεταφορά προϊόντων, ιδιαίτερα στο κομμάτι του first και last mile, αποτελεί το πιο κοστοβόρο κομμάτι της εφοδιαστικής αλυσίδας, αλλά και το λιγότερο αποτελεσματικό, αφού χρειάζεται ανθρώπινο δυναμικό, οχήματα και χρόνο. Έτσι, αυτές οι δραστηριότητες τείνουν να αυτοματοποιηθούν. Εταιρείες, όπως η Amazon (Prime air), η DHL (parcelcopter) και η Google, έχουν εντάξει τα drones στην εφοδιαστική τους αλυσίδα (Wood, 2021).

Η Amazon, μέσω της υπηρεσίας Prime Air, μπορεί να στέλνει τις παραγγελίες της σε χρόνο μικρότερο των 30 λεπτών. Το δέμα φορτώνεται πάνω στο UAV το οποίο στη συνέχεια κατευθύνεται από την αποθήκη στον πελάτη βάσει του σχεδίου πτήσης και απελευθερώνει το δέμα στην πόρτα του, ενώ στη συνέχεια επιστρέφει στην αποθήκη. Η Amazon δηλώνει πως πάνω από το 80% των παραγγελιών της αφορά δέματα μικρότερα των 5 κιλών, φορτίο διαχειρίσιμο μέσω drone. Η UPS χρησιμοποιεί τα drones σε μεταφορές εμπορεύματος μεταξύ των αποθηκών της. Η εταιρεία Maersk χρησιμοποιεί τα drones για μεταφορά εμπορεύματος στα καράβια της, ενώ η εταιρεία DHL με το drone Parcelcopter ασχολήθηκε με την παράδοση ιατροφαρμακαμαζονευτικού υλικού σε παράκτιες περιοχές της Γερμανίας (Aitken, 2016).

Τα drones χρησιμοποιούνται στη μεταφορά φορτίου συνήθως εντός των εργοστασίων και των αποθηκών, στο first και last mile delivery, στη μεταφορά φαγητού σε αστικές περιοχές και στη μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού σε δυσπρόσιτες περιοχές.

Η εταιρεία Audi χρησιμοποιεί drones εντός των εγκαταστάσεων της για τη μεταφορά εξαρτημάτων μέχρι 2 κιλά, σε ενδιάμεσα σημεία της γραμμής παραγωγής, κατευθυνόμενο από αισθητήρες με μέγιστη ταχύτητα 8 χλμ/ώρα (Audi Logistics, 2016).

Το Wing drone της εταιρείας Alphabet, θυγατρικής της Google, κατάφερε τον Απρίλιο του 2019 να πιστοποιηθεί, από την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Αεροπορίας των ΗΠΑ, ως το πρώτο αερόχημα που έχει τη δυνατότητα απεριόριστων εμπορικών παραδόσεων. Η άδεια δεν περιόριζε τις πτήσεις πάνω από πλήθη ή αστικές περιοχές γεγονός που γίνεται πρώτη φορά εκτός πιλοτικού έργου. Τον Οκτώβριο του 2019 οι εταιρείες UPS και Matternet απέκτησαν και εκείνες άδεια από την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Αεροπορίας των ΗΠΑ για τη μεταφορά ιατροφαρμακευτικών προμηθειών στα νοσοκομεία της χώρας, ενώ το 2018, μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες, η SF Express, που βρίσκεται στην Κίνα, απέκτησε άδεια εμπορικής δραστηριότητας για το κομμάτι του last-mile delivery από το Υπουργείο Πολιτικής Αεροπορίας της Κίνας. Την ίδια άδεια απέκτησε και η αντίπαλος εταιρεία JD που της επιτρέπει να κάνει παραδόσεις μεγαλύτερες των 250 χλμ. μεταξύ νησιών στην Ινδονησία (Etherington, 2019).

Όπως φάνηκε οι εταιρείες αναγνωρίζουν την αξία των drones όχι μόνο για εμπορικούς σκοπούς, αλλά και για ζητήματα υγείας. Είναι πολλές οι περιπτώσεις που στη μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού μπορεί να υπάρξουν καθυστερήσεις, ενώ ο χρόνος είναι υψηλής σημασίας. Για παράδειγμα πολλές είναι οι περιπτώσεις αχρήστευσης εμβολίων λόγω καθυστέρησης, χωρίς τελικά αυτά να φτάνουν στον παραλήπτη. Η εταιρεία DHL έχει στη δυναμική της το Parcelcopter 4.0, το οποίο μπορεί να πετάξει με ταχύτητα έως 130 χλμ./ώρα με χρόνο πτήσης έως 40 λεπτά ικανό να μεταφέρει ιατρικές προμήθειες έως 4 κιλά (Sigler, 2018). Αντίστοιχα, η start-up εταιρεία Zipline από τη Silicon Valley δραστηριοποιείται στον τομέα μεταφοράς ιατροφαρμακευτικών προμηθειών σε 25 νοσοκομεία και κλινικές στη Ρουάντα από το 2014. Αυτή την περίοδο μεταφέρει πάνω από 16.000 δέματα κατά παραγγελία που έχουν να κάνουν με δείγματα αίματος. Ιατροφαρμακευτικά προϊόντα μπορούν να παραγγέλνονται μέσω κινητού τηλεφώνου και να παραδίδονται εντός 10 λεπτών (Baker, 2017).

Σε σενάριο που μελετήθηκε, αποδείχθηκε ότι με την εμπλοκή των drones υπάρχει αύξηση στη διαθεσιμότητα των εμβολίων στο 96% έναντι του 94%, και το ενδεικτικό κόστος ανά δόση μειώθηκε σε 0.33\$ έναντι 0.41\$, μειώνοντας την δόση κατά 0.08\$/δόση (Tavana et al., 2016; Haidari et al., 2016). Σχετικά με τη μείωση του κόστους οι ερευνητές αναφέρουν πως για να είναι συμφέρουσα η μεταφορά εμβολίων μέσω drone, αυτό πρέπει να κουβαλάει το λιγότερο 0,4 λίτρα εμβολίων ενώ παράλληλα αν δεν υπάρχουν καθυστερήσεις και τα drones μεταφέρουν 1,5 λίτρο εμβολίων σε κάθε πτήση αυτή μπορεί να κοστίζει έως 8,93\$ (Desmon, 2016).

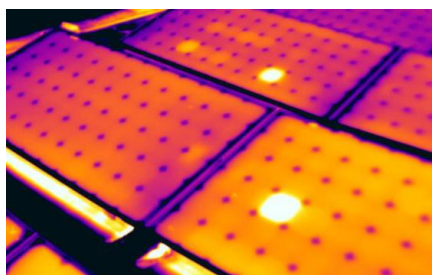
Ο κλάδος στην μεταφορά φορτίου με τη βοήθεια UAVs βρίσκεται σε κομβικό σημείο όπου πολλά πιλοτικά προγράμματα έχουν πραγματοποιηθεί και μένει η αποδοχή και η εξάπλωση αυτής της τεχνολογίας. Περιορισμοί στην ευρεία χρήση drone για τέτοιους σκοπούς είναι συνήθως η νομοθεσία της κάθε χώρας, η οποία ρυθμίζεται ταυτόχρονα με την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Μέσω της μηχανικής μάθησης (Machine Learning) τα drones αποκτούν μεγαλύτερη αυτονομία αναγνωρίζοντας εμπόδια στη διαδρομή πτήσης τους και σχεδιάζοντας εκ νέου τη διαδρομή τους. Η εταιρεία Qualcomm μέσω ενός επεξεργαστή, με βάρος 12 γραμμάρια, επιτρέπει στο drone να παίρνει αποφάσεις χωρίς τη λειτουργία GPS. Ερευνητές ανέπτυξαν συστήματα πλοήγησης χωρίς GPS όταν το σήμα δεν είναι διαθέσιμο ή είναι αναξιόπιστο. Ερευνητές από την εταιρεία Nvidia βρίσκονται σε διαδικασία ανάπτυξης συστήματος πλοήγησης που χρησιμοποιεί σαν εργαλείο την οπτική αναγνώριση. Πιστεύεται πως είναι το πιο σταθερό σύστημα πλοήγησης μέχρι σήμερα (Ridden, 2017).

#### 4.4. Κατασκευές

Στον τομέα των κατασκευών υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την παρακολούθηση των εγκαταστάσεων και των έργων με τη χρήση drone. Στα εργοτάξια αλλά και ευρύτερα σε εγκαταστάσεις μπορεί να υπάρχει μία ανωμαλία, η οποία να μη μπορεί να ανιχνευθεί με γυμνό μάτι. Τέτοια παραδείγματα είναι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, δίκτυα μεταφοράς αερίου, κεραιές κινητής τηλεφωνίας. Σε χρήσεις εποπτείας σε τέτοια έργα τα drone μπορούν να αναμεταδίδουν σε πραγματικό χρόνο την πληροφορία. Έτσι οι υπεύθυνοι των έργων μπορούν να εποπτεύουν χωρίς να βρίσκονται στο χώρο. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας όπου υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης πλοήγησης του drone βάσει της γραμμής μεταφοράς (Jones, 2005; Li et al., 2010).

Άλλες περιπτώσεις παρακολούθησης με τη χρήση drone σχετίζονται με την εποπτεία για την ανίχνευση διαρροών, ενώ προτείνεται η χρήση drone μικρού μεγέθους εξοπλισμένου με αισθητήρα αερίων για διαρροές σε δίκτυα μεταφοράς μεθανίου. Ταυτόχρονα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν θερμικές κάμερες για την αναγνώριση διαφοροποιήσεων στη θερμοκρασία και την υγρασία, οι οποίες ίσως δείχνουν αστοχίες και φθορές στην εγκατάσταση. Τέτοιες επιθεωρήσεις έχουν σκοπό τον εντοπισμό ηλεκτρομηχανικών βλαβών για υπερθέρμανση ή φθορά στη συνδεσμολογία των ηλιακών πάνελ και των ανεμογεννητριών. Στη Ρουμανία, τα drones χρησιμοποιούνται ως εναλλακτική μέθοδος για την επιθεώρηση των φωτοβολταϊκών πάνελ και την αναγνώριση ηλιακών κυψελών χαμηλής απόδοσης που ανιχνεύονται με θερμική σάρωση (Skyline Drones, 2021).



**Σχήμα 4. 4: Επιθεώρηση ηλιακών πάνελ με drone (Skyline Drones, 2021)**

Επίσης, η θερμική διαφορά μεταξύ υδάτων μπορεί να υποδείξει την παράνομη αποβολή λυμάτων βιομηχανίας. Το φάσμα εφαρμογών για εποπτεία και επιθεώρηση εγκαταστάσεων είναι πραγματικά μεγάλο. Έχει υπολογιστεί ότι μία εταιρεία που προσφέρει υπηρεσίες επιθεώρησης, εποπτείας και ανάλυσης δεδομένων βασισμένη στα drones μπορεί να φτάσει τα 6 δισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2024 (Patel, 2016).

Υπάρχουν θερμικές κάμερες (8–15  $\mu\text{m}$ ) που μπορούν να αξιολογήσουν την ενεργειακή απόδοση κτιρίων. Το 2016 η Pacific Gas και η Electric Company εφάρμοσαν ελέγχους με drones σε εγκαταστάσεις ηλεκτρισμού και αερίου για μεγαλύτερη ασφάλεια και αξιοπιστία. Οι επιθεωρήσεις αφορούσαν 70.000 τετραγωνικά μίλια έκτασης προκειμένου να βρεθούν διαρροές μεθανίου. Μία ακόμη εταιρεία που χρησιμοποιεί drones για την ανίχνευση τυχόν διαρροών είναι η Cyberhawk. Ταυτόχρονα χρησιμοποιείται ο BlueVu, ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης για τη επεξεργασία των δεδομένων από τον οποίο προκύπτει η ανάλυση των φωτογραφιών και η εξαγωγή αποτελεσμάτων (Antunes, 2016; Cohen, 2018). Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης δύνανται να βοηθήσουν τα drones στην εξαγωγή καλύτερων αποτελεσμάτων. Η εταιρεία AT&T χρησιμοποιεί τέτοιους αλγορίθμους σε βίντεο υψηλής ανάλυσης για την ανίχνευση φθορών (Gilbert Vice President of Advanced Technology & Systems at AT&T Labs, 2017).

Μία άλλη χρήση των drones στον τομέα των κατασκευών είναι αυτή της τοπογραφίας. Μέσω της φωτογραμμετρίας, δηλαδή μέσω της λήψης εικόνων και μετατροπής αυτών σε τρισδιάστατη απεικόνιση, υπάρχουν σημαντικά πλεονεκτήματα για την εκπόνηση μελετών, τη σύνταξη τοπογραφικών διαγραμμάτων αλλά και τη διαστασιολόγηση βιομηχανικών μηχανημάτων. Μέσω αυτής της ψηφιοποίησης μπορούν να μελετηθούν έργα από την πλευρά της στατικότητας, της αντοχής υλικών αλλά και να γίνουν ακόμη και υπολογισμοί επιμετρήσεων. Η μέθοδος της φωτογραμμετρίας μπορεί να εφαρμοστεί σε οτιδήποτε θέλουμε τη ψηφιακή μορφή του (Banić et al., 2019).

## 4.5. Τηλεπικοινωνίες

Άλλος ένας τομέας εφαρμογής των drones είναι οι τηλεπικοινωνίες. Τα drones μπορούν να προσφέρουν κάλυψη σήματος σε δυσπρόσιτες περιοχές ή σε στιγμές έκτακτης ανάγκης που πέφτει η κάλυψη από τα κυψελωτά δίκτυα (Bure et al., 2015). Επίσης, μπορούν να λειτουργούν και ως συμπληρωματικοί πομποί με την ήδη υπάρχουσα κάλυψη σήματος. Drones, που έχουν χρησιμοποιηθεί για τέτοιους σκοπούς, είναι το Falcon Quadrotor ή μπαλόνια σε μορφή αερόστατου δεμένα στο έδαφος.

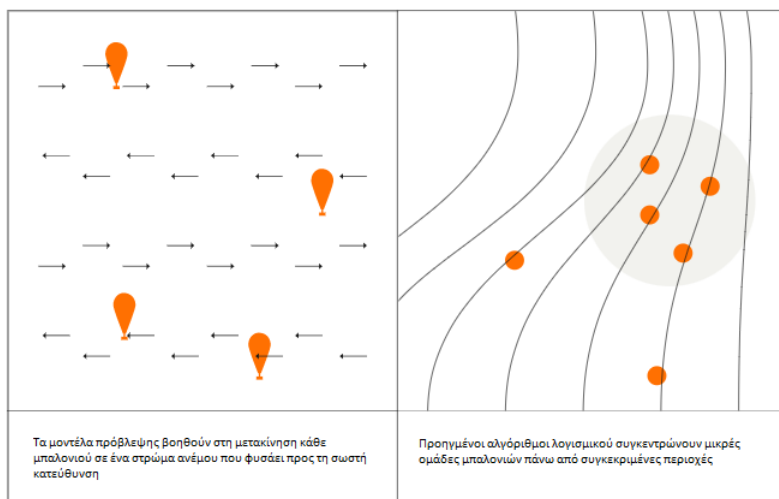
Τα UAVs μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πομποί του δικτύου σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου μία πλήρης εγκατάσταση κεντρικού δικτύου μπορεί να μην είναι εφικτή, προκειμένου να παρέχεται συνδεσιμότητα στο κεντρικό δίκτυο. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αναμεταδότες για την ασύρματη κάλυψη δύο ή περισσότερων σημείων. Συγκεκριμένα, προτάθηκε μία νέα τεχνική αναμετάδοσης όπου ο κόμβος αναμετάδοσης βρίσκεται πάνω στο UAV, το οποίο κινείται με μεγάλη ταχύτητα σε τροχιά, βελτιώνοντας έτσι την κάλυψη σήματος (Zeng et al., 2016).

Ένα τέτοιο παράδειγμα drone είναι το Facebook Aquila, ένα ηλιακό drone που αναπτύχθηκε από τη Facebook για χρήση ως ατμοσφαιρικός δορυφόρος, προκειμένου να λειτουργεί ως σταθμός αναμετάδοσης για παροχή πρόσβασης στο διαδίκτυο σε απομακρυσμένες περιοχές. Το 2016, ολοκληρώθηκε η πρώτη επιτυχημένη πτήση του Aquila στη Γιούμα της Αριζόνα. Η αρχική αποστολή ήταν τα 30 λεπτά πτήσης, ενώ τελικά κρατήθηκε στον αέρα για 96 λεπτά (Yuniarti, 2018).

Μία διαφορετική εφαρμογή έρχεται από την εταιρεία Loon (Loon, 2021), η οποία ασχολήθηκε με την διαδικτυακή κάλυψη αποκομμένων περιοχών. Αντί να προσπαθήσει να επεκτείνει τη διαδικτυακή κάλυψη με παραδοσιακές επίγειες υποδομές, όπως καλώδια οπτικών ινών ή πύργους κινητής τηλεφωνίας, η Loon έθεσε σε λειτουργία ένα δίκτυο αερόστατων. Τα αερόστατα-μπαλόνια πολυαιθυλενίου, μεγέθους ενός γηπέδου τένις, άντεχαν για εκατοντάδες ημέρες στις συνθήκες της στρατόσφαιρας, κινούμενα κατά μήκος της, επεκτείνοντας τη συνδεσιμότητα του διαδικτύου σε αγροτικές περιοχές, καλύπτοντας τα κενά κάλυψης και βελτιώνοντας την ανθεκτικότητα του δικτύου σε περιπτώσεις καταστροφής. Ο εξοπλισμός επικοινωνιών τροφοδοτούνταν από τους ηλιακούς συλλέκτες κατά τη διάρκεια της ημέρας και οι μπαταρίες φορτιζόνταν κατά τη νυχτερινή λειτουργία. Η ομάδα εξέπεμψε την πρώτη σύνδεση LTE (Long Term Evolution) από τη στρατόσφαιρα σε ένα σχολείο της Βραζιλίας, δείχνοντας ότι ήταν δυνατή η απευθείας σύνδεση μεταξύ μπαλονιών με τα κινητά τηλέφωνα των ανθρώπων.

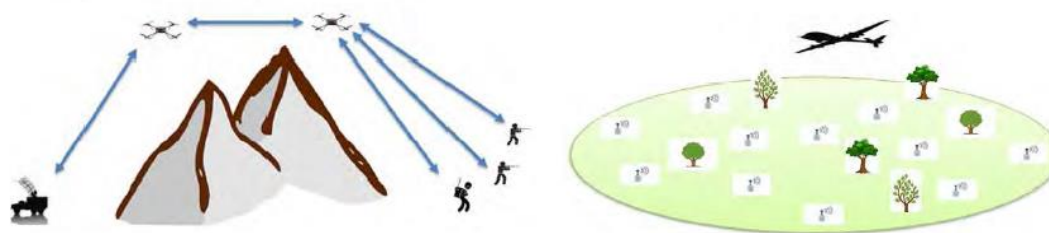
Τα μοτίβα ανέμων στη στρατόσφαιρα είναι πολυεπίπεδα, με τους επικρατούντες ανέμους σε ένα ύψος να διαφέρουν σε ταχύτητα και κατεύθυνση από εκείνους σε ελαφρώς διαφορετικά ύψη. Μία από τις αρχικές ιδέες της ομάδας Loon ήταν να εκμεταλλευτεί αυτή τη μεταβλητότητα για να "πλεύσει" μαζί με τους ανέμους, αντί να πετάξει ανάντη σε

αυτούς. Σχεδιάζοντας ένα αερόστατο ικανό να ρυθμίζει το ύψος του πλάνοντας τον επιθυμητό άνεμο, η Loon μπορούσε να πλέει στη στρατόσφαιρα χωρίς πρόωση, φτάνοντας σε τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο. Για την αναγνώριση χρήσιμων μοτίβων ανέμου, η Loon χρησιμοποίησε προηγμένα μοντέλα πρόβλεψης για τη δημιουργία διαδραστικών χαρτών του ουρανού.



**Σχήμα 4. 5: Τρόπος πτήσης μπαλονιών-αερόστατων στη στρατόσφαιρα από Loon (Loon, 2021)**

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η επικοινωνία ασύρματων αισθητήρων εδάφους οι οποίοι συλλέγουν δεδομένα και τα μεταδίδουν μέσω των drone. Έτσι, δεν χρειάζεται συνεχής επίβλεψη, ενώ με ένα drone είναι δυνατό να επιβλέπονται παραπάνω από μία εγκαταστάσεις. Αυτή η χρήση των drones εφαρμόζεται συνήθως στη γεωργία.



**Σχήμα 4. 6: Σενάρια κάλυψης της επικοινωνίας μέσω drone από τους Shakhathreh et al. (2019)**

UAVs συνδεδεμένα στο κυψελωτό δίκτυο είναι μία τεχνολογία που σιγά σιγά αρχίζει να βρίσκει εφαρμογή αλλά ακόμη βρίσκεται σε πιλοτικό στάδιο. Με αυτή την τεχνολογία διασφαλίζεται η αξιοπιστία επικοινωνίας μεταξύ UAV και GCS ανεξάρτητα από την απόσταση και της τοποθεσία.

## 5. Ανθρωπιστική Εφοδιαστική

Η εφοδιαστική ανθρωπιστικής βοήθειας, είναι μείζονος σημασίας στην αποτελεσματικότητα και στην ταχύτητα των διαδικασιών και των σχεδίων ανακούφισης σε επείγουσες καταστάσεις (Van Wassenhove, 2006). Οι διαδικασίες που αφορούν το κομμάτι της εφοδιαστικής αλυσίδας για την αντιμετώπιση επειγουσών καταστάσεων προερχόμενων από καταστροφές αφορούν το 80% των συνολικών διαδικασιών (Tomasini & Van Wassenhove, 2009). Παράλληλα, όλες αυτές οι διαδικασίες ανακούφισης απαιτούν οχήματα, εξοπλισμό και προσωπικό. Για παράδειγμα, στον σεισμό της επαρχίας Σετσουάν στην Κίνα τον Μάιο του 2008, στάλθηκαν έξι αεροπλάνα μεταφοράς φορτίου και 19 ελικόπτερα εντός 24 ωρών, επανδρωμένα με 5.800 στρατιωτικούς ιατρούς, διασωστικό προσωπικό και 150 τόνους προμηθειών στην πληγείσα περιοχή.

Παρόλο που η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει καταστήσει εφικτή την επίλυση προβλημάτων σε τομείς υγείας και διαχείρισης σοβαρών καταστάσεων για το κοινωνικό σύνολο, πιστεύεται ακόμη ότι τα αντανακλαστικά της κοινωνίας, σε μεγάλες φυσικές ή ανθρωπογενείς καταστροφές, δεν είναι επαρκή για την αντιμετώπιση τους. Έτσι, οι μεγάλες καταστροφές πάντοτε άφηναν το αποτύπωμά τους στις κοινωνίες. Οι άνθρωποι προσπαθούν να προετοιμάσουν τους εαυτούς τους δημιουργώντας κατάλληλες υποδομές και επιχειρησιακές λειτουργίες για την αντιμετώπιση και την ανακούφιση από τέτοιες καταστάσεις είτε πριν την εκδήλωση τους είτε μετά. Δημιουργώντας τέτοιου είδους αντανακλαστικά και υποδομές μπορεί να μετριαστεί το αποτύπωμα τέτοιων καταστροφών. Η κοινωνία είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία καλύτερων προληπτικών σχεδίων και σχεδίων ανακούφισης.

Ένας βασικός συντελεστής τέτοιων σχεδίων είναι η εφοδιαστική αλυσίδα για την υλικοτεχνική υποστήριξη σχεδίων ανακούφισης σε τέτοιες καταστάσεις. Επομένως, η εφοδιαστική αλυσίδα ανθρωπιστικής βοήθειας, μπορεί να οριστεί ως ένα παρακλάδι της εφοδιαστικής που ασχολείται με τη διαχείριση καταστροφών συμπεριλαμβανομένων διαφόρων δραστηριοτήτων όπως η προμήθεια, αποθήκευση και μεταφορά τροφίμων, νερού, φαρμάκων και άλλων προμηθειών, όπως ανθρωπίνου δυναμικού και απαραίτητου εξοπλισμού πριν και μετά τις καταστροφές. Οι Thomas και Korczak (2005) ορίζουν την εφοδιαστική αλυσίδα ανθρωπιστικής βοήθειας, η οποία ασχολείται με τις φάσεις ετοιμότητας και αντιμετώπισης ενός συστήματος διαχείρισης καταστροφών ως:

“Μία διαδικασία σχεδιασμού, υλοποίησης και ελέγχου της αποτελεσματικής, οικονομικά αποδοτικής ροής και αποθήκευσης αγαθών και υλικών, καθώς και των σχετικών πληροφοριών, από το σημείο προέλευσης στο σημείο κατανάλωσης με σκοπό την ανακούφιση ευάλωτων ατόμων. Η λειτουργία αυτή περιλαμβάνει μια σειρά δραστηριοτήτων, όπως είναι η προετοιμασία, ο σχεδιασμός, η προμήθεια, η μεταφορά, η αποθήκευση, η παρακολούθηση, ο εντοπισμός, και ο εκτελωνισμός.”

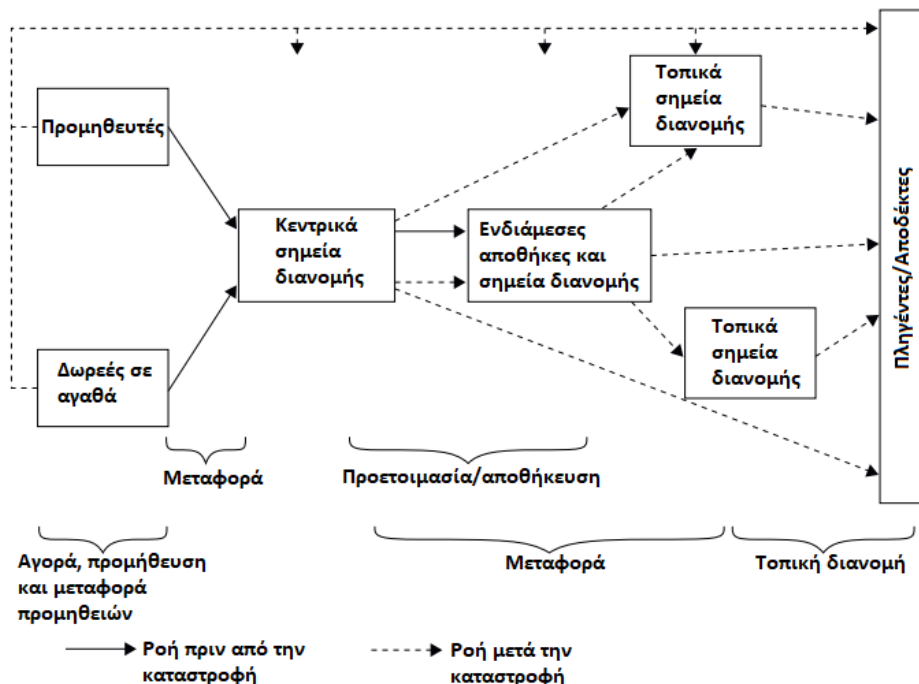
Αν και η επιστήμη της εφοδιαστικής έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως στις εμπορικές εφοδιαστικές αλυσίδες, αποτελεί σημαντικό εργαλείο και σε επιχειρήσεις για τη διαχείριση καταστροφών. Η ανθρωπιστική εφοδιαστική είναι ένας κλάδος της εφοδιαστικής με ειδίκευση στην οργάνωση και την αποθήκευση προμηθειών κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών ή σύνθετων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης στην πληγείσα περιοχή και στους πληγέντες. Ωστόσο, ο ορισμός αυτός επικεντρώνεται μόνο στη φυσική ροή των αγαθών στους τελικούς προορισμούς, ενώ στην πραγματικότητα τα humanitarian logistics είναι περισσότερο περίπλοκα και περιλαμβάνουν την πρόβλεψη και τη βελτιστοποίηση των πόρων, τη διαχείριση των αποθεμάτων και την ανταλλαγή πληροφοριών. Έτσι, ένας καλός

ευρύτερος ορισμός της ανθρωπιστικής εφοδιαστικής από τους Thomas και Korczak (2005) είναι:

“Η διαδικασία σχεδιασμού, υλοποίησης και ελέγχου της αποτελεσματικής, οικονομικά αποδοτικής ροής και αποθήκευσης αγαθών και υλικών, καθώς και των σχετικών πληροφοριών, από το σημείο προέλευσης στο σημείο κατανάλωσης με σκοπό την ανακούφιση των δεινών των ευάλωτων ανθρώπων.”

Η δομή της εφοδιαστικής αλυσίδας για ανθρωπιστική βοήθεια αποτελείται από τρία βασικά στάδια: την απόκτηση προμηθειών, την τοποθέτηση και αποθήκευσή τους και τέλος την μεταφορά τους, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1 (Tomasini & Van Wassenhove, 2009). Το πρώτο στάδιο σε κάθε εφοδιαστική αλυσίδα ανθρωπιστικής βοήθειας είναι η απόκτηση και η προμήθεια όλου του απαραίτητου υλικοτεχνικού εξοπλισμού. Κάθε οργανισμός που έχει ως στόχο την ανακούφιση των πληγείσων περιοχών θα πρέπει να είναι σε θέση να αποκτήσει τις απαραίτητες προμήθειες μειώνοντας τα κόστη αγοράς (δεδομένου του πληθωρισμού των τιμών στις τοπικές αγορές μετά τις καταστροφές), αποκτώντας τις προμήθειες εντός συγκεκριμένων χρονικών πλαισίων και μειώνοντας τους χρόνους παράδοσης (Balcik et al., 2010). Μετά την απόκτηση του απαραίτητου υλικοτεχνικού εξοπλισμού για τη διαχείριση των καταστροφών πριν και μετά αυτές συμβούν, οι οργανισμοί πρέπει να τοποθετήσουν και να αποθηκεύσουν τις προμήθειες στις πληγείσες ή επηρεασμένες, σε καταστροφές, περιοχές. Σε αυτό το στάδιο η δυσκολία έγκειται στο υψηλό κόστος δημιουργίας και διαχείρισης μόνιμων αποθηκών και της διαχείρισης των προμηθειών (Balcik et al., 2010), ενώ επίσης υπάρχει μεγάλος κίνδυνος δημιουργίας ζημιών στις αποθήκες λόγω των καταστροφών.

Το στάδιο της μεταφοράς στην περίοδο μετά την καταστροφή είναι αρκετά απαιτητικό και δύσκολο ακόμη και αν έχουν παρθεί προληπτικά μέτρα και αποφάσεις (Balcik & Beamon, 2008). Αυτό συμβαίνει διότι ακόμη και οι δομές που έχουν δημιουργηθεί για την αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων έχουν δεχθεί και οι ίδιες ζημιές, ενώ οι καιρικές και γεωγραφικές συνθήκες συντελούν και αυτές στη δυσκολία του σταδίου μεταφοράς.



Σχήμα 5. 1: Η δομή της εφοδιαστικής αλυσίδας για ανθρωπιστική βοήθεια (Balcik et al., 2010)

## 5.1. Απαιτούμενα αγαθά και εξοπλισμός στην Ανθρωπιστική Εφοδιαστική Αλυσίδα

Έπειτα από μία καταστροφή υπάρχει μεγάλη ανάγκη πολλών ειδών, όπως “κιτ” πρώτων βοηθειών, γάζες, φαγητό, στέγη για τους πληγέντες και πολλά άλλα. Βάσει του Παναμερικανικού και του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Pan American Health Organization, 2001) υπάρχει μία λίστα με είδη πρώτης ανάγκης μετά από μία καταστροφή, χωρίς να αποτελεί περιορισμό και για άλλα είδη (Nikbaksh & Farahani, 2011):

- Φαγητό
- Νερό και είδη υγιεινής
- Είδη περιβαλλοντικής υγείας (π.χ. εξοπλισμός και είδη επεξεργασίας νερού)
- Φάρμακα (συμπεριλαμβανομένων τόσο των γενικών φαρμακευτικών προϊόντων όσο και των ειδικών φαρμακευτικών προϊόντα πιθανών σε περιπτώσεις επιδημίας)
- Φαρμακευτικά κιτ και προμήθειες για την υποστήριξη των διαδικασιών υγειονομικής περίθαλψης
- Νοσοκομεία πεδίου
- Ρούχα και κουβέρτες
- Αντικείμενα που σχετίζονται με βρέφη και παιδιά (π.χ. στιγμιαίο γάλα, πάνες και παιχνίδια)
- Καταφύγια και εγκαταστάσεις προσωρινής στέγασης (π.χ. σκηνές)
- Εξοπλισμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (π.χ. γεννήτριες)
- Καύσιμο (π.χ. άνθρακας, φυσικό αέριο ή πετρέλαιο)
- Εξοπλισμός και σκεύη κουζίνας
- Προμήθειες καθαρισμού
- Γεωργικά προϊόντα
- Ειδικός εξοπλισμός για χειρισμό επικίνδυνων υλικών
- Εξοπλισμός επικοινωνίας
- Εξοπλισμός πυρόσβεσης
- Εξοπλισμός και οχήματα απομάκρυνσης απορριμμάτων
- Κατασκευαστικός εξοπλισμός και οχήματα

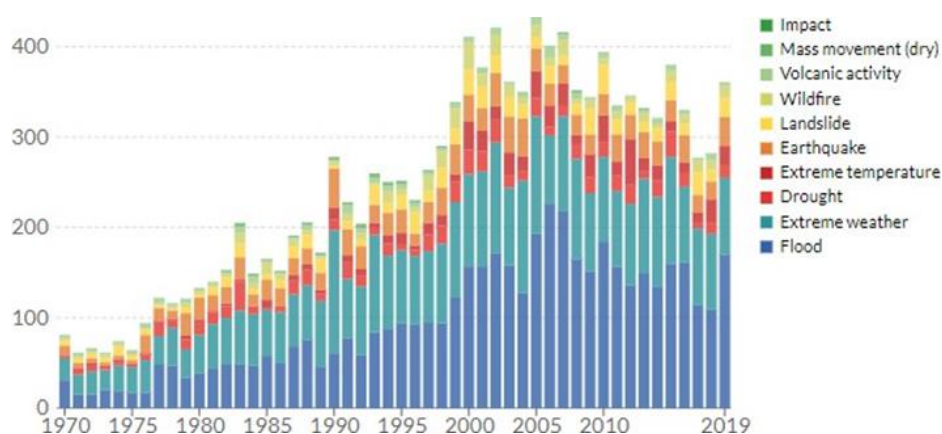
Το έναυσμα για την μεγαλύτερη ενασχόληση ακαδημαϊκών και επαγγελματιών με το τομέα της εφοδιαστικής αλυσίδας στην παροχή ανθρωπιστικής βοήθειας αποτέλεσε ο σεισμός των 9,3 ρίχτερ που δημιούργησε το τσουνάμι του 2004, όπως και ο τυφώνας Κατρίνα το 2005 (Konács & Spens, 2007). Βέβαια έρευνες δείχνουν πως ο αριθμός των φυσικών και ανθρωπογενών καταστροφών θα πενταπλασιαστεί τα επόμενα 15 χρόνια από σήμερα (Thomas & Korczak, 2005). Έτσι η μελέτη και εφαρμογή ευέλικτων και ικανών συστημάτων της εφοδιαστικής που να μπορούν να αντιμετωπίσουν διάφορα είδη καταστροφών, κινδύνων και διαταραχών μεγάλης κλίμακας στις ανθρώπινες ζωές και την οικονομία είναι επιτακτική (Konács & Spens, 2009). Ως εκ τούτου, η ανθρωπιστική διοικητική μέριμνα αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πτυχές των συστημάτων διαχείρισης καταστροφών.



## 5.2. Είδη Ανθρωπιστικών Κρίσεων

Κάθε κίνδυνος που μπορεί να έχει επιπτώσεις στην ανθρώπινη ζωή ή στο περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει σε μία ανθρωπιστική κρίση/ καταστροφή. Τέτοιες καταστροφές μπορούν να δημιουργήσουν δυσφορία αλλά και πόνο και να διαταράξουν τις ισορροπίες της κοινωνίας. Για το λόγο αυτό, προκειμένου να είναι δυνατή η αντιμετώπιση μεγάλων καταστροφών, θα πρέπει οι άνθρωποι συλλογικά να προετοιμάζονται εκ των προτέρων δημιουργώντας κατάλληλες δομές και σχέδια δράσης. Ο Russell πιστεύει ότι οι μόνες αληθινές καταστροφές είναι οι οικονομικές καταστροφές (Russell, 2005). Παρομοίως, ο Akkihal (2006) εξηγεί ότι οι καταστροφές συμβαίνουν όταν τα περιθώρια μεταβολής των οικολογικών και γεωλογικών συστημάτων υπερβαίνουν τα όρια των αλλαγών που μπορεί να αφομοιώσει η κοινωνία. Επομένως, η επιτυχία των πρακτικών ανθρωπιστικής εφοδιαστικής μπορεί να θεωρηθεί ότι εξαρτάται από τις κοινωνικοοικονομικές συνθήκες της εκάστοτε κοινωνίας.

Κατά γενική άποψη, οι καταστροφές μπορούν να διακριθούν σε δύο κύριες κατηγορίες: φυσικές και ανθρωπογενείς. Οι φυσικές καταστροφές είναι άμεσες ή έμμεσες συνέπειες φυσικών φαινομένων. Η προέλευση τους μπορεί να είναι υδρομετεωρολογικής, γεωλογικής ή βιολογικής φύσεως. Στο Σχήμα 5.2 φαίνεται ο αριθμός των φυσικών καταστροφών ανά κατηγορία τα τελευταία 50 χρόνια. Στο σχήμα φαίνεται ξεκάθαρα ένα διακριτό μοτίβο αύξησης των υδρομετεωρολογικών καταστροφών σε σύγκριση με άλλους τύπους φυσικών καταστροφών που μπορούν να αποδοθούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη και την κλιματική αλλαγή. Παραδείγματα φυσικών καταστροφών είναι οι καταιγίδες, οι σεισμοί, οι πλημμύρες, οι ξηρασίες, οι επιδημίες και οι ηφαιστειακές δραστηριότητες. Από την άλλη πλευρά, οι ανθρωπογενείς ή τεχνολογικές καταστροφές είναι άμεσες συνέπειες των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, είτε αυτές είναι σκόπιμες (π.χ. πόλεμοι και τρομοκρατικές επιθέσεις) είτε όχι (π.χ. βιομηχανικά ατυχήματα και αστοχίες υποδομών).



**Σχήμα 5. 2: Φυσικές καταστροφές των τελευταίων 50 ετών από (Ritchie & Roser, 2014)**

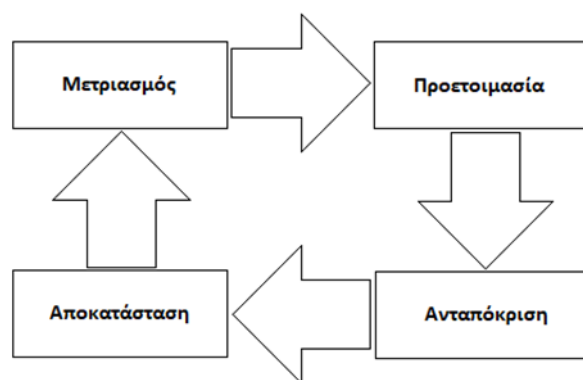
Η ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων των καταστροφών θα έκανε ευκολότερα αντιληπτές τις συνέπειες τους. Οι πρώτοι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάλυση κάθε καταστροφής είναι συνήθως ο αριθμός των ανθρώπινων θυμάτων και των αγνοουμένων. Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι πιο συνήθεις φυσικές καταστροφές και οι επιπτώσεις τους βαθμολογούμενες με 1 εάν έχει άμεση επιρροή η καταστροφή στην επίπτωση αλλιώς με 2.

**Πίνακας 5. 1: Συνέπειες των πιο συνήθων φυσικών καταστροφών (Nikbakhsh & Farahani, 2011)**

Επιπτώσεις	Φυσικές Καταστροφές				
	Σεισμοί	Κυκλώνες	Πλημμύρες	Φωτιές	Ξηρασία και λιμοί
Θύματα	1	1	1	1	1
Τραυματισμένοι και άρρωστοι	1	1	1	1	1
Επιδημίες	-	1	1	-	-
Καταστροφή γεωργικών καλλιεργειών	-	1	1	1	1
Καταστροφή κατοικιών	1	1	1	1	-
Κατεστραμμένες υποδομές	1	1	1	1	-
Διακοπή της επικοινωνίας	1	1	1	1	-
Διακοπή των μεταφορών	1	1	1	1	-
Δημόσιος πανικός	1	1	1	1	-
Ληλασία και ανασφάλεια	1	1	1	1	-
Διατάραξη της δημόσιας τάξης	1	1	1	-	-
Προσωρινή μετανάστευση	-	-	1	-	1
Μόνιμη μετανάστευση	-	-	-	-	2
Παύση λειτουργίας του βιομηχανικού τομέα	1	1	1	1	2
Παράλυση των υπηρεσιών	1	1	1	1	2
Διαταραχή των κοινωνικοοικονομικών συστημάτων	1	1	1	1	2

### 5.3. Κύκλος συστήματος διαχείρισης καταστροφών

Ένα σύστημα διαχείρισης καταστροφών μπορεί να θεωρηθεί ο θεμελιώδης λίθος για την αποφυγή αντιμετώπισης των χειρότερων συνεπειών μίας καταστροφής. Δηλαδή ένα σύστημα διαχείρισης των καταστροφών είναι ένα σύνολο διαδικασιών σχεδιασμένων και εφαρμοσμένων πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση μίας καταστροφής. Αυτό το σύστημα εμπεριέχει την προετοιμασία για τις καταστροφές, την αντίδραση σε αυτές και τέλος, την υποστήριξη και την ανοικοδόμηση της κοινωνίας μετά το πέρας των αρχικών επιχειρήσεων ανακούφισης από τις καταστροφές. Δεδομένου ότι οι καταστροφές αποτελούν μόνιμη απειλή, τα συστήματα και οι πρακτικές διαχείρισης καταστροφών πρέπει να παρακολουθούνται και να βελτιώνονται συνεχώς. Επίσης, η επιτυχία αυτών των συστημάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αποτελεσματική και αποδοτική συνεργασία και τον συντονισμό των οργανισμών που συμμετέχουν στις επιχειρήσεις ανακούφισης.



**Σχήμα 5. 3: Οι 4 κύριες φάσεις του κύκλου διαχείρισης καταστροφών (Nikbaksh & Farahani, 2011)**

Τέλος, πρέπει να έχουμε κατά νου ότι η επιτυχία κάθε συστήματος διαχείρισης καταστροφών, εκτός από τα χαρακτηριστικά και την ένταση κάθε συγκεκριμένης καταστροφής εξαρτάται και από τα χαρακτηριστικά της περιοχής που έχει πληγεί. Για παράδειγμα, εκτός από τη συνήθη υλικοτεχνική ετοιμότητα των χωρών-κοινωνιών, οι υποδομές, τα συστήματα μεταφορών και επικοινωνιών, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, οι γεωγραφικές συνθήκες και η ώρα εκδήλωσης κατά τη διάρκεια της ημέρας και του έτους αποτελούν καθοριστικό συντελεστή στο επίπεδο των θυμάτων και των καταστροφών που προκαλεί μια καταστροφή. Ως εκ τούτου, ένα ολοκληρωμένο μοντέλο διαχείρισης καταστροφών δεν μπορεί να επιτευχθεί χωρίς τον εντοπισμό των διαθέσιμων μοντέλων και βέλτιστων πρακτικών για κάθε χώρα και περιοχή. Παρακάτω αναλύονται οι τέσσερις φάσεις του κύκλου διαχείρισης καταστροφών.

#### - **Μετριασμός (Mitigation)**

Σε αυτό το στάδιο του συστήματος διαχείρισης καταστροφών στόχος είναι να μετριαστούν ή να αποτραπούν κίνδυνοι οι οποίοι μπορεί να μετατραπούν σε καταστροφές ή να μειωθούν οι επιπτώσεις που θα είχαν αυτές. Το στάδιο αυτό διαφέρει από τα υπόλοιπα τρία, καθώς απαιτεί μακροπρόθεσμο σχεδιασμό και επενδύσεις (Wilson, 2009). Καθώς αυτή η φάση λαμβάνει χώρα πριν την εκδήλωση της καταστροφής κατά την οποία λαμβάνονται προληπτικά μέτρα, αποτελεί την πιο σημαντική φάση κατά των επιπτώσεων των καταστροφών. Τα μέτρα που εφαρμόζονται σε αυτό το στάδιο μπορούν να έχουν σχέση με τη δημιουργία δομής ή όχι. Τα δομικά μέτρα χρησιμοποιούν την τεχνολογική πρόοδο για να μετριάσουν τις επιπτώσεις από τις καταστροφές (π.χ. αναχώματα για πλημμύρες, ενίσχυση των υφιστάμενων κτιρίων και ενίσχυση κρίσιμων συνδέσμων, όπως οι γέφυρες για τα δίκτυα μεταφορών). Παραδείγματα μη δομικών μέτρων είναι η νομοθεσία, ο σχεδιασμός χρήσεων γης και η ασφάλιση.

#### - **Προετοιμασία (Preparation)**

Το στάδιο αυτό γίνεται πριν την εκδήλωση κάποιας καταστροφής, αλλά αφορά σχέδια και λύσεις, αφού αυτή έχει συμβεί. Τέτοια σχέδια και λύσεις αφορούν διάφορες πτυχές του συστήματος διαχείρισης καταστροφών, όπως ο προσχεδιασμός υλικοτεχνικής υποδομής στις επιχειρήσεις αρωγής (π.χ. εντοπισμός των απαραίτητων εγκαταστάσεων, αποθήκευση των απαραίτητων ειδών και μεταφορά ανθρώπων, εξοπλισμού και άλλων ειδών), η κατάρτιση σχεδίων επικοινωνίας, ο καθορισμός των αρμοδιοτήτων κάθε συμμετέχουσας οργάνωσης αρωγής, ο συντονισμός των επιχειρήσεων και η εκπαίδευση του προσωπικού αρωγής.

#### - **Ανταπόκριση (Response)**

Στο στάδιο αυτό απαιτείται άμεση αποστολή του απαραίτητου προσωπικού, εξοπλισμού και αντικειμένων στην περιοχή της καταστροφής. Είναι ένας συνδυασμός ιατρικών μονάδων, αστυνομικών και στρατιωτικών δυνάμεων, πυροσβεστών και μονάδων έρευνας με τα απαραίτητα οχήματα και εξοπλισμό. Το στάδιο αυτό αναπτύσσεται αμέσως μετά την εκδήλωση της καταστροφής, ανάλογα με την ένταση και την έκτασή της. Στις αποστολές των απαραίτητων μέσων για την ανταπόκριση στην καταστροφή περιλαμβάνονται συνήθως εφεδρικοί ανθρώπινοι πόροι και εξοπλισμός για τις προαναφερθείσες ομάδες, καθώς και τα απαραίτητα είδη (π.χ. πρωτογενείς προμήθειες όπως τρόφιμα, πόσιμο νερό, ρουχισμός, σκηνές, προσωρινές κτιριακές κατασκευές και φάρμακα), εθελοντικές δυνάμεις και μη κυβερνητικές οργανώσεις (ΜΚΟ). Η προετοιμασία ενός αποτελεσματικού σχεδίου αντιμετώπισης για το συντονισμό των δυνάμεων και των επιχειρήσεων αρωγής είναι κρίσιμη, όσον αφορά την επιτυχία ενός συστήματος διαχείρισης καταστροφών.

#### - **Αποκατάσταση (Recovery)**

Το τελευταίο στάδιο του συστήματος διαχείρισης καταστροφών είναι η ανάκαμψη των πληγείσων περιοχών. Η φάση αυτή συμβαίνει κατά το χρονικό διάστημα μετά την εκδήλωση της καταστροφής και αφορά κυρίως τις δευτερεύουσες ανάγκες των ανθρώπων, όπως η αποκατάσταση και η ανοικοδόμηση των σπιτιών και των εγκαταστάσεων της πόλης. Μια από τις κύριες ευκαιρίες της φάσης αυτής είναι η βελτίωση των υποδομών και των συνθηκών της πληγείσας περιοχής με τη χρήση θεμελιωδών τεχνικών μετριασμού των επιπτώσεων.

## 6. UAVs για ανθρωπιστική βοήθεια

Η ανάπτυξη στην τεχνολογία έχει επιτρέψει στα drones να θεωρούνται σημαντικό εργαλείο στην αντιμετώπιση και διαχείριση έκτακτων αναγκών (Hassanalian & Abdelkefi, 2017; Pandey et al., 2018). Η έρευνα για τα UAVs έχει επιταχυνθεί τα τελευταία χρόνια λόγω των πλεονεκτημάτων στην κάλυψη μεγάλων περιοχών σε μικρό χρονικό διάστημα σε σύγκριση με τα κινητά ρομπότ εδάφους. Τα drones είναι περισσότερο αποδοτικά, αξιόπιστα και οικονομικά σε σχέση με άλλα εναέρια συστήματα, όπως είναι τα ελικόπτερα και τα μεταφορικά αεροσκάφη (Rodríguez et al., 2012; Koh & Wich, 2012). Αφού αναφέρθήκαμε στις διάφορες τεχνολογίες drone, στις διάφορες εφαρμογές τους και στην ανθρωπιστική εφοδιαστική, στο κεφάλαιο αυτό θα προσδιορισθούν ο τρόπος αλλά και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες τα drones μπορούν να προσθέσουν αξία στις ανθρωπιστικές επιχειρήσεις σε περιοχές που βρίσκονται υπό κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Οι πιο ευρέως διαδεδομένες, αλλά και πολλά υποσχόμενες χρήσεις των drones περιλαμβάνουν τη χαρτογράφηση, τη διάσωση, την παράδοση σημαντικών αντικειμένων σε δυσπρόσιτες τοποθεσίες, την υποστήριξη της εκτίμησης των ζημιών, την ενίσχυση επίγνωσης της κατάστασης και την παρακολούθηση των εξελίξεων. Στο Σχήμα 6.1 φαίνονται μερικές μελέτες περίπτωσης εφαρμογής drone για τέτοιου είδους χρήσεις.

Η χαρτογράφηση μέσω drone αποτελεί την πιο εξελιγμένη χρήση στον ανθρωπιστικό τομέα σήμερα. Λόγω ωρίμανσης της τεχνολογίας και ανάπτυξης ελαφριών υπολογιστικά και φιλικών προς τον χρήστη συστημάτων, έχει καταστεί δυνατή η χρήση των drones για χαρτογράφηση και από μη τεχνικούς χρήστες. Τα drones χαρτογράφησης έχουν δείξει τις μεγαλύτερες δυνατότητές τους κατά τη φάση αποκατάστασης μετά από μία καταστροφή ή στις εργασίες προετοιμασίας για μείωση του κινδύνου καταστροφής. Σε πολλές περιπτώσεις και ιδιαίτερα σε αυτές που απαιτείται λεπτομερής απεικόνιση τοπικών γεγονότων, η χρήση των drones είναι πιο αποδοτική από τις αντίστοιχες απεικονίσεις των δορυφόρων και αυτές των αεροπλάνων ή ελικοπτέρων (Satish, 2021). Ξεχωριστό ενδιαφέρον επιδεικνύει η χρήση των drones για βοήθεια στη διάσωση, ιδιαίτερα όταν είναι δυνατή η προσαρμογή εξειδικευμένων καμερών (π.χ. υπέρυθρες) σε αυτά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Μεγάλη Βρετανία, η οποία χρησιμοποιεί drones για την υποβοήθηση του πυροσβεστικού σώματος (Jackson, 2021). Βέβαια, αν και τα αποτελέσματα εμφανίζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον, το στατιστικό δείγμα είναι ανεπαρκές. Ένας ακόμα ταχέως αναδυόμενος τομέας είναι η χρήση drone για την παράδοση φορτίων, αν και ακόμη η πλειοψηφία των cargo drones εξακολουθεί να είναι πρωτότυπα ή σε πιλοτικό επίπεδο. Με τη μέθοδο αυτή, προσφέρεται η δυνατότητα μεταφοράς ελαφριών αντικειμένων, με μεγάλη συχνότητα συμπληρώνοντας έτσι τα παραδοσιακά μέσα (Houser, 2022).

Τα drones, επομένως, είναι αναδυόμενη τεχνολογία κάλυψης των ανθρώπινων αναγκών σε ανθρωπιστικές κρίσεις. Η έκθεση του FSD (Fondation Suisse de Déminage) έδειξε ότι, ενώ η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών γίνεται ευκολότερη, οι κύριες προκλήσεις θα μετατοπιστούν από την πτήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών στην επεξεργασία, ανάλυση και αποθήκευση των δεδομένων που συλλέγουν αυτά (Soesilo et al., 2016). Ένα ακόμη πρόβλημα των drones στην υποστήριξη ανθρωπιστικών επιχειρήσεων είναι πως πολύ συχνά η άφιξη τους είναι καθυστερημένη, γεγονός που δεν τα καθιστά χρήσιμα μετά από μια καταστροφή. Το ζήτημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί μέσω της ανάπτυξης τοπικών ή περιφερειακών ικανοτήτων και της ενσωμάτωσης μη επανδρωμένων

αεροσκαφών στις μόνιμες εργαλειοθήκες των οργανισμών. Οι ανεπαρκείς ισχύοντες κανονισμοί μπορεί να αποτελέσουν ουσιαστικό εμπόδιο για την λειτουργία των drones σε κρίσεις. Σε πολλές χώρες, οι κανονισμοί δεν υπάρχουν και όπου υπάρχουν, συνήθως δεν περιλαμβάνουν διατάξεις για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Όσο η τεχνολογία τους εξελίσσεται και γίνονται ευκολότερα στη χρήση, τόσο γίνονται και περισσότερο διαδεδομένα. Όμως, αυτό σημαίνει ότι είναι δόκιμο να χρησιμοποιούνται drones μετά από ένα σεισμό, μία πλημμύρα, ένα τυφώνα ή κάποια άλλη φυσική καταστροφή; Ή είναι απλώς άλλη μία τεχνολογία με το ρόλο του παιχνιδιού που απλώς απορροφά οργανωτικούς πόρους; Η ιδέα χρήσης drone σε ανθρωπιστικές ενέργειες είναι κάπως καινούρια στον τρόπο λειτουργίας των μέχρι τώρα συστημάτων διαχείρισης καταστροφών και αποτελεί μία αμφιλεγόμενη τακτική. Η ανθρωπιστική χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών προέκυψε αρχικά από το ενδιαφέρον της βιομηχανίας UAVs για την απόκτηση νομιμότητας και ηθικής υπόστασης, αλλά έκτοτε το κίνητρο έχει μετατοπιστεί στον τρόπο με τον οποίο τα UAVs μπορούν να βοηθήσουν σε ανθρωπιστικές δράσεις. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη έχουν γίνει μέρος των ευρύτερων συζητήσεων για την ανθρωπιστική τεχνολογία και την καινοτομία, για την εξ αποστάσεως διαχείριση εκτάκτων αναγκών και για τη σχέση μεταξύ της ανθρωπιστικής δράσης και της διεθνούς διατήρησης της ειρήνης.

Στο πρόγραμμα δράσης για την ανθρωπότητα, το 2016, ο Γενικός Γραμματέας των Ηνωμένων Εθνών αναφέρει ότι για να επιτευχθούν συλλογικά αποτελέσματα, ο ανθρωπιστικός τομέας πρέπει να εστιάσει στην καινοτομία (Ki-Moon, 2016). Ταυτόχρονα, οι επικριτές εκφράζουν τον σκεπτικισμό τους σχετικά με την πραγματική χρησιμότητα των UAVs σε περιβάλλοντα ανθρωπιστικής βοήθειας. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει μία προσπάθεια παρουσίασης των συνθηκών, όπου τα drones προσθέτουν αξία στον τομέα διαχείρισης καταστροφών και με ποιους τρόπους.

Παρόλο που κύριος σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι να επικεντρωθεί στην αποτελεσματικότητα των drones σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, αποσκοπεί περαιτέρω και στο να καταστήσει την τεχνολογία των drones κατανοητή στο ευρύ κοινό. Οι γνώσεις, οι λεπτομέρειες και τα παραδείγματα που παρουσιάζονται προέρχονται από επιστημονικά άρθρα, συστηματικές βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις και έρευνες που έχουν γίνει με ενδιαφερόμενα μέρη, πρωτογενούς και δευτερογενούς έρευνας. Στόχος είναι ο αναγνώστης να αντιληφθεί πότε και υπό ποιες συνθήκες τα drones μπορούν να υποστηρίξουν ανθρωπιστικές επιχειρήσεις και πότε αυτά προσθέτουν αξία στα επιχειρησιακά plána.



Σχήμα 6. 1: Χάρτης με παραδείγματα χρήσης drones για ανθρωπιστική βοήθεια (Soesilo et al., 2016)

## 6.1. Αποδοχή της χρήσης UAVs στην ανθρωπιστική εφοδιαστική αλυσίδα

Στη συγκεκριμένη υποενότητα παρουσιάζεται η κατάσταση μεταξύ ανθρωπιστικών φορέων και της χρήσης UAVs, το αποτύπωμα αυτής της σχέσης που φαίνεται στην μη αποδοχή των drones όσο και οι λόγοι αμφισβήτησης αυτής της τεχνολογίας. Κύριοι λόγοι αυτής της αμφισβήτησης που θα παρουσιαστούν είναι η όχι πλήρως καθορισμένη αξία των drones σε ανθρωπιστικής φύσεως αποστολές, η αταξινόμητη πληροφορία καθώς και η σύνδεση των drones με στρατιωτικής φύσεως επιχειρήσεις.

Η χρήση των μη επανδρωμένων αεροχημάτων από ανθρωπιστικούς φορείς ή για ανθρωπιστικούς σκοπούς καθίσταται δύσκολη κατά τη διάρκεια στρατιωτικών συγκρούσεων ή ταραχών. Μερικές οργανώσεις ανθρωπίνων δικαιωμάτων, όπως το Sentinel Project (Gregorich, 2013) και το Genocide Intervention Network (Sniderman & Hanis, 2012), έχουν προτείνει τη χρήση UAVs για την παρακολούθηση μη εξαπάτησης των ανθρωπίνων δικαιωμάτων. Για παράδειγμα, θα μπορούσαν τα drones να επωμιστούν το ρόλο της παρακολούθησης σε περιοχές με στρατιωτική δραστηριότητα για τη λειτουργία έγκαιρης προειδοποίησης και τη συλλογή αποδεικτικών στοιχείων για ενδεχόμενα εγκλήματα πολέμου. Μία αντίστοιχη χρήση τους θα ήταν η παρακολούθηση προσφυγικών καταυλισμών ή πληθυσμών που απειλούνται. Ταυτόχρονα, οι στρατιωτικές υπηρεσίες και υπηρεσίες πληροφοριών μπορεί να χρησιμοποιούν UAVs για την τεκμηρίωση ή τη συλλογή

πληροφοριών για πολλά από τα ίδια περιστατικά, αλλά και για διαφορετικούς σκοπούς. Παρόλα αυτά, η χρήση UAVs σε συγκρούσεις πολεμικού χαρακτήρα μπορεί να είναι προβληματική. Οι στρατιωτικοί φορείς είναι πιθανό να μην επιτρέπουν σε drones εξοπλισμένα με κάμερες να πετούν πάνω από τις θέσεις τους καταρρίπτοντας τα, ενώ ακόμη και οι πολίτες μπορεί να είναι εχθρικοί αν υποψιαστούν ότι τα UAVs χρησιμοποιούνται για στρατιωτικές πληροφορίες ή για τη διεξαγωγή επιθέσεων. Οι κατηγορίες ότι οι ανθρωπιστικοί φορείς εμπλέκονται σε "κατασκοπεία" μπορεί να επηρεάσει τις κοινωνικές αντιλήψεις όσον αφορά τις ανθρωπιστικές οργανώσεις και τα κίνητρα τους. Ένα παράδειγμα, είναι το Πακιστάν όπου οικογένειες κρατούν τα παιδιά στο σπίτι από το σχολείο, λόγω του άγχους που προκαλεί η παρουσία στρατιωτικών UAVs και η απειλή επιθέσεων (Gilman, 2014). Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις, η χρήση επιπλέον UAVs στην περιοχή, ακόμη και για ανθρωπιστικούς σκοπούς, μπορεί να προκαλέσει περισσότερο κακό παρά καλό.

Αντίθετα με αυτό που πιστεύουν οι περισσότεροι, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μεγάλου μεγέθους σπάνια έχουν χρησιμοποιηθεί για ανθρωπιστικούς σκοπούς. Τα μεγαλύτερα UAVs απαιτούν ομοίως μεγαλύτερους προϋπολογισμούς, καθώς και αυξημένο συντονισμό και εξειδικευμένο προσωπικό και συνήθως χρησιμοποιούνται από στρατιωτικούς ή κρατικούς φορείς. Ωστόσο, καθώς αναπτύσσεται η αγορά μη στρατιωτικών drones, μπορεί να αναμένεται αυξημένη προσβασιμότητα σε μεγαλύτερα αεροσκάφη στο μέλλον. Παρόλο που τα βαρέος τύπου UAVs δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ανθρωπιστικές επιχειρήσεις, ελαφριά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί σε στρατιωτικές αποστολές. Τα UAVs είναι τεχνολογίες διπλής χρήσης, καθώς πέρα από UAVs βαρέος τύπου υπάρχουν και ελαφριά μοντέλα που έχουν χρησιμοποιηθεί ως όπλα, όπως είναι το AeroVironment Switchblade, ένα αναγνωριστικό UAV βάρους 1 kg που μπορεί να εξοπλιστεί με εκρηκτικά και να χρησιμοποιηθεί για επιθέσεις "καμικάζι" (Aerovironment Switchblade, 2021). Το άγχος του πληθυσμού θα ήταν ιδιαίτερα έντονο σε περιβάλλοντα, όπου τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη διεξάγουν επίσης επιθέσεις και ο πληθυσμός μπορεί να μην είναι σε θέση να διακρίνει μεταξύ οπλισμένων και άοπλων drones. Η Ένωση Συστημάτων Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών στο Ηνωμένο Βασίλειο πρότεινε τα μη στρατιωτικά UAV να βάφονται με έντονα χρώματα για να διακρίνονται από τα στρατιωτικά οχήματα (Gilman, 2014). Χρησιμοποιώντας αυτή την αρχή, οι ιατρικές παραδόσεις πέρα από τις γραμμές μάχης σε αστικό περιβάλλον θα μπορούσαν να διευθετούνται με τα μέρη της σύγκρουσης και στη συνέχεια να πραγματοποιούνται με ένα UAV με έντονη σήμανση, που πετάει χαμηλά (Gilman, 2014). Ωστόσο, δεν είναι σαφές αν αυτή η στρατηγική θα λειτουργούσε και είναι πιθανό ότι τα ανθρωπιστικά UAV σε περιβάλλοντα συγκρούσεων θα δημιουργούσαν επί του παρόντος περισσότερα προβλήματα από όσα θα έλυναν.

Έως σήμερα, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη ανθρωπιστικών επιχειρήσεων είναι μικρές συσκευές που ζυγίζουν έως μερικά κιλά. Αυτά τα μοντέλα είναι σχετικά εύκολα στο χειρισμό, αλλά είναι περιορισμένα σε εμβέλεια και χρόνο πτήσης. Η χρήση για ανθρωπιστικούς σκοπούς έχει εξελιχθεί παράλληλα με την πολιτική αγορά. Τα μοντέλα που κατασκευάζονται για την αγορά αυτή έχουν αναπτυχθεί με γνώμονα την ευκολία χρήσης και την ασφάλεια και συχνά μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ελάχιστη εκπαίδευση. Αυτοί οι παράγοντες έχουν καταστήσει την τεχνολογία προσιτή τόσο στους πολίτες όσο και στους ανθρωπιστικούς φορείς. Μερικά από τα drones, που έχουν χρησιμοποιηθεί με γνώμονα την ανθρωπιστική βοήθεια, παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα.





**Σχήμα 6. 2: Drone που έχουν χρησιμοποιηθεί σε μελέτες περίπτωσης ανθρωπιστικής βοήθειας (Προσαρμοσμένο από Seosilo et al., 2016)**

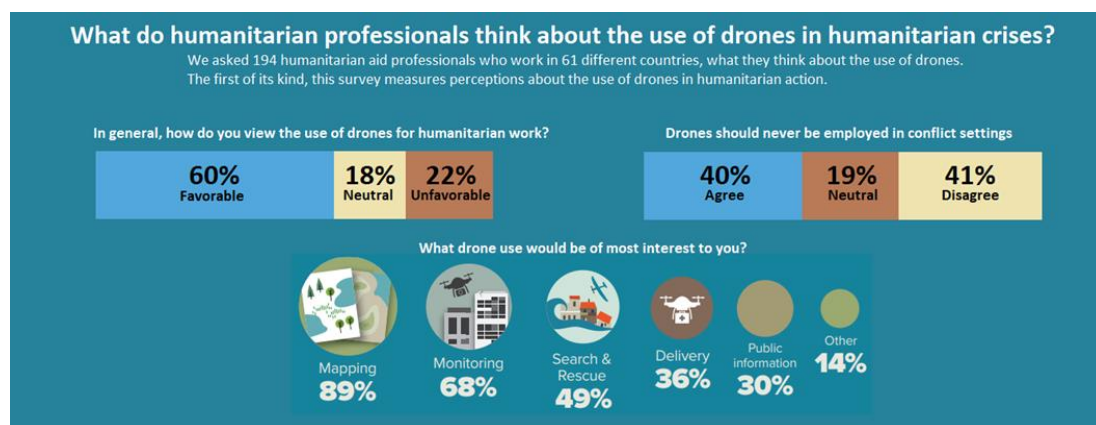
Δεν είναι πολλές οι οργανώσεις που έχουν χρησιμοποιήσει μη επανδρωμένα αεροσκάφη σε ανθρωπιστικές προσπάθειες στηριζόμενες σε drones δικής τους μελέτης και κατασκευής. Αντίθετα, οι περισσότερες ανθρωπιστικές οργανώσεις επιλέγουν να συνεργαστούν με παρόχους υπηρεσιών ή να συνεργαστούν με άλλους μη κερδοσκοπικούς φορείς και τοπικές κοινότητες που διαθέτουν ενεργό δυναμικό για την ανάπτυξη μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Συχνά, οργανισμοί από άλλους τομείς, όπως η γεωλογία, η δασοκομία και οι κατασκευές, διαθέτουν ικανότητες για εφαρμογές με UAVs που μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν στις αποστολές ανθρωπιστικής βοήθειας. Οι εταιρείες που βρίσκονται στα αρχικά στάδια ανάπτυξης υπηρεσιών συχνά παρέχουν την τεχνολογία τους δωρεάν σε ανθρωπιστικές οργανώσεις, ώστε να μπορούν να δοκιμάσουν τα πρωτότυπα τους και να τελειοποιήσουν την τεχνολογία τους σε πραγματικές συνθήκες και σε χώρες όπου οι κανονισμοί είναι πιο ευνοϊκοί. Ακόμη, οι εταιρείες ενδέχεται να επιδιώκουν τη σύνδεση με ανθρωπιστικές οργανώσεις για να προβάλλουν τις υπηρεσίες τους και να διαφοροποιούνται από τους ανταγωνιστές τους.

Σε αυτή την περίπτωση, είναι σκόπιμο να υπάρχουν σαφείς κατευθυντήριες γραμμές, ώστε να διασφαλίζεται ότι δοκιμάζονται πραγματικές περιπτώσεις χρήσης και ότι οι πληροφορίες ή τα δεδομένα που προκύπτουν μοιράζονται ισότιμα χωρίς να δίνεται έμφαση ή να εξυμνείται η μία εταιρεία έναντι της άλλης. Πολλοί οργανισμοί και υπηρεσίες έχουν αναπτύξει εσωτερικές κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με τον τρόπο χειρισμού πιλοτικών έργων με νέες τεχνολογίες. Η εταιρεία UAViators έχει αναπτύξει έναν ολοκληρωμένο κώδικα δεοντολογίας που μπορεί να χρησιμεύσει ως πηγή για κάθε οργανισμό που αρχίζει να διερευνά τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

Παρακάτω παρατίθενται μερικά αποτελέσματα ερευνών σχετικά με το βαθμό αποδοχής των drones από στελέχη του ανθρωπιστικού τομέα. Στη συγκεκριμένη έρευνα, συμμετείχαν 200 φορείς αντιμετώπισης καταστροφών που εργάζονται σε 61 διαφορετικές χώρες. Όπως

φαίνεται και στο Σχήμα 6.3 το 60% των ερωτηθέντων θεωρεί πως τα drones μπορεί να προσφέρουν προστιθέμενη αξία σε επιχειρήσεις έκτακτης ανάγκης, ενώ ένα 22% του δείγματος θεωρεί τη χρήση τους άσκοπη και με αρνητικό αντίκτυπο, τουλάχιστον για τη χρήση τους μετά την εκδήλωση καταστροφών (Soesilo et al., 2016). Από την άλλη, στη χρήση drones σε ζώνες συγκρούσεων οι εργαζόμενοι σε ανθρωπιστικούς φορείς απάντησαν κατά 40% ότι δεν θα πρέπει να εμπλέκονται τα drones ανθρωπιστικών φορέων σε περιβάλλοντα ταραχών, ενώ ένα 41% σημείωσε πως θα εξέταζε τη χρήση drones ακόμη και κατά τη διάρκεια ένοπλων συγκρούσεων.

Η έρευνα δείχνει ότι πρέπει να γίνουν πολύ περισσότερα μέσα στους ανθρωπιστικούς φορείς για την ανάπτυξη γνώσεων σχετικά με τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα, τις δυνατότητες και τους περιορισμούς των drones. Η πλειοψηφία (87% των ερωτηθέντων), δήλωσε ότι δεν έχει γνώση από πρώτο χέρι για τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Πολλοί εξήγησαν πως έψαχναν καθοδήγηση, ενώ χρειαζόντουσαν εμπειρία για την αξιοποίηση της τεχνολογίας στο μέγιστο. Στο σύνολο της έρευνας, υπήρχε εμπιστοσύνη μεταξύ των δύο τρίτων των ερωτηθέντων πως τα UAVs έχουν μεγάλες δυνατότητες ενίσχυσης του ανθρωπιστικού έργου και κυρίως, ότι τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την ταχύτητα και την ποιότητα των τοπικών αξιολογήσεων σε έκτακτες καταστάσεις.



**Σχήμα 6. 3: Αποτελέσματα έρευνας για την αποδοχή των drones από επαγγελματίες της ανθρωπιστικής εφοδιαστικής αλυσίδας (Soesilo et al., 2016)**

Τον Δεκέμβριο του 2016, με επικεφαλής το Ελβετικό Ίδρυμα ανθρωπιστικής αποναρκοθέτησης και απομάκρυνσης περιβαλλοντικών κινδύνων (FSD) δημοσιεύτηκε μια σημαντική έρευνα για τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών και εναέριων συστημάτων για ανθρωπιστικές κρίσεις (Soesilo et al., 2016). Η έρευνα υποστηρίχθηκε από το πρόγραμμα ECHO της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η Henrike Trautmann, επικεφαλής στη Μονάδα Ανάπτυξης Πολιτικής και Περιφερειακής Στρατηγικής στη Γενική Διεύθυνση Ευρωπαϊκής Πολιτικής Προστασίας και Επιχειρήσεων Ανθρωπιστικής Βοήθειας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, ανέφερε:

"Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη έχουν τη δυνατότητα να έχουν το ρόλο ενός κυριολεκτικά μικρού, αλλά σημαντικού εργαλείου που θα συμβάλει στην ταχύτερη και περισσότερο στοχευμένη αντιμετώπιση καταστροφών. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υποστηρίζει τους εταίρους της στον εντοπισμό καινοτομιών όπως αυτές και στην εκμάθηση εμπειριών, ώστε να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο ανθρωπιστικής δράσης".

Η έκθεση που παρουσίασε το FSD επικεντρώθηκε σε 14 μελέτες περιπτώσεων 10 χωρών, καθώς και σε διαβουλεύσεις εμπειρογνομόνων που διήρκησαν 2 συναπτά έτη. Η έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η χαρτογράφηση (mapping), είναι πλέον η πιο διαδεδομένη χρήση των drones με τις πιο άμεσες ανθρωπιστικές δυνατότητες. Ωστόσο, οι συγγραφείς υποστηρίζουν:

"Το πιο σημαντικό στοιχείο των drones στον τομέα της εμπορικής εφοδιαστικής για τη μεταφορά εμπορευμάτων θα οδηγήσει σε βελτιώσεις στο άμεσο μέλλον. Η έρευνα και διάσωση, η αποναρκοθέτηση και η πυρόσβεση είναι πρόσθετες χρήσεις των μη επανδρωμένων αεροσκαφών που εξετάζονται επίσης στην έκθεση".

Στην εύρεση και απενεργοποίηση των ναρκών παρουσιάζεται ιδιαίτερο ενδιαφέρον από το FSD. Ο γενικός στόχος του FSD είναι να μειώσει τις κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ναρκών και των μη εκραγέντων πυρομαχικών, δημιουργώντας έτσι ευνοϊκές συνθήκες για την ανοικοδόμηση και την ανάπτυξη των χωρών που έχουν πληγεί από τον πόλεμο.

Παραδοσιακά, η χαρτογράφηση και η παρακολούθηση χρησιμοποιούν εικόνες μέσω δορυφόρων, ενώ τα drones μπορούν να τραβήξουν φωτογραφίες που έχουν 10 φορές καλύτερη ανάλυση από τις δορυφορικές εικόνες και με τρόπο που είναι πιο διαφανής και περισσότερο προσιτός. Τα σχέδια πτήσης επιδέχονται εύκολα τροποποιήσεις ανάλογα με τις προτεραιότητες της εκάστοτε αποστολής. Παράλληλα, τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, τα οποία πετούν σε χαμηλό ύψος, μπορούν να πετούν κάτω από τη νεφοκάλυψη που συχνά αποτελεί οπτικό εμπόδιο για τους δορυφόρους στη θέα από το διάστημα. Μόλις τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη καταγράψουν λεπτομερείς εικόνες μιας περιοχής, οι ειδικοί μπορούν να δημιουργήσουν χάρτες που θα προσδιορίζουν τις περιοχές που διατρέχουν υψηλότερο κίνδυνο. Οι χάρτες αυτοί μπορούν να παρουσιαστούν στις τοπικές κοινότητες για να συζητήσουν τους κινδύνους και τον τρόπο αντιμετώπισής τους. Η CartONG είναι μια γαλλική μη κυβερνητική οργάνωση (ΜΚΟ) που δεσμεύεται για την προώθηση χρήσης εργαλείων γεωγραφικών πληροφοριών με στόχο τη βελτίωση της συλλογής και την ανάλυση δεδομένων σε προγράμματα έκτακτης βοήθειας και ανάπτυξης σε όλο τον κόσμο (CartOng, 2022).

Από την παραπάνω ανάλυση, φαίνεται πως η έως τώρα δυνατότητα των drones περιορίζεται στην παθητική χρήση τους, δηλαδή κυρίως για τη συλλογή δεδομένων. Ενώ η πολυαναμενόμενη εφαρμογή τους, για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ειδών ανακούφισης, τα οποία είναι συνήθως απαραίτητα κατά τη διάρκεια ανθρωπιστικών εκτάκτων αναγκών, δεν έχει φτάσει στο απόγειο της.

Παρά την ενστικτώδη αντίδραση που έχουν πολλοί στην ιδέα των "ματιών στον ουρανό", το ενδιαφέρον για στη χρήση UAVs στην ανθρωπιστική βοήθεια αυξάνεται. Οι κατασκευαστές προωθούν τα UAVs ως "τεχνολογία που σώζει ζωές" (Sandvik & Lohne, 2014). Φορητά micro- UAVs έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί από ανθρωπιστικούς φορείς στην Αϊτή και στις Φιλιππίνες μετά τον τυφώνα Γιολάντα για χαρτογράφηση, αξιολόγηση των αναγκών, παρακολούθηση της κατάστασης σε πραγματικό χρόνο, την ενημέρωση του κοινού, την έρευνα και διάσωση και τη χαρτογράφηση.

Ενώ κύριες χρήσεις είναι η συλλογή δεδομένων και η παρακολούθηση, διεξάγονται έρευνες για την παράδοση αγαθών, ιδίως μικρότερων αντικειμένων όπως τα εμβόλια. Οι ειρηνευτικοί και στρατιωτικοί φορείς ενδιαφέρονται επίσης όλο και περισσότερο για τη χρήση drones στην υποστήριξη των αμάχων. Η Αποστολή Σταθεροποίησης του Οργανισμού

Ηνωμένων Εθνών στη Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό (United Nations Organization Stabilization Mission in the Democratic Republic of the Congo - MONUSCO) άρχισε πρόσφατα να χρησιμοποιεί τα δικά της UAV μεγάλου βεληνεκούς για καθήκοντα αναγνώρισης και συλλογής δεδομένων και έχει διαθέσει αυτές τις δυνατότητες σε ανθρωπιστικές οργανώσεις (Kerbey, 2016). Τα UAV υποστηρίζουν ήδη την αντιμετώπιση καταστροφών και άλλων ανθρωπιστικών εργασιών, ενώ καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται αναδύονται και άλλες εφαρμογές.

## 6.2. Χαρτογράφηση

Τα UAVs μπορούν να παράγουν γεωαναφορές (με ακρίβεια GPS) ή τρισδιάστατους χάρτες ταχύτερα από τους δορυφόρους για τη χαρτογράφηση περιοχών. Μέσω της χαρτογράφησης, μπορεί να βελτιωθεί η εφοδιαστική αλυσίδα παροχής βοήθειας, να γίνει ευκολότερη η εκτίμηση ζημιών μετά από καταστροφές και να μειωθεί ο κίνδυνος ενδεχόμενων καταστροφών. Η χαρτογράφηση με τη βοήθεια των drones, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, είναι η πιο συνήθης και δημοφιλής εφαρμογή των drones μέχρι σήμερα. Τα μικρά και εύχρηστα στον καταναλωτή μοντέλα καθιστούν την τεχνολογία αυτή προσιτή ακόμη και σε μη τεχνικούς χρήστες. Τα drones χαρτογράφησης έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ακριβών, δισδιάστατων χαρτών, υψομετρικών αλλά και τρισδιάστατων μοντέλων εδάφους. Η χρήση των drones για χαρτογράφηση έχει παρουσιάσει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες μεθόδους όπως:

- Λήψη αεροφωτογραφιών για τη δημιουργία χαρτών μικρών περιοχών (<15km)
- Συλλογή δεδομένων και οπτικού υλικού σε συνθήκες όπου η νεφοκάλυψη εμποδίζει τη χρήση δορυφόρων ή αεροπλάνων
- Λειτουργία σε δυσπρόσιτα και ταχέως μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα, όπως αστικές περιοχές ή προσφυγικούς καταυλισμούς
- Δημιουργία λεπτομερών μοντέλων υψομέτρου τα οποία είναι απαραίτητα για τη μοντελοποίηση πλημμυρών, χιονοστιβάδων ή κατολισθήσεων, καθώς και για τον υπολογισμό του όγκου των συντριμμιών
- Δημιουργία 3D μοντέλων-απεικονίσεων κτιρίων και γεωγραφικών χαρακτηριστικών.

Οι ανθρωπιστικοί φορείς πολιτικής προστασίας άρχισαν να χρησιμοποιούν μη επανδρωμένα αεροσκάφη για χαρτογράφηση και αεροφωτογραφίες την τελευταία δεκαετία. Στην Αϊτή, ο Διεθνής Οργανισμός Μετανάστευσης (ΔΟΜ) δημιούργησε σχέδια και χάρτες για την προετοιμασία της απογραφής (Ki-Moon, 2016) και τη διαχείριση των καταυλισμών μετά τον σεισμό του 2010. Έτσι, με αυτόν τον τρόπο, ο ΔΟΜ πραγματοποίησε πτήσεις με drones για να συλλέξει και να δημιουργήσει τους βασικούς χάρτες που ήταν απαραίτητοι για την προετοιμασία των εκτιμήσεων στους πυκνοκατοικημένους καταυλισμούς της Αϊτής. Πρώτα, έγινε χρήση δορυφορικών εικόνων και GPS, όμως το GPS δεν είχε μεγάλη ακρίβεια στις πυκνοκατοικημένες περιοχές ενώ οι διαθέσιμες εικόνες αναφοράς ήταν σε μεγάλο βαθμό αναθεωρημένες. Οι εικόνες που συλλέχθηκαν επέτρεψαν τη δημιουργία χαρτών με μεγάλη ακρίβεια στις εξεταζόμενες

περιοχές, ενώ οι χάρτες αυτοί επέτρεψαν στους καταμετρητές να εντοπίσουν ακριβώς ποια κτίρια έπρεπε να εξεταστούν. Έκτοτε, ο ΔΟΜ έχει θεσμοθετήσει τη χρήση drone για τον έλεγχο καταυλισμών στην Αϊτή. Αυτό επιτεύχθηκε με την υποστήριξη εθελοντών μέσω της κοινότητας OpenStreetMap (OSM) της Αϊτής, που αποτέλεσαν κύριο συντελεστή στην ολοκλήρωση της προσπάθειας, ψηφιοποιώντας κτίρια και δρόμους και ανεβάζοντας τους χάρτες της πόλης στο OpenStreetMap. Το κόστος για την αγορά του συγκεκριμένου drone για αυτή την αποστολή και τη συντήρησή του ανήλθε σε 23.000€, χωρίς τα έξοδα επισκευής, ενώ μια δορυφορική εικόνα μιας μικρής περιοχής σε μια συγκεκριμένη ημερομηνία και με καλή ανάλυση μπορεί να κοστίσει μέχρι 4.500 ευρώ (Soesilo et al., 2016).

Η Παγκόσμια Τράπεζα μαζί με την κοινότητα OSM, και τους εταίρους Development Seed, Azavea και Stamen ακολούθησαν το ίδιο παράδειγμα στην Τανζανία, χαρτογραφώντας ανεπίσημους οικισμούς για να αυξήσουν την ανθεκτικότητα στις εποχικές πλημμύρες.

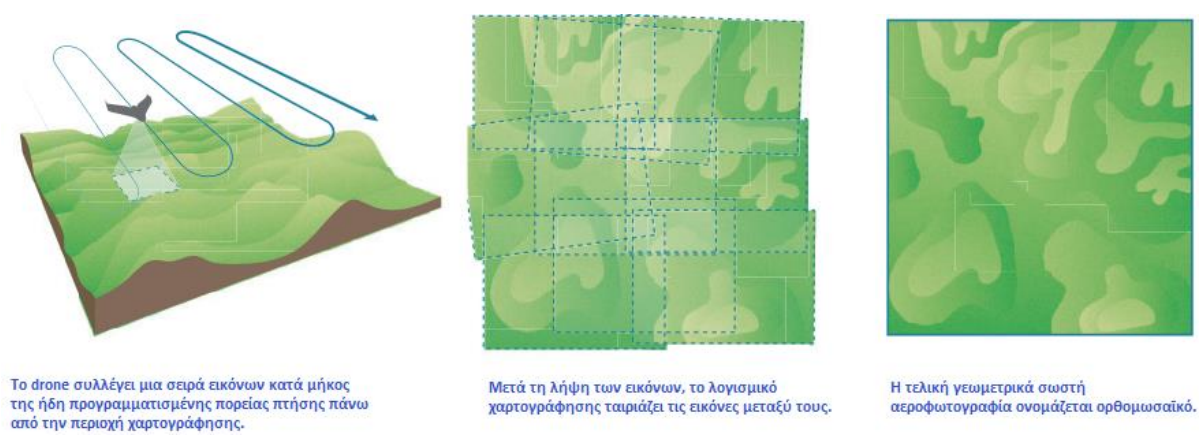
Μεγάλο πλεονέκτημα των UAVs είναι η ικανότητά τους να συλλέγουν αεροφωτογραφίες όποτε χρειάζεται. Η συλλογή των εικόνων δεν εξαρτάται από μια σταθερή σύνδεση στο Διαδίκτυο (σε αντίθεση με τις δορυφορικές εικόνες, οι οποίες πρέπει να μεταφορτωθούν) και η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών μπορεί να αποδειχθεί λιγότερο δαπανηρή σε βάθος χρόνου, λαμβάνοντας υπόψιν ότι απαιτούνται εκ νέου αεροφωτογραφίες σε τακτά χρονικά διαστήματα προκειμένου να απεικονιστεί η ταχέως μεταβαλλόμενη γεωλογική πραγματικότητα. Η προσφορά της OpenStreetMap είναι η παροχή πρόσβασης σε μια βάση δεδομένων με εικόνες και υπηρεσίες χαρτών με ανοικτή άδεια χρήσης όσο και με δορυφορικές εικόνες από μη επανδρωμένα αεροσκάφη.

### 6.2.1. Διαδικασία χαρτογράφησης UAV

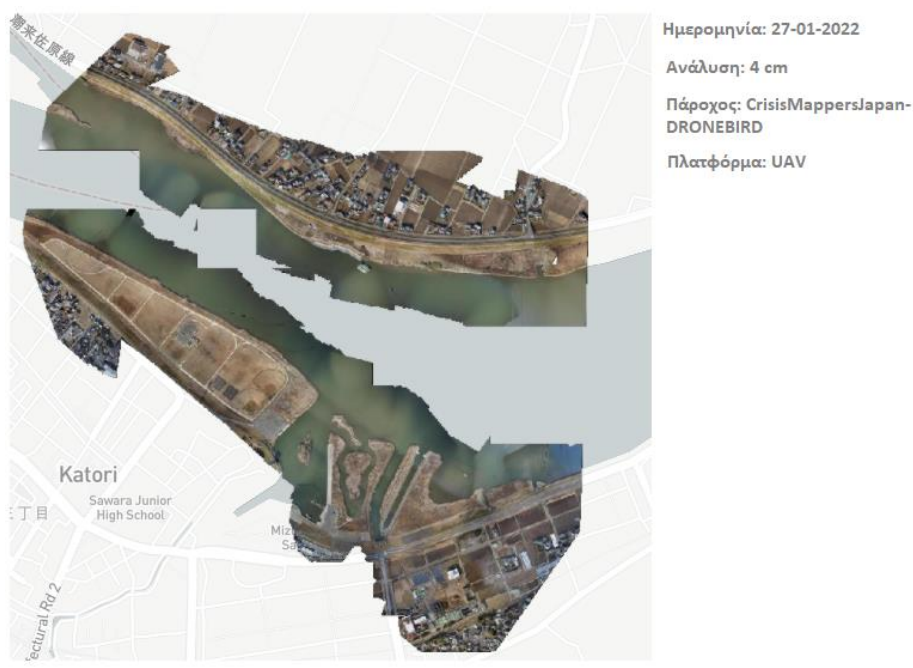
Για τη δημιουργία χαρτών μέσω drones, στην περίπτωση που τα αεροσκάφη δεν έχουν τον κατάλληλο εξοπλισμό για αυτού του είδους τη δουλειά, προσαρτώνται πάνω τους απλές φωτογραφικές μηχανές. Στη συνέχεια, τα UAVs πετούν με τη βοήθεια ενός αυτόματου πιλότου σε προκαθορισμένα μοτίβα, τραβώντας φωτογραφίες σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Ο χειριστής εκτοξεύει το drone και ελέγχει την πορεία της πτήσης μέσω μίας φορητής συσκευής (υπολογιστή ή tablet), ενώ όλες οι άλλες λειτουργίες είναι εξ ολοκλήρου αυτοματοποιημένες. Η χαρτογράφηση μέσω drone γίνεται σε ένα υψομετρικό εύρος μεταξύ 80 και 300 μέτρων, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη υψηλότερα. Για χάρτες με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, το drone κάνει πιο χαμηλές πτήσεις επί του εδάφους, ενώ θα πρέπει να είναι εξοπλισμένο με κάμερα υψηλότερης ανάλυσης. Αντίθετα, για χάρτες με μικρότερη ανάλυση και λεπτομέρεια το αεροσκάφος μπορεί να πετάει υψηλότερα καλύπτοντας μεγαλύτερα εμβαδά περιοχών.

Για τη χαρτογράφηση μιας συγκεκριμένης περιοχής χρειάζονται μία ή περισσότερες πτήσεις. Με αυτόν τον τρόπο, όσο μεγαλύτερες είναι οι περιοχές και μεγαλύτερης λεπτομέρειας οι αναλύσεις, αυξάνεται ο όγκος των αρχείων και επομένως οι χρόνοι επεξεργασίας των δεδομένων και το κόστος. Η χωρική ανάλυση μετράται σε απόσταση δειγματοληψίας εδάφους (Ground Sample Distance-GSD) και αναφέρεται στην απόσταση μεταξύ των κέντρων των εικονοστοιχείων που μετράται στο έδαφος. Σε μια εικόνα με GSD ενός μέτρου, για παράδειγμα, οι θέσεις εικόνων γειτονικών εικονοστοιχείων απέχουν μεταξύ τους ένα μέτρο στο έδαφος.

Οι μεμονωμένες εικόνες που συλλέγονται, ενώνονται μεταξύ τους σαν παζλ για τη δημιουργία μιας μεγαλύτερης εικόνας, που ονομάζεται ορθομωσαϊκό. Πρόκειται για ένα αρχείο αλληλεπικαλυπτόμενων αεροφωτογραφιών που έχουν διορθωθεί γεωμετρικά για να αποκτήσουν ομοιόμορφη κλίμακα. Μέσω της διαδικασίας αυτής, αφαιρούνται πιθανές παραμορφώσεις από τις αεροφωτογραφίες, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς άλλη επεξεργασία σαν βασικοί χάρτες ή ακόμη να χρησιμοποιηθούν ως υλικό προσθήκης σε άλλους χάρτες. Οι ειδικοί στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (Geographic Information System-GIS), προκειμένου να παραγάγουν χρήσιμη πληροφορία, μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα ορθομωσαϊκά με τρόπο παρόμοιο, όπως στον τρόπο επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων. Η ομάδα Humanitarian OpenStreetMap, έχει χρησιμοποιήσει ορθομωσαϊκά που προέρχονται από αεροφωτογραφήσεις drones για διάφορα έργα σε όλο τον κόσμο (Soesilo et al., 2016). Παρακάτω στο Σχήμα 6.7 φαίνεται η διαδικασία δημιουργίας του ορθομωσαϊκού ενώ στο Σχήμα 6.8 φαίνεται ένα ορθομωσαϊκό μίας περιοχής της Κίνας από τη πλατφόρμα OpenAerialMap.



**Σχήμα 6. 4: Διαδικασία χαρτογράφησης μίας περιοχής (Soesilo et al. 2016)**



**Σχήμα 6. 5: Παράδειγμα ορθομωσαϊκού (OpenAerialMap, 2022)**

## 6.2.2. Σύγκριση UAVs και Εναλλακτικών Επιλογών Χαρτογράφησης

Τα αεροπλάνα, τα ελικόπτερα και οι δορυφόροι, είναι οι τρεις περισσότερο χρησιμοποιούμενες εναλλακτικές λύσεις των drones στη χαρτογράφηση και αξιολόγηση δια αέρος. Οι εικόνες και τα δεδομένα που συλλέγονται λειτουργούν συμπληρωματικά για να ενισχύσουν τους ήδη υπάρχοντες χάρτες και την ποιότητα των πληροφοριών. Για παράδειγμα, στις πλημμύρες της Βοσνίας, τα drone αποδείχθηκαν τα πιο ικανά και καταλληλότερα εργαλεία σε σχέση με τα ελικόπτερα και τα μικρού μεγέθους αεροπλάνα, όταν χρειάστηκε η χαρτογράφηση μικρών περιοχών με ναρκοπέδια, ενώ για μεγαλύτερες εκτάσεις, χρησιμοποιήθηκαν ελικόπτερα (Gilman, 2014).

Η χαρτογράφηση μέσω δορυφόρων αποτελεί μία εναλλακτική λύση, με τις δορυφορικές εικόνες να έχουν χαμηλότερη ανάλυση, αλλά να προσφέρουν κάλυψη μεγαλύτερων εκτάσεων συγκρινόμενες με τα drone. Όταν η ανάλυση δεν αποτελεί σημαντικό κριτήριο της χαρτογράφησης, αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω δορυφόρων. Η ανάλυση κυμαίνεται από 30 cm έως 30 m και οι εικόνες καλύπτουν περιοχές μεταξύ 25-100 km<sup>2</sup>. Για αυτή τη δουλειά υπάρχουν πάροχοι που έχουν στη διάθεση τους και διατηρούν αρχείο με εικόνες δορυφόρων οι οποίες μπορεί να είναι ημερών ή εβδομάδων. Τέτοιες εικόνες μπορεί να στοιχίζουν 250-400€ για 25 km<sup>2</sup> ενώ η αποστολή τέτοιων εικόνων μπορεί να διαρκέσει από μισή έως τέσσερις ημέρες. Αντίθετα, αν οι εικόνες πρέπει να είναι πρόσφατες μπορεί να γίνει η λήψη τους μόλις ο δορυφόρος περάσει πάνω από την εν λόγω περιοχή. Το κόστος για αυτή την υπηρεσία στοιχίζει από 1.400-6.000€ για εκτάσεις 25-100 km<sup>2</sup>. Αντίθετα, τα drones που ειδικεύονται στη χαρτογράφηση μπορούν να καλύψουν περιοχές 3 km<sup>2</sup> εντός μίας ημέρας και 10 km<sup>2</sup> εντός μίας εβδομάδας με ανάλυση εικόνας 3,5-8,0 cm (Soesilo et al., 2016). Στο σχήμα 6.9 φαίνεται η σύγκριση της ίδιας εικόνας τραβηγμένης από drone και από δορυφόρο.

Τα drones έχουν κερδίσει τις εντυπώσεις στον τομέα της χαρτογράφησης, πετώντας πολλαπλά drones ταυτόχρονα για γρηγορότερη κάλυψη μεγάλων περιοχών ακόμη και σε συνθήκες νεφοκάλυψης προσφέροντας έτσι μεγαλύτερη ευελιξία σε σχέση με τους δορυφόρους. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι του τυφώνα Sandy στην Αϊτή όπου η νεφοκάλυψη διάρκειας πολλών ημερών δημιούργησε πρόβλημα στους δορυφόρους μη μπορώντας να συλλέξουν οπτικό υλικό σε αντίθεση με τα drones.



Εικόνα Drone

Πληροφορίες εικόνας: Swinglet CAM Drone  
Ημερομηνία: 10-02-2012  
Ανάλυση: 5cm  
Πνευματικά δικαιώματα: UNITAR/UNOSAT 2012  
Ανάλυση: UNITAR/UNOSAT



Εικόνα Δορυφόρου

Πληροφορίες εικόνας: DigitalGlobe WorldView-02  
Ημερομηνία: 08-02-2012  
Ανάλυση: 50cm  
Πνευματικά δικαιώματα: 2012 DigitalGlobe  
Ανάλυση: UNITAR/UNOSAT

**Σχήμα 6. 6: Σύγκριση εικόνων μέσω drone και δορυφόρων από Soesilo et al. (2016)**

Ένα άλλο παράδειγμα χαρτογράφησης είναι η πλημμύρα του Dar es Salaam όπου τα δεδομένα των αεροφωτογραφιών ήταν τόσο μεγάλα που έπρεπε να υποστούν επεξεργασία για έξι επιπλέον εβδομάδες σε επεξεργαστές υψηλής ταχύτητας. Για τη χαρτογράφηση περιοχής 88 km<sup>2</sup> με ανάλυση 5 cm εξήχθησαν 20.000 εικόνες μεγέθους 700 gigabytes, γεγονός που κατέστησε τη μεταφορά τους δυνατή μόνο μέσω σκληρού δίσκου. Αντίθετα, για μικρότερες επιχειρήσεις, που απαιτούν χαρτογράφηση μικρότερων εκτάσεων και δεν υπάρχει συμβατότητα με το GIS, η επεξεργασία και η εξαγωγή αποτελεσμάτων μπορεί να γίνει άμεσα σε μερικά δευτερόλεπτα.

Στο Νεπάλ, το 2015, τα drones βοήθησαν στη χαρτογράφηση πληγεισών περιοχών λόγω του σεισμού έντασης 7,8 ρίχτερ. Λόγω έλλειψης επικαιροποιημένου οπτικού υλικού υψηλής ποιότητας χρειάστηκε η παρέμβαση της ομάδας UAViators. Έτσι, έγιναν σεμινάρια για τη χρήση drone σε τέτοιου είδους αποστολές, ενώ στη συνέχεια οι συμμετέχοντες συνέλεξαν δεδομένα και οπτικό υλικό από τις περισσότερες πληγείσες κοινότητες του Κατμαντού. Για την χαρτογράφηση μίας περιοχής 1,5 km<sup>2</sup> χρειάστηκαν 2 ημέρες και έξι drones εμπορίου (DJI Phantoms) για εικόνες ανάλυσης 3,4 cm. Βέβαια, η ίδια διαδικασία με ένα εξειδικευμένο drone για αυτή τη δουλειά θα έπαιρνε 1 με 2 ώρες. Στο τέλος, τα ορθομωσαϊκά που εξήχθησαν από τις συλλεχθείσες εικόνες, επεξεργασμένες από την ομάδα Pix4D, ενώθηκαν και τυπώθηκαν σε αφίσες και δόθηκαν στην τοπική κοινότητα για τη σωστή διαχείριση και σχεδιασμό των επιχειρήσεων ανακούφισης (Meier, 2015).

Επιπλέον, στο Πανεπιστήμιο του Κατμαντού, διαδραματίστηκε μία πρακτική συνεδρία στον τρόπο επεξεργασίας και ανάλυσης των αεροφωτογραφιών. Σε αυτή τη συνεδρία, το Nepal Flying Labs παρουσίασε στους συμμετέχοντες το Pix4Dreact και το Picterra. Το Pix4Dreact παρέχει μία εξαιρετικά γρήγορη λύση για την επεξεργασία δεδομένων, επιτρέποντας στις ομάδες ανθρωπιστικών μη επανδρωμένων αεροσκαφών να επεξεργάζονται 1.000 αεροφωτογραφίες υψηλής ανάλυσης σε κυριολεκτικά λίγα λεπτά, κάτι που είναι ανεκτίμητο, καθώς παλαιότερα αυτό διαρκούσε ώρες (Meier, 2019).

Ένα ακόμη παράδειγμα χρήσης drone, συνέβη στην Αϊτή το 2012 στην εκδήλωση του τυφώνα για την εκτίμηση των ζημιών από τις πλημμύρες ταχύτερα από ό,τι θα μπορούσε να γίνει με δορυφορικές εικόνες (Soesilo et al., 2016). Η Αϊτή τα τελευταία χρόνια θεωρείται από τις πιο καταπονημένες χώρες λόγω των καταστροφών. Μερικές από τις καταστροφές που υπέστη είναι ο μεγάλος σεισμός, μια επιδημία χολέρας και ο τυφώνας Σάντι. Από αυτές τις καταστροφές προκλήθηκαν πολλά θύματα και άλλαξε η εικόνα της χώρας. Κτίρια, σπίτια, δημόσιες υποδομές και δρόμοι καταστράφηκαν εντελώς, ενώ χιλιάδες άνθρωποι αναγκάστηκαν να αναζητήσουν καταφύγιο σε καταυλισμούς πληγέντων. Η συνήθης χρήση drones στην Αϊτή για τέτοιες καταστάσεις, συμβαίνει διότι η χώρα πλήττεται από ακραία φυσικά φαινόμενα και καταστροφές.

Μετά την εκδήλωση του τυφώνα Sandy τον Οκτώβρη του 2012, ο ΔΟΜ πέταξε αρκετές φορές πάνω από τα κατεστραμμένα και πληγέντα κτίρια στο Butte Boyer. Τα συλλεγμένα δεδομένα υπέστησαν επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο και συγκρίθηκαν με παλαιότερα, ενώ αμέσως μία μέρα μετά την καταστροφή ο ΔΟΜ ήταν σε θέση να μπορεί να μετρήσει τα κατεστραμμένα και πλημμυρισμένα σπίτια. Μέσω αυτής της επιχείρησης χαρτογραφήθηκαν χωματερές, δρόμοι, στάσιμα ύδατα πιθανά για συγκέντρωση κουνουπιών ή ευδοκίμηση επιδημιών, σημεία υδροληψίας και περιοχών επιρρεπών σε πλημμύρες, ενώ η ομάδα Drone Adventures, δημιούργησε σχέδια καταυλισμών στο Port o Prince, πρωτεύουσα της Αϊτής. Μέσω των προηγούμενων δράσεων αποκτήθηκαν πληροφορίες, χωρίς τις οποίες θα ήταν δύσκολη και σίγουρα όχι το ίδιο αποδοτική



οποιαδήποτε ενέργεια αποκατάστασης. Όλα τα δεδομένα είναι στη διάθεση του κράτους, των οργανισμών και των φορέων της Αϊτής μέσω του OpenStreetMap (Gilman, 2014). Ο ΔΟΜ τόνισε ότι ήταν κρίσιμο να ευαισθητοποιηθούν οι πληγείσες κοινότητες στη χρήση των UAVs μέσω της τακτικής εμπλοκής της κοινότητας, ενημερώνοντάς τους για τη χαρτογράφηση και εξηγώντας τους πώς αξιοποιούνται οι πληροφορίες.

Για να μπορούν οι οργανισμοί να ανταποκριθούν σε αυτού του είδους τις έκτακτες ανάγκες χρειάζονται συνεχώς επικαιροποιημένες εικόνες. Ο Διεθνής Οργανισμός Μετανάστευσης (ΔΟΜ) χρησιμοποιεί διάφορους τύπους drones, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων που παράγουν τοπογραφικούς και τρισδιάστατους χάρτες υψηλής ακρίβειας. Ο ΔΟΜ χρησιμοποιεί τα drones πέρα από την υποστήριξη των δραστηριοτήτων αρωγής, και στην πρόληψη και μείωση των κινδύνων καταστροφών. Ωστόσο, έρευνες δείχνουν πως η άφιξη των UAVs στο σημείο της καταστροφής χρειάζεται κατά μέσο όρο 6,5 μέρες, δηλαδή πολύ περισσότερο από το κρίσιμο χρονικό περιθώριο των 72 ωρών (Murphy, 2014).

### 6.3. Αναζήτηση και διάσωση

Σημαντική είναι η και χρήση των UAVs σε αποστολές αναζήτησης και διάσωσης. Όταν προκύπτουν τέτοιες καταστάσεις ο χρόνος είναι ζωτικής σημασίας για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο να εκτιμηθεί η φύση της κατάστασης άμεσα. Το ενδιαφέρον για τη χρήση των drones στις επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης επομένως όλο και αυξάνεται. Εξαιτίας του μεγάλου αριθμού ανθρώπων που ασκούν διάφορες δραστηριότητες αδρεναλίνης, διαμένοντας είτε στα βουνά είτε σε άλλα δυσπρόσιτα μέρη, υπάρχει αυξανόμενη ανάγκη για την οργάνωση επιχειρήσεων έρευνας και διάσωσης για παροχή βοήθειας και υγειονομικής περίθαλψης στους τραυματίες. Στόχος των επιχειρήσεων αναζήτησης και διάσωσης (Search and Rescue – SAR) είναι το ‘χτένισμα’ όσο δυνατόν μεγαλύτερης περιοχής στο μικρότερο χρονικό διάστημα, καθώς και η εύρεση του χαμένου ή τραυματισμένου ατόμου. Βέβαια, ο έλεγχος μεγάλου όγκου καταγεγραμμένου υλικού παραμένει πρόβλημα. Δεν είναι εύκολο να βρεθούν αγνοούμενοι, οι οποίοι είναι σχετικά μικροί σε σχέση με την περιοχή που ερευνάται και πιθανώς να έχουν γίνει ένα με το έδαφος αφού βρίσκονται σε ασυνήθιστες θέσεις λόγω πτώσεων, τραυματισμών και εξάντλησης (Sambolek & Ivasic-Kos, 2021).

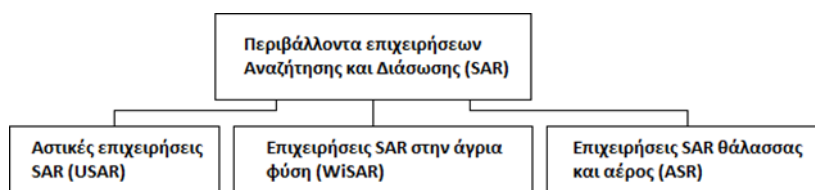
Η Ευρωπαϊκή Ένωση χρηματοδότησε ένα ερευνητικό πρόγραμμα, το ICARUS (2012-2016), με στόχο την ανάπτυξη συστημάτων αναζήτησης και διάσωσης και εύρεσης της τοποθεσίας ανθρώπων για τη διάσωση τους, σε επικίνδυνα περιβάλλοντα (Gilman, 2014). Μικρά φορητά συστήματα UAVs μπορούν να συνοδεύουν ομάδες διάσωσης για τη γρήγορη σάρωση κτιρίων για επιζώντες. Ενώ τα drones έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητά τους και τις δυνατότητες τους, δεν έχουν υιοθετηθεί πλήρως στις φάσεις διάσωσης και έκτακτης βοήθειας αμέσως μετά από μία έκτακτη ανάγκη, δηλαδή εντός 48-72 ωρών από την εκδήλωση του συμβάντος (Ibid).

Η πρώτη καταγραφή περίπτωσης drone σε αποστολή αναζήτησης γίνεται με την επιβεβαίωση ενός θανάτου σε ένα φαράγγι (Van Tilburg, 2017). Η έκθεση έδειξε την αποτελεσματική βοήθεια των drones συνδυαστικά με τις επίγειες προσπάθειες εύρεσης του θανόντος σε δύσβατες περιοχές έρευνας. Μία άλλη έρευνα, αφορούσε εμπορικά drones για χρήση σε μεγάλα υψόμετρα για την εύρεση αγνοούμενων ορειβατών (McRae et al., 2019). Ένα παράδειγμα τέτοιου είδους αποστολής είναι η πρώτη κατάβαση με σκι του

δεύτερου ψηλότερου βουνού στον κόσμο, του K2 το οποίο βρίσκεται μεταξύ Πακιστάν και Κίνας. Εκεί ενώ αρχικά χρησιμοποιήθηκε ένα τετρακόπτερο για τις ανάγκες φιλομογραφίας της κατάβασης, για την εποπτεία του βουνού, το σχεδιασμό της διαδρομής και γενικότερα για τη συλλογή δεδομένων προέκυψε η πρώτη επίσημη συνεισφορά drone σε αποστολή πάνω από τα 7.000 μέτρα. Ενώ ένας ορειβάτης βρισκόταν σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης κρεμασμένος σε μία πλαγιά άνω των 65° σε υψόμετρο των 7.000 μέτρων και για τη διάσωση του θα χρειαζόντουσαν άνθρωποι, υλικοί πόροι αλλά και χρόνος, επιστρατεύθηκε ένα drone φιλομογραφίας διαστάσεων 15x15 εκατοστών με μοναδική τροποποίηση αυτή των στροφών κινητήρα προκειμένου να πετάει σε μεγάλα υψόμετρα. Η επιτυχημένη αποστολή του ήταν να καθοδηγήσει τον ορειβάτη για τη διάσωσή του. Ταυτόχρονα, πέραν αυτού του συμβάντος, στην ίδια περίοδο αποστολής έγινε μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού όπως παρακεταμόλη και αντιφλεγμονώδη από την κατασκήνωση βάσης υψομέτρου 5.117μ. στα 7000μ.

Η χρήση drones βοηθάει σημαντικά τη διαδικασία διάσωσης χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τους διασώστες. Η τεχνολογία των drones βελτιώνεται, ενώ εισάγοντας αλγόριθμους μηχανικής μάθησης, φωτογραμμετρικούς αλγόριθμους και αλγόριθμους εντοπισμού πολλαπλών αντικειμένων βασιζόμενων σε δεδομένα χρώματος και βάθους, η ανίχνευση ανθρώπων γίνεται ολοένα και πιο αποτελεσματική (Al-Kaff et al., 2019). Έχει προταθεί μια μέθοδος ανίχνευσης θυμάτων, όπου τα drones μπορούν να ανιχνεύσουν την καρδιοπνευμονική κίνηση που προκαλείται από την περιοδική κίνηση του θώρακα των θυμάτων (Al-Naji et al., 2019). Με αυτόν τον τρόπο, ανιχνεύονται σημάδια ζωής σε διάφορες πόζες με 100% ακρίβεια. Η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην ανοιχτή θάλασσα για τον εντοπισμό θυμάτων, όπου σε συνδυασμό με το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (Global Navigation Satellite System - GNSS), προσφέρει ακριβή βοήθεια στους πρώτους ανταποκριτές σε σύντομο χρονικό διάστημα (Lygouras et al., 2019).

Πλέον, η νέα τάση στην τεχνολογία των UAVs είναι η χρήση πολλαπλών drones και όχι μόνο ενός αεροσκάφους. Η τεχνική αυτή του σμήνους UAVs (swarm) έχει αποδειχθεί ότι είναι αποτελεσματική στην αναζήτηση αγνοουμένων σε μεγάλες περιοχές, μειώνοντας το κόστος και τον χρόνο ενώ αυξάνει και διατηρεί την ποιότητα των επιχειρήσεων SAR (Meshcheryakov et al., 2019). Η χρήση της τεχνικής αυτής έχει τη δυνατότητα να σώσει το μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων στο μικρότερο χρονικό διάστημα (Alotaibi et al., 2019). Επιπλέον, οι ερευνητές πρότειναν μια νέα τεχνική που ονομάζεται αλγόριθμος πολυεπίπεδης αναζήτησης και διάσωσης (Layered Search and Rescue - LSAR), ο οποίος αυξάνει το ποσοστό των διασωθέντων όσο αυξάνεται ο αριθμός των drones. Στη βιβλιογραφία, οι αποστολές αναζήτησης και διάσωσης κατηγοριοποιούνται βάσει του περιβάλλοντός τους. Επομένως, οι αποστολές αυτές κατηγοριοποιούνται σε αστικές επιχειρήσεις SAR (Urban Search and Rescue - USAR), επιχειρήσεις SAR στην άγρια φύση (Wilderness Search and Rescue - WiSAR) και επιχειρήσεις αέρος- θάλασσας (Air-Sea Rescue - ASR). Αυτές οι τρεις είναι όλες οι αποστολές αναζήτησης και διάσωσης σε αστικό, άγριο και θαλάσσιο πλαίσιο, αντίστοιχα (Grogan et al., 2018).



**Σχήμα 6. 7: Κατηγορίες αναζήτησης και διάσωσης βάσει του περιβάλλοντος λειτουργίας**

Οι επιχειρήσεις USAR αποσκοπούν στον εντοπισμό και την παροχή βοήθειας σε πολλαπλά, ακίνητα θύματα σε ένα περιορισμένο περιβάλλον αναζήτησης. Αυτό διαφέρει από τις επιχειρήσεις SAR στην άγρια φύση (WiSAR) ή τη διάσωση από αέρος-θάλασσας (ASR). Η USAR έχει ως αποστολή τον εντοπισμό, πιθανότατα, πολλών σταθερών θυμάτων που μπορεί να είναι παγιδευμένα σε καταρρεύσαντα κτίρια ή οχήματα. Οι επιχειρήσεις WiSAR και ASR έχουν συχνά ανοικτές θέσεις αναζήτησης και έχουν ως αποστολή να εντοπίσουν ένα γνωστό αριθμό κινητών ή ημιακινήτων θυμάτων. Τα μέλη μιας ομάδας USAR σήμερα διεξάγουν συχνά έρευνες με ακουστικούς αισθητήρες, οπτικές κάμερες, κάμερες υπερύθρων (ανίχνευση θερμότητας) και ειδικά εκπαιδευμένους σκύλους (FEMA, 2017). Εξαιρουμένης της χρήσης υπερύθρων καμερών, τα υπόλοιπα εργαλεία χρειάζονται να έχουν οπτική επαφή ή χρειάζεται η συσκευή ανίχνευσης να βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από τον στόχο. Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται μερικοί αισθητήρες με τη λειτουργία τους.

**Πίνακας 6. 1: Αισθητήρες για αποστολές αναζήτησης και διάσωσης (Thavasi & Suriyakala, 2012)**

Αισθητήρες	Ανιχνεύσιμο χαρακτηριστικό	Λειτουργία
Διαδικοί Αισθητήρες	Διάφορα	Λειτουργούν επιστρέφοντας τιμές του διαδικού συστήματος (0,1). Δηλαδή επιστρέφουν τη τιμή 1 αν ανιχνεύσουν ανθρώπινη παρουσία στο εύρος της περιοχής που ερευνούν αλλιώς 0
Αισθητήρες δόνησης	Σεισμικό κύμα	Οι αισθητήρες δόνησης τοποθετούνται στο δάπεδο και μπορούν να αναγνωρίσουν σήματα από ανθρώπινα βήματα σε απόσταση. Σε άλλες εφαρμογές οι αισθητήρες αυτοί ονομάζονται σεισμικοί αισθητήρες ή γεώφωνα
Υπερήχων και λέιζερ	Απόσταση	Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την εύρεση απόστασης εκπέμποντας ένα σήμα και βάσει του χρόνου επιστροφής του υπολογίζεται η απόσταση (π.χ. αισθητήρες Doppler, τομογραφικοί αισθητήρες)
Οπτικοί αισθητήρες	Εικόνα, απόσταση, θερμότητα	Συγκρινόμενοι με άλλους αισθητήρες οι κάμερες είναι οικονομικές προσφέροντας υψηλή ανάλυση και πληροφορίες μεγέθους, σχήματος, χρώματος (π.χ. γραμμικές, έγχρωμες και με υπέρυθρες κάμερες)
Αισθητήρες θερμότητας	Θερμότητα	Οι πυροηλεκτρικοί αισθητήρες είναι σχεδιασμένοι για την ανίχνευση ανθρώπων. Κατασκευάζονται από κρυσταλλικό υλικό που δημιουργεί επιφανειακό ηλεκτρικό φορτίο κατά την έκθεση του σε θερμότητα με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας και είναι ευαίσθητοι στο μήκος του ανθρώπινου θερμικού κύματος (8-14 μm). Αυτοί οι αισθητήρες είναι πολύ ευαίσθητοι, φθινοί και ανθεκτικοί. Αποτελούνται από 2 αισθητήρες υπερύθρων, ώστε να ανιχνεύουν τον άνθρωπο μόνο εάν ο αισθητήρας ή ο άνθρωπος κινείται.
Αισθητήρες υπερύθρων	Θερμότητα	Επιστρέφουν τη μέση θερμοκρασία του οπτικού πεδίου. Ορισμένα από τα θερμοστοιχεία είναι πλήρως ενσωματωμένα και μπορούν να δώσουν μια ακριβή τιμή της θερμοκρασίας. Επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ανθρώπων
Αισθητήρες ήχου	Ήχο	Οι αισθητήρες ήχου όπως τα μικρόφωνα μπορούν να αναγνωρίσουν τον ήχο της ανθρώπινης φωνής. Βέβαια όταν επικρατεί φασαρία αυτό είναι δύσκολο, όμως μετά από μία καταστροφή η συνήθης πρακτική είναι η επικράτηση ησυχίας προκειμένου να αναγνωριστεί κάποια φωνή
Αισθητήρες CO <sub>2</sub>	Αέρια	Αυτοί οι αισθητήρες αναγνωρίζουν εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα προκειμένου να ανιχνεύσουν αν το θύμα είναι ζωντανό ή όχι. Ο αισθητήρας έχει πολύ χαμηλή απόκριση και επιπλέον πρέπει να διατηρείται πολύ κοντά στο θύμα, καθώς είναι κατευθυντικός
Αισθητήρες SpO <sub>2</sub>	Οξυγόνο στο αίμα, παλμούς	Παρόμοια με τον αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα χρησιμοποιείται για την διαπίστωση αν το θύμα είναι ζωντανό. Χρειάζεται κοντινή επαφή με το θύμα και μετράει τα επίπεδα οξυγόνου στο αίμα εκπέμποντας ένα κόκκινο φως επάνω στο δέρμα

Βέβαια, την τελευταία δεκαετία, με την έκρηξη χρήσης κινητού τηλεφώνου διαμορφώθηκαν και άλλου τύπου αισθητήρες. Το 2015, στα 100 άτομα οι 97 ήταν συνδρομητές κινητής τηλεφωνίας (International Telecommunication Union, 2022). Όταν τα

κινητά τηλέφωνα είναι ανοιχτά εκπέμπεται πλήθος σημάτων. Πολλοί ερευνητές διερευνούν τη δυνατότητα παθητικής ή ενεργητικής ανίχνευσης τέτοιων σημάτων. Ο ασύρματος αισθητήρας είναι μια συσκευή που προσπαθεί να ανιχνεύσει την ύπαρξη ασύρματων σημάτων, με τον ίδιο τρόπο που ένας φορητός υπολογιστής μπορεί να αναζητήσει σήματα WiFi και προσπαθεί να συνδεθεί σε αυτά. Με τη διάδοση και την ικανότητα ανίχνευσης συσκευών κινητής τηλεφωνίας, συνδυαστικά με την αύξηση της δημοτικότητας των drones, υπάρχει η ευκαιρία ενσωμάτωσης της τεχνολογίας ασύρματων αισθητήρων στην εργαλειοθήκη των αποστολών αναζήτησης και διάσωσης.

Στην μελέτη των Sardouk et al. (2010), χρησιμοποιούνται ασύρματα δίκτυα αισθητήρων για να βοηθήσουν στη διαχείριση κρίσεων. Οι Acuna et al. (2017) χρησιμοποιούν ασύρματο αισθητήρα για να αναπτύξουν έναν χάρτη πιθανοτήτων της θέσης ενός χαμένου ατόμου. Ο Liu (2014), χρησιμοποιεί ασύρματο ανιχνευτή Nokia N900 στη μέθοδό του για τη δημιουργία ενός χάρτη αβεβαιότητας. Μια άλλη μελέτη, παρουσιάζει τη χρήση των drones για τον εντοπισμό ανθρώπων σε χιονισμένο περιβάλλον βουνού. Τα περισσότερα θύματα της ορεινής διάσωσης είναι τραυματισμένα, άρρωστα ή χαμένα, ενώ ορισμένα έχουν εμπλακεί σε ατυχήματα με χιονοστιβάδες (Karaca et al., 2018). Βάσει των κατευθυντήριων γραμμών της Wilderness Medical Society Practice Guidelines for Prevention and Management of Avalanche and Non-avalanche Snow Burial Accidents, το κρίσιμο διάστημα προσέγγισης τραυματία για διάσωση στο βουνό είναι η πρώτη μία ώρα (Van Tilburg, 2017). Η έρευνα αυτή έγινε για τη σύγκριση δύο διαφορετικών μεθόδων διάσωσης, της κλασικής μεθόδου, δηλαδή της προσέγγισης του θύματος με τα πόδια και της μεθόδου, όπου εμπλέκεται ένα drone και ένα snowmobile. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε υψόμετρο 2150 m στην περιοχή του βουνού Zigana στην επαρχία Gümüşhane στη βόρεια Τουρκία ενώ η έρευνα χωρίζεται στην εύρεση του θύματος και στην προσέγγισή του. Στην ομάδα της κλασικής μεθόδου συμμετείχαν πέντε πιστοποιημένοι διασώστες, ενώ στην άλλη ομάδα συμμετείχαν 3 άτομα (πιλότος drone, διασώστης, οδηγός snowmobile). Το drone που χρησιμοποιήθηκε ήταν το DJI Phantom 3 Pro. Και οι δύο έρευνες πραγματοποιήθηκαν τον Μάρτιο του 2017.



**Σχήμα 6. 8: Εικόνα αναγνώρισης του θύματος από Karaca et al. (2018)**

Παρακάτω στον Πίνακα 6.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας με τους χρόνους προσέγγισης και εύρεσης των θυμάτων. Είναι φανερή η διαφορά τάξης μεγέθους των αποτελεσμάτων τόσο στο χρόνο της πρώτης επαφής με το θύμα όσο και στη διαφορά εμβαδών που καλύπτονται από τα drones.

**Πίνακας 6. 2: Αποτελέσματα των δύο μεθόδων έρευνας και διάσωσης (Karaca et al., 2018)**

A/A	Κλασική μέθοδος			Μέθοδος drone- snowmobile		
	Πρώτη επαφή (min)	Ερευνηθείσα περιοχή (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup> /min.	Πρώτη επαφή(min)	Ερευνηθείσα περιοχή (m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup> /min.
1	39.0	66,408	1702.8	7.7	168,395	28,065.8
2	53.1	78,209	1475.6	8.2	217,624	33,225.1
3	67.1	88,664	1323.3	8.5	239,602	35,080.8
4	95.0	120,891	1272.5	11.2	310,981	32,734.8
5	50.2	85,861	1717.2	5.6	192,224	49,162.1
6	95.2	104,479	1099.8	13.1	346,268	30,294.7
7	54.0	98,385	1821.9	7.4	144,480	25,302.9
8	61.1	77,378	1268.5	4.2	138,945	54,488.2
9	59.1	87,980	1503.7	9.7	266,722	33,340.3
10	56.1	99,375	1774.6	12.9	313,525	27,968.3

Άλλες ασκήσεις προσομοίωσης χρησιμοποίησαν ένα σύστημα τηλεκατευθυνόμενου αεροσκάφους εξοπλισμένου με διάφορους αισθητήρες (βιντεοκάμερα, φάρο χιονοστιβάδας και φορέα εργαλείων για εξοπλισμό, όπως λέιζερ, άγκιστρο απελευθέρωσης και προβολέα). Οι ερευνητές κατέληξαν ότι το UAV είναι ικανό να βοηθήσει στην εκτίμηση της κατάστασης και στη λήψη αποφάσεων κατά τη διάρκεια μεγάλων συμβάντων. Η εύρεση ατόμων σε μεγάλο υψόμετρο μόνο με τη χρήση εικόνων ήταν δύσκολη, αλλά με την τοποθέτηση ενός μικροφώνου συστοιχίας στο drone για την ανίχνευση της ανθρώπινης φωνής και του YOLO v3, ενός αλγορίθμου βαθιάς μάθησης για την ανίχνευση ανθρώπων από εικόνες, η αποστολή στέφθηκε με επιτυχία (Yamazaki et al., 2020). Μέσω αρκετών προσομοιωμένων αποστολών SAR, αναπτύχθηκε ένα σύστημα εντοπισμού βασιζόμενο σε μια κάμερα, με το οποίο καθίσταται ικανή η αναγνώριση του στόχου, ενώ βρίσκει εφαρμογή και σε αποστολές χαρτογράφησης (Sun et al., 2016). Το σύστημα αποτελείται από το drone, ένα σύστημα επικοινωνίας, έναν αυτόματο ανιχνευτή κεραιών, κάμερες και μια ενσωματωμένη πλακέτα επεξεργασίας που ονομάζεται Odroid.

Τέλος, η Υπηρεσία Πυροσβεστικής του Μάντσεστερ (Greater Manchester Fire and Rescue Service - GMFRS) πρόσθεσε στην εργαλειοθήκη της ένα drone για την αντιμετώπιση εκτάκτων αναγκών τον Ιούλιο του 2015. Η GMFRS είναι μία από τις πρώτες υπηρεσίες πυρόσβεσης και διάσωσης στον κόσμο που έχουν υιοθετήσει τη λειτουργία drone όλο το εικοσιτετράωρο για την αντιμετώπιση διαφόρων κρίσεων, ενώ φαίνεται αυτό να παρακινεί και άλλες πυροσβεστικές υπηρεσίες και στο υπόλοιπο Ηνωμένο Βασίλειο. Η Μονάδα Αναγνώρισης Εναέριας Εικόνας, γνωστή ως Μονάδα AIR-Aerial Imagery Reconnaissance Unit, είναι η μοναδική στο είδος της στο Ηνωμένο Βασίλειο και ίσως στον κόσμο. Η Μονάδα AIR ανταποκρίνεται σε περιστατικά σχεδόν καθημερινά, μέσω της εναέριας απεικόνισης περιστατικών έως τη διεξαγωγή έρευνας και διάσωσης με θερμικές κάμερες (Soesilo et al., 2016).

Μεταξύ Ιουλίου 2015 και Μαΐου 2016, η μονάδα AIR πέταξε 161 αποστολές, με έως και τρεις πτήσεις την ημέρα. Για να διαπιστώσει εάν το drone θα προσέθετε αξία στις ομάδες

πυρόσβεσης και για να εκτιμήσει εάν ήταν δυνατόν να δικαιολογήσει το κόστος, το GMFRS ξεκίνησε με μια αρχική δοκιμή, με ένα drone και μερικούς εκπαιδευμένους πιλότους. Οι πυροσβέστες εκπαιδεύτηκαν να χειρίζονται το drone και να αναλύουν τα δεδομένα που συλλέγονταν. Κατά τη διάρκεια μίας δοκιμής, ένα drone που συνόδευε αρκετούς πυροσβέστες στο εσωτερικό ενός κτιρίου, μπόρεσε να εντοπίσει ότι οι πυροσβέστες εργάζονταν σε έναν μη υποστηριζόμενο τοίχο. Ο χειριστής του drone ενημέρωσε την ομάδα, η οποία έλαβε μέτρα για να διασφαλίσει την ασφάλειά τους. Για την GMFRS, αυτή η περίπτωση απέδειξε την αξία των drones για τους πυροσβέστες. Στο Σχήμα 6.6 παρουσιάζονται μερικά από τα περισσότερο χρησιμοποιούμενα drones σε αποστολές αναζήτησης και διάσωσης.



**Σχήμα 6. 9: Συχνά χρησιμοποιούμενα drone για εφαρμογές αναζήτησης και διάσωσης**

## 6.4. Μετάδοση πληροφοριών και παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο

Λόγω του σχετικά χαμηλού κόστους, της ευελιξίας, της ικανότητας ελιγμών, της ικανότητας ταχείας πλοήγησης και της ευκολίας χρήσης τους, τα drones μπορούν να αναπτυχθούν αποτελεσματικά για την παρακολούθηση περιοχών καταστροφών που εξαπλώνονται και να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σε επιχειρήσεις ανακούφισης από καταστροφές. Η μετάδοση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο (real-time information) ενσωματώνεται στο κομμάτι της χαρτογράφησης, στη μεταφορά φορτίου και σε αποστολές αναζήτησης και διάσωσης. Η πιο συνηθισμένη χρήση των UAVs στην ανθρωπιστική βοήθεια σήμερα είναι η συλλογή δεδομένων. Πρακτικά πρόκειται για μία ικανότητα των drones και όχι για μία αυτή κάθε αυτή εφαρμογή. Τα πιο εξελιγμένα συστήματα μπορούν να μεταδίδουν είτε απευθείας είτε μέσω διαδικτύου μία ζωντανή ροή. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να βοηθήσουν σε εργασίες όπως:

- Ταχεία εκτίμηση ζημιών, σε καταρρεύσαντα κτίρια ή αποκλεισμένους δρόμους
- Παρακολούθηση της διανομής προμηθειών
- Εύρεση αγνοουμένων
- Εντοπισμό και ανάλυση ετοιμόρροπων οικισμών
- Εύκολη επιμέτρηση προμηθειών

Ακόμη, και τα φθηνότερα συστήματα UAVs, μπορούν να βοηθήσουν σε αυτές τις εργασίες, συχνά χρησιμοποιώντας τυπικές κάμερες. Στον τυφώνα Χαϊγιάν το 2013 στις Φιλιππίνες, η Danoffice IT βοήθησε στη φάση της αποκατάστασης από τις καταστροφές στη πόλη Τακλομπάν συνεργαζόμενη με ΜΚΟ. Ένα drone κατηγορίας τετρακοπτέρου, το Huginn X1, με προσαρτημένες δύο κάμερες, μία έγχρωμη υψηλής ευκρίνειας και μία θερμική παρακολουθούσε την περιοχή με ζωντανή μετάδοση πληροφοριών. Το συγκεκριμένο drone μπορούσε να πετάξει έως και 2 χλμ. από τον χειριστή του με μέγιστο χρόνο πτήσης τα 25 λεπτά. Έγινε μια σειρά επιχειρήσεων εντός και γύρω της Tacloban παρέχοντας μια εναέρια εικόνα των δρόμων, των κατεστραμμένων κτιρίων και άλλων σημαντικών πληροφοριών. Μέσω των πτήσεων έγινε εκτίμηση των ζημιών και μία προμέτρηση των υλικών που θα χρειαστούν για την επιδιόρθωση τους. Αυτό ήταν ένα από τα χρήσιμα παραδείγματα των UAVs, στο πλαίσιο του τυφώνα Χαϊγιάν, και παρέχει ένα κίνητρο για περαιτέρω χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών σε δραστηριότητες αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης. Την ίδια περίοδο, έφτασε μια μικρή ομάδα εμπειρογνομόνων, σύμπραξης εταιρειών του ιδιωτικού τομέα και της NetHope, μιας κοινοπραξίας ΜΚΟ με ένα drone εμβέλειας 5 χλμ. Και βιντεοκάμερα υψηλής ανάλυσης, για να βοηθήσουν και εκείνοι τις ανθρωπιστικές οργανώσεις (Gilman, 2014).



**Σχήμα 6. 10: Το drone senseFly Ebee, χρησιμοποιείται για χαρτογράφηση στην Αϊτή το 2013 (Gilman, 2014)**

Στις Φιλιππίνες δεν υπήρχε η απαραίτητη νομοθεσία, οπότε η χρήση του drone εγκρίθηκε μέσω ειδικής συμφωνίας με τον δήμαρχο της Τακλομπάν (Meier & Soesilo, 2014). Το drone χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την εύρεση της κατάλληλης τοποθεσίας για τη βάση των επιχειρήσεων (Gilman, 2014) και στη συνέχεια για να ελέγξει αν οι δρόμοι ήταν βατοί, μια εργασία που θα μπορούσε να διαρκέσει ημέρες αν γινόταν με τα πόδια ή ακόμη και με ελικόπτερο. Το drone πέταξε μέχρι την ακτή για την αξιολόγηση των ζημιών λόγω της καταιγίδας και των πλημμυρών, για να δει ποια χωριά είχαν υποστεί καταστροφές. Επίσης, τα drones υποστηρίχθηκαν με λειτουργίες που θα μπορούσαν να εντοπίσουν επιζώντες στα συντρίμμια. Ο Zhiang Cheng, υποψήφιος διδάκτορας σχεδιασμού συστημάτων εξερεύνησης στη Σχολή Εξερεύνησης της Γης και του Διαστήματος, δημιούργησε ένα σύστημα τεχνητής νοημοσύνης συνεργαζόμενο με drone για την ταχεία αξιολόγηση, χαρτογράφηση και καθοδήγηση των ερευνητών σε περιοχές που είναι πιθανότερο να υπάρχουν παγιδευμένα άτομα. Μετά την πτήση των drones, δημιουργείται αυτόματα ένας χάρτης θερμότητας ζημιών, που στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την καθοδήγηση της έρευνας και διάσωσης. Παρακάτω στον Πίνακα 6.3 φαίνονται μερικές μελέτες περίπτωσης ανθρωπιστικής βοήθειας όπου χρησιμοποιήθηκαν drones (Seckel & Greguska, 2022).



**Πίνακας 6. 3: Μελέτες Περίπτωσης Μετάδοσης Πληροφοριών και Παρακολούθησης Καταστροφής σε Πραγματικό Χρόνο Soesilo et al. (2016)**

Μελέτη Περίπτωσης	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Εφαρμογή</b>	Χαρτογράφηση πλημμυρών για μείωση του κινδύνου καταστροφής	Μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού	Ανάλυση ζημιών από το σεισμό	Χωρική μοντελοποίηση των αφαιρεθέντων ναρκών	Ανάλυση ζημιών από τον τυφώνα	Ανάλυση ζημιών από τον τυφώνα	Απογραφή μετά το σεισμό	Διαχείριση καταυλισμών
<b>Τοποθεσία</b>	Τανζανία	Παπούα Νέα Γουινέα	Νεπάλ	Βοσνία Ερζεγοβίνη	Φιλιππίνες	Αϊτή	Αϊτή	Αϊτή
<b>Κάλυψη Έκτασης</b>	Χαρτογραφημένη περιοχή: 88km <sup>2</sup>	Απόσταση ανά πτήση: 25km	Χαρτογραφημένη περιοχή: 1,5km <sup>2</sup>	13 τοποθεσίες χαρτογράφησης, max: 2,5 km <sup>2</sup>	Χαρτογραφημένη περιοχή: 48,6km <sup>2</sup>	Χαρτογραφημένη περιοχή: 2km <sup>2</sup>	Χαρτογραφημένη περιοχή: 30km <sup>2</sup>	-
<b>Αποτέλεσμα</b>	Ψηφιακοί χάρτες, 3d μοντέλα επιφάνειας	Μεταφορά ιατρικών προμηθειών	Εναέριες φωτογραφίες και χάρτες	Εναέριες φωτογραφίες, 3d μοντέλα	Εναέριες φωτογραφίες και χάρτες	Εναέριες φωτογραφίες, 3d μοντέλα	Εναέριες φωτογραφίες και χάρτες	Εναέριες φωτογραφίες, 3d μοντέλα
<b>Οργανισμός που αφορά</b>	Παγκόσμια Τράπεζα και η ομάδα Humanitarian OpenStreetMap	Médecins Sans Frontières	UAViators	Belgian Royal Military Academy	Medair	IOM	IOM	IOM
<b>Οργανισμός που του έχει ανατεθεί</b>	Drone Adventures	Matternet	Kathmandu University	B-FAST	Drone Adventures	IOM	IOM	IOM
<b>Μοντέλο drone</b>	Sensefly eBee	Matternet One	DJI Phantom3 Advanced	MD4-1000	Sensefly eBee	Sensefly Swinglet	Sensefly Swinglet και eBee	Sensefly Swinglet και eBee

Μελέτη Περίπτωσης	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Εφαρμογή</b>	Πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο μετά τον τυφώνα Χαϊγιάν	Εκτιμήσεις ζημιών από καταστροφές	Προσομοίωση ανταπόκρισης σε έκτακτης ανάγκης	Υπηρεσίες πυρόσβεσης και διάσωσης	Ζημιές στο οδικό δίκτυο μετά το σεισμό	Χαρτογράφηση και αξιολόγηση ζημιών κτιρίων	Μείωση κινδύνων καταστροφής στα βουνά του Παμίρ-Τατζίκ	Μετριάσμος απωλειών από πλημμύρες και ξηρασία
<b>Τοποθεσία</b>	Φιλιππίνες	Βανάτου	Γαλλία	Ηνωμένο Βασίλειο	Εκουαδόρ	Εκουαδόρ	Τατζικιστάν	Μαλάουι
<b>Κάλυψη Έκτασης</b>	Πολλές αποστολές	Χαρτογραφημένη περιοχή: 10km <sup>2</sup>	-	-	1.000km οδικού δικτύου	Χαρτογραφημένη περιοχή: 3,2km <sup>2</sup> και 5km <sup>2</sup>	Χαρτογραφημένη περιοχή: 23km <sup>2</sup> και 28km <sup>2</sup>	Χαρτογραφημένη περιοχή: 15km <sup>2</sup>
<b>Αποτέλεσμα</b>	Ζωντανή μετάδοση HD και θερμικές εικόνες	Βίντεο, εναέριες φωτογραφίες, 3D μοντέλα	Αναζήτηση και Διάσωση	Αναζήτηση και διάσωση	Εναέριες φωτογραφίες και χάρτες	Εναέριες φωτογραφίες και χάρτες	Εναέριες φωτογραφίες, 3d μοντέλα	Εναέριες φωτογραφίες, 3d μοντέλα
<b>Οργανισμός που αφορά</b>	Danoffice IT, Rubicon Team, Palantir	World Bank	CartONG/FSD	Υπηρεσία Πυροσβεστικής Manchester	UAViators	GlobalMedic	FSD, Focus Humanitarian Assistance	FSD, COOPI
<b>Οργανισμός που έχει ανατεθεί</b>	Danoffice IT	Heliwest, Αυστραλία, και X-Craft, Νέα Ζηλανδία, συντονιζόμενοι από τους UAViators	Omnisight, Drone Adventures	Υπηρεσία Πυροσβεστικής Manchester	UAViators	AeroVision Canada, GlobalMedic	FSD και CartONG	FSD
<b>Μοντέλο drone</b>	Huginn X1	Indago, 960L, DJI Phantom2 Vision+, UX-5	Albris, Sensefly eBee, MD4-200	Aeryon SkyRanger	DJI Phantom3 Professional, Inspire 1, Sensefly eBee	DJI Inspire 1 Pro, SkyRanger	Sensefly eBee	Sensefly eBee

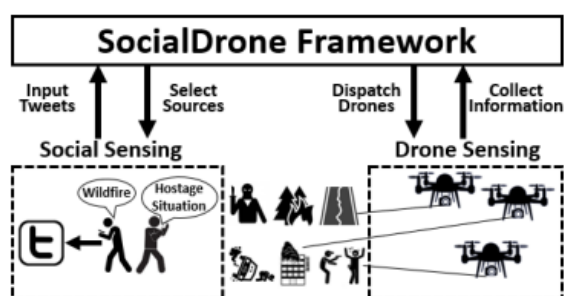
Πέρα από την υποστήριξη των drones στη φάση της ανταπόκρισης, αυτά μπορούν να βοηθήσουν και στις υπόλοιπες φάσεις του κύκλου διαχείρισης καταστροφών. Οι εφαρμογές μετριάσμου με τη χρήση τηλεπισκόπησης στηρίζονται στο HAZUS, ένα λογισμικό εκτίμησης και μοντελοποίησης κινδύνων με σύστημα GIS, που αναπτύχθηκε από την Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Εκτάκτων Αναγκών των Ηνωμένων Πολιτειών, το οποίο χρησιμοποιεί ψηφιακά μοντέλα υψομέτρου (Digital Elevation Model-DEM) προερχόμενα από δορυφόρους και επανδρωμένα αεροσκάφη για την πρόβλεψη πλημμυρών και ζημιών από πλημμύρες και τσουνάμι (Kucharczyk & Hugenholtz, 2021). Η υποστήριξη της διαχείρισης καταστροφών μέσω τηλεπισκόπησης με τη χρήση παραδοσιακών πλατφορμών (δορυφόροι και επανδρωμένα αεροσκάφη) είναι γενικά καθιερωμένη και λειτουργική (Voigt et al., 2016) συγκρινόμενη με τη χρήση μικρών (<25 kg) drones. Επειδή τα μικρά drones, όμως, έχουν προφανή πλεονεκτήματα, όπως ευελιξία στην ανάπτυξη τους και είναι οικονομικά προσιτά, αρχίζουν να χρησιμοποιούνται πολύ συχνότερα.

Το πρόβλημα με τις παραδοσιακές πλατφόρμες, αλλά και γενικά η πρόκληση στις καταστροφές είναι η δυναμική διαχείρισή τους. Ένα παράδειγμα δυναμικής εφαρμογής των drones στη φάση της ανταπόκρισης είναι η χρήση τους σε πυρκαγιές, μία από τις πιο επικίνδυνες καταστροφές. Οι πυρκαγιές καταστρέφουν εκατομμύρια στρέμματα γης κάθε χρόνο. Για τον μετριάσμό τέτοιων καταστροφών, είναι απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση της ανάπτυξης των πυρκαγιών. Η πρόκληση είναι πως η εξάπλωση μίας πυρκαγιάς είναι πολύ γρήγορη, επομένως υπάρχει επείγουσα ανάγκη δυναμικής παρακολούθησης της με ακρίβεια για να παρέχονται σε πραγματικό χρόνο οι τρέχουσες συντεταγμένες του συνόρου της πυρκαγιάς. Δεδομένου ότι η δορυφορική κάλυψη έχει περιοδικότητα, προτιμότερη είναι η κάλυψη με drone (Savkin & Huang, 2020). Το drone μπορεί να παρακολουθεί τη θέση της πυρκαγιάς και την περιοχή κάλυψης και να παρέχει ευκολία στην πυρόσβεση μέσω της μετάδοσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Μια μελέτη δείχνει ότι το ποσοστό ανίχνευσης πυρκαγιάς με τη χρήση της τεχνολογίας drone είναι 87,7%, γεγονός που δείχνει ότι το UAV έχει υψηλή αξία για την ανίχνευση πυρκαγιών (Yang, Qian & Gao, 2021).

Τα πεδία των πυρκαγιών βέβαια, μπορεί να είναι πολλαπλά και πολύ μεγάλα, επομένως ένα μόνο drone δεν θα μπορούσε να παρατηρήσει ένα τόσο μεγάλο όριο πυρκαγιάς ακόμη και σε μεγάλα ύψη. Σε τέτοιου είδους καταστροφές απαιτείται ένα δίκτυο μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Έτσι, μία μελέτη ασχολήθηκε με τη δυναμική παρακολούθηση καταστροφών (πυρκαγιές, υπεράκτιες πετρελαιοκηλίδες, πλημμύρες και διαρροές άνθρακα εξετάζοντας ένα δίκτυο εναέριων drones για την παρακολούθηση μιας κινούμενης καταστροφής, προκειμένου τα drones να βρίσκονται συνεχώς στο όριο της κινούμενης καταστροφής (Bai & Wang, 2020; Yang et al., 2021). Μικρά drones χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ζωντανής εικόνας, για να παρέχουν εικόνα σχετικά με πιθανά μπλοκαρίσματα δρόμων ή για τη γρήγορη αξιολόγηση δομών και υποδομών (ideaForge, 2019).

Άλλες προσεγγίσεις για την υποστήριξη των ανταποκριτών σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης βασίζονται στη χρήση πληροφόρησης προερχόμενης από τους ίδιους τους ανθρώπους (crowd sourcing information), οι οποίες περιγράφονται στις εργασίες Laskey (2013) και Abu- Elkheir et al. (2016). Η χρήση εικόνων, βίντεο και ενημερώσεων κατάστασης στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης προσφέρει πληροφορίες στους πρώτους ανταποκριτές κατά τη διάρκεια ενός συμβάντος έκτακτης ανάγκης (Moeyersons et al., 2018). Εξαιτίας της

θορυβώδους φύσεως των κοινωνικών μέσων, η διαδικασία εντοπισμού αξιόπιστων πληροφοριών είναι δύσκολο έργο. Σε μία μελέτη των Rashid et al., (2020) παρουσιάστηκε το SocialDrone, ένα πλαίσιο κλειστού βρόχου ενεργής κοινωνικής και φυσικής πληροφόρησης, που ενσωματώνει τα social media και τα drones στην αντιμετώπιση καταστροφών. Στο SocialDrone, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.11, τα σήματα που εκπέμπονται από τα μέσα κοινωνικής δικτύωσης φιλτράρονται για να οδηγήσουν τα drones στις πληγείσες περιοχές για να επαληθεύσουν τη κατάσταση. Τα αποτελέσματα της επαλήθευσης συλλέγονται για να βελτιωθεί η ανίχνευση δεδομένων κατά τη διαδικασία πληροφόρησης από τα social media. Το SocialDrone εξετάζει προκλήσεις όπως, αν είναι δυνατόν να οδηγηθούν τα drones χρησιμοποιώντας αναξιόπιστα σήματα των social media (π.χ. Twitter, Instagram) και πώς θα διασφαλιστεί το σύστημα να είναι προσαρμοστικό στην δυναμική πληροφόρηση. Αυτό έχει επιτευχθεί μέσω τεχνικών θεωρίας παιγνίων, μηχανικής μάθησης και βελτιστοποίησης.



**Σχήμα 6. 11: Σχηματική απεικόνιση του SocialDrone (Rashid et al., 2020)**

Οι Kotsiantis et al., (2007) παρουσιάζουν διάφορες μεθόδους ταξινόμησης, στηριζόμενες στη μηχανική μάθηση. Παρακάτω φαίνεται ένας πίνακας των διαφόρων χαρακτηριστικών μιας επιλογής τεχνικών μηχανικής μάθησης. Ένα νευρωνικό δίκτυο (Neural Network-NN) και μια Μηχανή Διανυσματικής Υποστήριξης (Support Vector Machine-SVM) έχουν καλύτερη ακρίβεια, αλλά πιο αργούς χρόνους εκμάθησης συγκρινόμενες με τη Μάθηση Κανόνων (Rule Learning-RL) και το Δέντρο Αποφάσεων (Decision Tree-DT). Μία σημαντική διαφορά μεταξύ των άλλων μεθόδων σε σύγκριση με την SVM, είναι ότι η μέθοδος SVM είναι δυαδική, και επομένως στην περίπτωση προβλήματος πολλαπλών κλάσεων πρέπει να απλοποιηθεί το πρόβλημα σε περισσότερα προβλήματα δυαδικής ταξινόμησης (Moeyersons et al., 2018). Τα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων μπορούν να μαθαίνουν από διαφορετικά σύνολα δεδομένων με σκοπό να γίνονται όλο και πιο αποτελεσματικά υποστηρίζοντας τους φορείς αντιμετώπισης περιστατικών στη λήψη αποφάσεων.

**Πίνακας 6. 4: Βαθμολόγηση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης (Moeyersons et al. 2018)**

	<b>Δέντρα Αποφάσεων</b> (Lim et al., 2000; Murthy, 1998; Yildiz & Dikmen, 2007)	<b>Νευρωνικά Δίκτυα</b> (Lim et al., 2000)	<b>Μηχανή Διανυσματικής Υποστήριξης</b> (Burges, 1998; Cristianini & Shawe, 2000)	<b>Μάθηση Κανόνων</b> (Fürnkranz, 1997, 1999, 2001)
Γενική ακρίβεια	**	***	****	**
Ταχύτητα εκμάθησης	***	*	*	**
Ταχύτητα απόφασης	****	****	****	****
Ανοχή ελλειψών τιμών	***	*	**	**
Ανοχή σε ανεξάρτητα χαρακτηριστικά	**	***	***	**
Κίνδυνος υπερπροσαρμογής	**	*	**	**
Προσπάθειες σταδιακής μάθησης	**	***	**	*
Επίλυση προβλημάτων πολλαπλών κατηγοριών	****	****	**	****

Για την απόκτηση δεδομένων επομένως φαίνεται η αξία της συνεργατικής απόκτησης πληροφορίας και όχι μόνο της συλλογής πληροφορίας μέσω drones. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση drones και συσκευών IoT. Η cloud-based επικοινωνία μπορεί να βοηθήσει στην παροχή και αποθήκευση των δεδομένων και στην πρόσβαση σε αυτά από οπουδήποτε και ανά πάσα στιγμή. Οι δορυφορικές εικόνες, το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT), τα χωρικά δεδομένα, το crowdsourcing, τα αρχεία των social media, τα ίχνη GPS, οι λεπτομέρειες αρχείων κλήσεων κινητής τηλεφωνίας (CDR), οι εναέριες εικόνες και βίντεο από drones, η πληροφόρηση μέσω της τεχνικής LiDAR είναι μερικές από τις κύριες πηγές μεγάλων δεδομένων για την αντιμετώπιση καταστροφών (Cumbane & Gidófalvi, 2019). Είναι επίσης δυνατό να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με την ανθρώπινη αναπνοή κάτω από συντρίμια, την πυκνότητα του ανθρώπινου πλήθους αλλά και πόρων που φέρουν ετικέτες RFID.

Οι Arslan et al. (2017) διαπίστωσαν ότι υπάρχει μεγάλη ποικιλία δεδομένων, διαθέσιμων για κάθε φάση της διαχείρισης καταστροφών και ότι η αντιστοίχιση τους με διαφορετικού τύπου καταστροφές αποτελεί σημαντική πρόκληση. Οι Yu et al. (2018) αντιστοίχησαν τη σύνδεση μεταξύ των φάσεων διαχείρισης καταστροφών, των μεγάλων δεδομένων (Big Data) και των τύπων καταστροφών.

**Πίνακας 6. 5: Παράδειγματα εφαρμογών Big Data για διαχείριση καταστροφών (Yu et al. 2018)**

<b>Διαχείριση αποφάσεων καταστροφών</b>	<b>Πηγή Δεδομένων</b>	<b>Πεδία Εφαρμογών</b>
<b>Εκτίμηση καταστροφών</b>	Δορυφορικές εικόνες, drones, social media, crowdsourcing, IoT, ασύρματοι αισθητήρες	Σεισμοί, πλυμμήρες, τυφώνες, ανεμοστρόβιλοι
<b>Συντονισμός και απάντηση μετά την εκδήλωση καταστροφής</b>	Δορυφορικές εικόνες, drones, social media, crowdsourcing, IoT, ασύρματοι αισθητήρες, LiDAR, GPS και άλλοι συνδυασμοί	Σε όλες τις φυσικές καταστροφές

Η χρήση των drones για παρακολούθηση και παράδοση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, εγείρει ακόμα έντονες αντιδράσεις, καθώς θίγει κοινωνικά και ηθικά ζητήματα, τα

οποία προσπαθεί να διαχειριστεί η επιστημονική κοινότητα. Ξεχωριστή ανησυχία που σχετίζεται με την παρακολούθηση, αποτελεί για την κοινότητα η προστασία της ιδιωτικής ζωής των ανθρώπων.

## 6.5. Μεταφορά ωφέλιμου φορτίου

Προηγουμένως αναλύθηκε η συλλογή πληροφοριών ως εφαρμογή των drones. Αυτή αποτελεί μόνο μία από τις εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας. Η συνεχώς αναπτυσσόμενη αγορά UAVs και η αυξανόμενη ζήτηση για στοχευμένη παράδοση ανοίγει το δρόμο για την δημιουργία γρήγορων, και οικονομικά αποδοτικών συστημάτων παράδοσης ωφέλιμου φορτίου μέσω drones, με πολλές δυνατότητες στην αποτελεσματική αντιμετώπιση καταστροφών και την παροχή ιατρικής βοήθειας και βασικών αγαθών σε εγκλωβισμένες κοινότητες. Στις μεγάλης κλίμακας φυσικές και ανθρωπογενείς καταστροφές, η πληθώρα ζημιών και απωλειών σε περιουσίες και ζωές αποτελούν λόγο παράλυσης αφήνοντάς κοινότητες αβοήθητες χωρίς ιατρική βοήθεια ή βασικά αγαθά για τη διατροφή τους. Τα τελευταία 30 χρόνια, οι κλιμακούμενες επιπτώσεις από τις καταστροφές έχουν οδηγήσει σε αύξηση 100-150% των απωλειών υλικής περιουσίας (Wirtz et al., 2014).

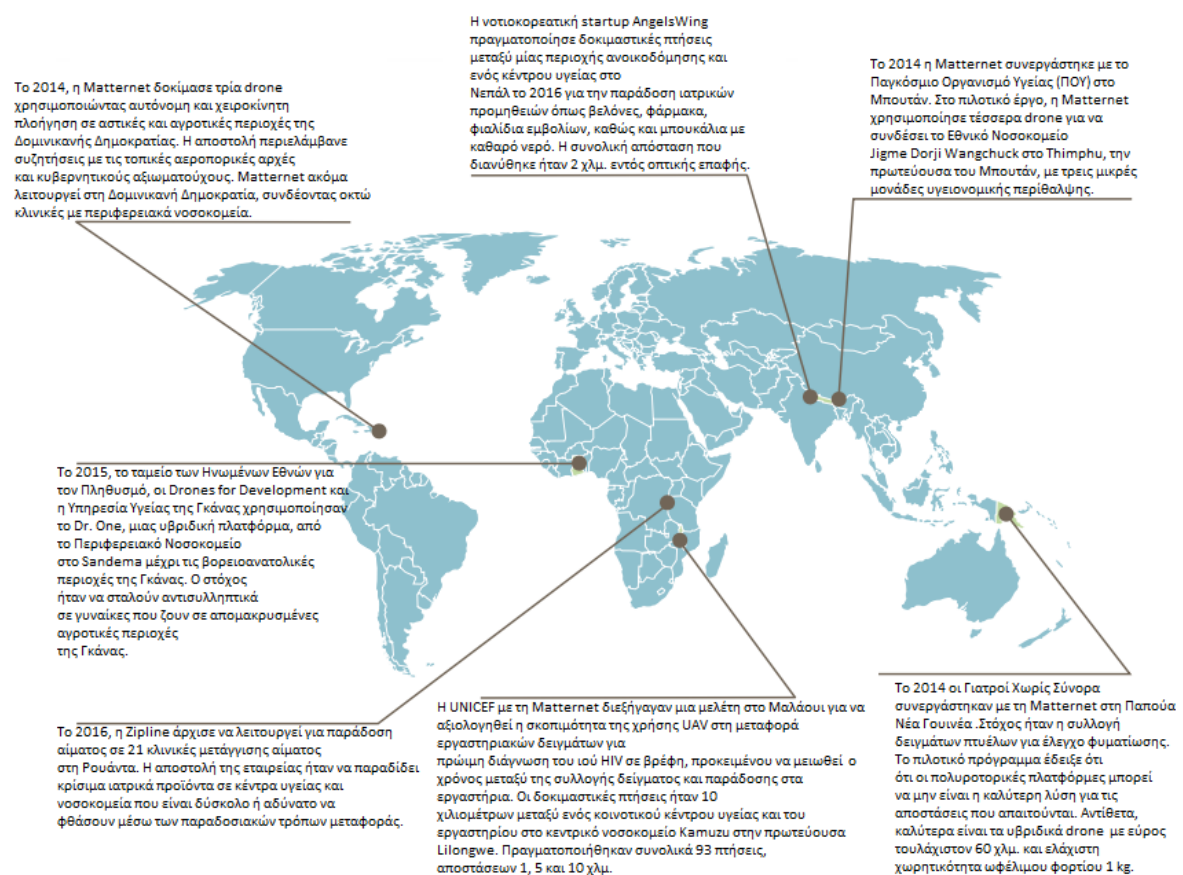
Η γρήγορη, αξιόπιστη και οικονομικά αποδοτική παράδοση προμηθειών για τη διάσωση πληγέντων είναι βασικό στοιχείο της ανθρωπιστικής εφοδιαστικής αλυσίδας. Ο αμερικάνικος στρατός έχει χρησιμοποιήσει τα μη επανδρωμένα ελικόπτερα Kaman K-Max, για μεταφορά 2.700 κιλών στο Αφγανιστάν, ενώ αρκετές αποστολές έχουν γίνει στην Κίνα (Guilford, 2013a), πιλοτικά προγράμματα στην Αυστραλία (Guilford, 2013b) και στη Νέα Ζηλανδία από μεγάλες εταιρείες όπως η Amazon. Ο Jack C. Chow, πρώην Βοηθός Γενικός Διευθυντής του Π.Ο.Υ. είχε αναφέρει πως "τα drones μπορούν να συμπληρώσουν τις ισχύουσες αλυσίδες εφοδιασμού και να συνεισφέρουν στις επείγουσες διανομές".

Ο τομέας μεταφοράς και παράδοσης φορτίου μέσω drones, είναι συνεχώς εξελισσόμενος και με πολλές προοπτικές. Αντίθετα με τα drones χαρτογράφησης ή συλλογής δεδομένων, που έχουν περισσότερο παθητική εφαρμογή, η τεχνολογία μεταφοράς φορτίου βρίσκεται σε πρώιμα στάδια εξέλιξης και για αυτό δεν υπάρχει πληθώρα αεροσκαφών για τέτοια χρήση στο εμπόριο, αφού τα περισσότερα είναι πρωτότυπα. Ενώ ο ρυθμός των αλλαγών στην τεχνολογία των drones είναι ταχύς, η τεχνολογία των αεροσκαφών μεταφοράς φορτίου σε ανθρωπιστικές εφαρμογές είναι σε αρχικό στάδιο και σε μεγάλο ποσοστό αναπόδεικτη της αξίας της.

Παρόλα αυτά υπάρχει μεγάλο πεδίο, νεοφυών επιχειρήσεων, όπως και παγκόσμιες εταιρείες εφοδιαστικής, οι οποίες σε συνεργασία με πανεπιστήμια και ΜΚΟ, εργάζονται προκειμένου να επιτευχθεί η εφαρμογή των cargo drones. Δοκιμές επιτόπιας παράδοσης ανθρωπιστικών εμπορευμάτων με drones και υπηρεσίες παράδοσης βρίσκονται μερικές σε λειτουργία και άλλες στα σκαριά, όπως κάποιες προσπάθειες στη Γκάνα, το Μαλάουι, τη Ρουάντα, την Τανζανία, την Παπούα Νέα Γουινέα, το Περού, το Νεπάλ, τις Φιλιππίνες και αλλού. Στο Σχήμα 6.12 φαίνονται μερικές μελέτες περίπτωσης μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου μέσω drone. Στην ανάπτυξη της συγκεκριμένης τεχνολογίας έχουν βοηθήσει οι στρατιωτικές εφαρμογές. Παρόλη τη σημασία των drones στην παράδοση φορτίων για ανθρωπιστική βοήθεια ακόμη πιο σημαντικό ρόλο παίζει η ανθρωπιστική αλυσίδα εφοδιασμού, καθώς αποτελεί "τη ραχοκοκαλιά των ανθρωπιστικών επιχειρήσεων και οι λειτουργίες της είναι ζωτικής σημασίας στην προσέγγιση των ωφελούμενων πληθυσμών". Η παράδοση φορτίων δια αέρος, αν και σχετικά κοστοβόρα, συχνά είναι η μόνη επιλογή μετά από μεγάλες καταστροφές. Αυτό

δικαιολογεί το λόγο που η ανθρωπιστική εφοδιαστική αλυσίδα αντιστοιχεί στο 60-80% των ανθρωπιστικών δαπανών (Tatham & Pettit, 2010). Βέβαια, τα UAVs προσφέρουν τη δυνατότητα μεταφοράς μικρών φορτίων σε μικρότερες αποστάσεις με μεγάλη συχνότητα, συμπληρώνοντας έτσι τα παραδοσιακά μέσα.

Για παράδειγμα το ένα τρίτο του παγκόσμιου πληθυσμού δεν έχει συστηματική πρόσβαση σε στοιχειώδη φάρμακα. Οι λόγοι είναι η κακή υποδομή των αναπτυσσόμενων χωρών, η περίπλοκη εφοδιαστική, αλλά και η έλλειψη χρημάτων. Το μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίζεται στο last mile delivery, που όχι μόνο δυσχεραίνει την παράδοση ιατρικών προμηθειών, αλλά αποτελεί κατά 40% παράγοντα στη λήξη των εμβολίων προτού ακόμα αυτά χορηγηθούν. Επειδή τα drones είναι ευέλικτα και αναπτύσσονται γρήγορα, θα μπορούσαν να συμβάλλουν στη βελτιστοποίηση της αλυσίδας εφοδιασμού και στην αύξηση της αποτελεσματικότητας στον ανθρωπιστικό τομέα. Η παράδοση μπορεί να γίνει ανεξαρτήτως των εδαφικών συνθηκών ή των υποδομών. Βέβαια οι καιρικές συνθήκες αποτελούν πρόκληση ακόμη και για τα drones.



**Σχήμα 6. 12: Μελέτες περίπτωσης μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου με χρήση drone (Soesilo et al., 2016)**

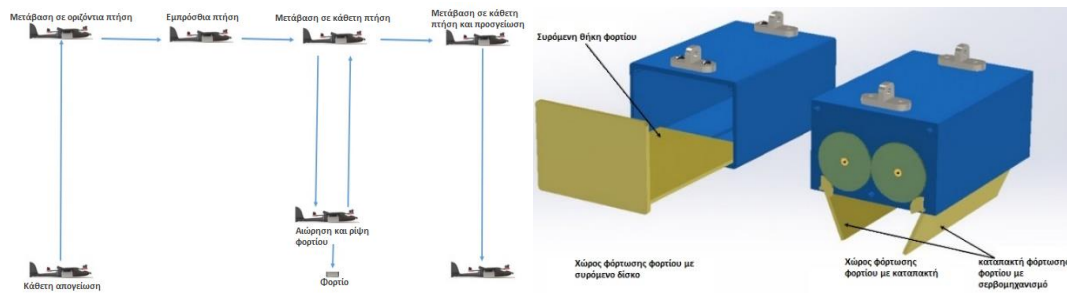
Τα περισσότερα UAVs που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μεταφοράς ανθρωπιστικού φορτίου αφορούν λίγα κιλά, για εύρος πτήσης έως 150 χλμ. και συνεπώς οι περισσότερες εφαρμογές αφορούν φορτία υψηλής αξίας/χαμηλού όγκου, όπως φάρμακα και εμβόλια. Άλλα κατάλληλα προϊόντα θα μπορούσαν να είναι κιβώτια πρώτων βοηθειών, τρόφιμα, νερό και τεχνολογίες επικοινωνίας, όπως κινητά τηλέφωνα. Οι τύποι φορτίου και οι προορισμοί είναι πιθανό να διευρυνθούν με την εξέλιξη της τεχνολογίας.

### 6.5.1. Τρόπος Παράδοσης Ωφέλιμου Φορτίου

Πρωταρχικός στόχος σε μία καταστροφή ή έκτακτη ανάγκη είναι η διατήρηση της ανθρώπινης ζωής. Όλες οι επιχειρήσεις διάσωσης για να θεωρούνται αποτελεσματικές θα πρέπει να γίνονται εντός 72 ωρών (ανάλογα με την περίπτωση), που θεωρείται το σημαντικότερο χρονικό όριο, από την εκδήλωση του συμβάντος (Erdelj et al., 2017a). Ενώ τα εναέρια συστήματα παροχής βοήθειας έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την ανθρωπιστική βοήθεια και την ανταπόκριση κατά τη διάρκεια καταστροφών (Erdelj et al., 2017b), υπάρχουν ακόμη περιορισμοί στα υπάρχοντα συστήματα παράδοσης. Για την παράδοση φορτίου, επί του παρόντος ακολουθούνται δύο βασικές προσεγγίσεις; είτε η προσγείωση του drone στο έδαφος για να παραδώσει το ωφέλιμο φορτίο του είτε η ρίψη του δέματος με αλεξιπτωτο. Και οι δύο προσεγγίσεις έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όσον αφορά την αξιοπιστία και την ασφάλεια, ενώ πολλές χώρες δεν επιτρέπουν επί του παρόντος τη ρίψη αντικειμένων. Βέβαια, όσο δεν διατυπώνεται η αξία της ρίψης ωφέλιμου φορτίου, θα είναι δύσκολο να προχωρήσει κανείς σε αυτή την κατεύθυνση. Συστήματα παράδοσης εναέριων ρίψεων με αλεξιπτωτο συνήθως μειονεκτούν στην ακρίβεια προσγείωσης αφού προσεγγίζουν το στόχο με μερικές δεκάδες μέτρα απόκλιση, ενώ διακυνδυνεύουν και την ασφάλεια του φορτίου. Τα αλεξιπτωτα (Ram air parafoil) παρέχουν επαρκή έλεγχο, αλλά περιορίζονται από την εμβέλεια και η απόκτησή τους είναι δαπανηρή. Αερόστατα υδρογόνου υπάρχουν και είναι μία οικονομική εναλλακτική λύση, ωστόσο η ευαισθησία τους στους ανέμους αποθαρρύνει τους οργανισμούς από τη χρήση τους.

Η πτώση ωφέλιμων φορτίων δια αέρος δεν είναι πρωτόγνωρη. Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις ρίψεων ανθρωπιστικών φορτίων που έχουν βοηθήσει στη διάσωση ανθρώπων. Μία τέτοια περίπτωση είναι η επιχείρηση για την αποστολή 345.000 κιλών με τρόφιμα από το Παγκόσμιο Πρόγραμμα Σίτισης (World Food Programme) σε πληγέντες της περιοχής Vakaga στη βόρεια Κεντροαφρικανική Δημοκρατία. Αντίστοιχα, ρίψεις έχουν πραγματοποιηθεί και από τη Διεθνή Επιτροπή του Ερυθρού Σταυρού σε περιοχές του Νοτίου Σουδάν. Πρόσφατα μάλιστα, ζητήθηκαν οι ανθρωπιστικές ρίψεις στη Συρία για τη βοήθεια παγιδευμένων ανθρώπων σε πολιορκημένες περιοχές. Παρόλο το θετικό πρόσημο της αποστολής ανθρωπιστικού υλικού, δεν είναι ο ενδεδειγμένος τρόπος για την παροχή βοήθειας. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται διάφορες προκλήσεις όπως, υλικοτεχνικές, οικονομικές και ασφάλειας που μπορεί να έρχονται αντιμέτωπες με τις βέλτιστες ανθρωπιστικές πρακτικές και σε βάθος χρόνου μπορεί να προκαλέσουν περισσότερο κακό παρά καλό. Παρόλα αυτά, πολλές φορές οι ρίψεις ανθρωπιστικής βοήθειας μπορεί να είναι ο μοναδικός τρόπος. Για να ληφθούν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την κατάλληλη τεχνολογία, τα μέτρα ασφαλείας και τη συνολική δυνατότητα εφαρμογής, πρέπει να γίνουν κατάλληλες δοκιμές σε ελεγχόμενο περιβάλλον.





**Σχήμα 6. 13: : Διαδικασία παράδοσης φορτίου μέσω drone και παράδειγμα μηχανισμού παράδοσης φορτίου (Ashish et al., 2020)**

Το Παγκόσμιο Επισιτιστικό Πρόγραμμα (ΠΕΠ) επισημαίνει πως για να χρησιμοποιηθεί drone στην παράδοση ωφέλιμου φορτίου πρέπει να υπάρχουν τυποποιημένες διαδικασίες. Το εύρος πτήσης και η χωρητικότητα φορτίου στα drones αποτελούν έως και σήμερα περιορισμό στο εύρος εφαρμογών που θα μπορούσαν να προσθέσουν αξία. Όλες οι χρήσεις drones θα πρέπει να εξασφαλίζουν υψηλή ακρίβεια στην παράδοση της τοποθεσίας και στη διαδρομή πτήσης, ειδικά όταν αυτή επιχειρείται σε πολύπλοκο εναέριο χώρο. Το ΠΕΠ θα ήθελε να χρησιμοποιεί μη επανδρωμένα αεροσκάφη με εμβέλεια 100-500χλμ. και χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου 200-500 κιλά (Soesilo, 2016). Για τη μεταφορά τροφίμων, όλες οι χρήσεις drone θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις βέλτιστες πρακτικές όπως έχουν αναπτυχθεί από το ΠΕΠ και άλλες ανθρωπιστικές οργανώσεις. Αυτό αφορά την ύπαρξη προσωπικού στο έδαφος στη ζώνη ρίψης, αφού χωρίς προσωπικό θεωρείται μέτρο έσχατης ανάγκης και δε μπορεί να διασφαλιστεί ότι τα τρόφιμα θα δοθούν σε όσους τα έχουν ανάγκη (Giugni, 2017).

Γενικότερα, τα μικρότερα UAVs είναι ικανά να μεταφέρουν ποσότητες τάξης μεγέθους κάποιων εκατοντάδων γραμμαρίων και όχι μεγάλων ποσοτήτων που σίγουρα θα λειτουργούσαν περισσότερο αποτελεσματικά. Συνοψίζοντας, ενώ η λύση για παραδόσεις φορτίων μέσω ρίψεων (airdrops) φαινομενικά απλοποιεί τη διαδικασία, αυτή η θεώρηση καταρρίπτεται, αν ληφθούν υπόψη οι προαναφερθέντες παράγοντες, οι οποίοι αυξάνουν την πολυπλοκότητα και τις προκλήσεις.

## 6.5.2. Τύποι UAVs για μεταφορά ωφέλιμου φορτίου

Τα διαθέσιμα επί του παρόντος drones μεταφοράς φορτίου αποτελούνται από μοντέλα σταθερής πτέρυγας, πολυροτορικά και υβριδικά μοντέλα (VTOL-HTOL), το καθένα με τις δικές του δυνατότητες και χαρακτηριστικά. Για βαρύτερα φορτία όπως έχει ειπωθεί, τα drones σταθερής πτέρυγας επιτρέπουν υψηλή ταχύτητα και ύψος πλεύσης, υψηλή απόδοση πτήσης και μεγάλη χωρητικότητα ωφέλιμου φορτίου, καθώς μπορεί να δημιουργηθεί άνωση μέσω του αεροδυναμικού σχεδιασμού τους, με αποτέλεσμα μεγάλη αντοχή και μεγαλύτερη εμβέλεια μεταφοράς (Ashish et al., 2020). Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το drone σταθερής πτέρυγας (fixed wing) της εταιρείας Zipline με μέγιστο φορτίο 1,5 kg, εύρος πτήσης 150 km με ταχύτητα 100 km/h. Αυτό το drone, με όνομα Zip, απαιτεί καταπέλτη στην εκτόξευσή του ενώ δεν χρειάζεται διάδρομο προσγείωσης. Ο μηχανισμός παράδοσης είναι πλήρως λειτουργικός και χρησιμοποιεί ένα μικρό χάρτινο αλεξίπτωτο για την προσγείωση του φορτίου. Τα σχέδια πτήσης του Zip είναι από πριν προγραμματισμένα, ενώ παρακολουθούνται κατά την ώρα της πτήσης μέσω tablet. Τα μεμονωμένα σχέδια

αποθηκεύονται σε κάρτες SIM. Στην πλοήγησή τους, τα Zips στηρίζονται στο GPS χρησιμοποιώντας το διαθέσιμο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Οι πλατφόρμες σταθερής πτέρυγας που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά φορτίων συχνά απαιτούν καταπέλτη ή ειδικό διάδρομο για την εκτόξευση. Αυτό δημιουργεί περιορισμούς στα είδη των εδαφών και των συνθηκών στις οποίες μπορεί να επιχειρήσει. Υπάρχουν αρχικές δαπάνες για την απόκτηση, τη λειτουργία και τη συντήρηση συστημάτων εκτόξευσης και ανάκτησης (Ackerman & Strickland, 2018).

Αντίθετα, τα πολυροτορικά drones που έχουν τη δυνατότητα να απογειώνονται και να προσγειώνονται κάθετα, με μειωμένη αντοχή και εμβέλεια, πλεονεκτούν στην απογείωση και τη προσγείωση. Όμως, λόγω της ανύψωσης που παράγεται μέσω της ώθησης των κινητήρων, η λειτουργία τους είναι ενεργειακά δαπανηρή. Στις εταιρείες που χρησιμοποιούν τετρακόπτερα για την παράδοση φορτίων περιλαμβάνονται η Matternet και η DHL. Η τελευταία έκδοση της Matternet μεταφέρει φορτίο βάρους 1kg σε απόσταση 20km, ενώ η DHL χρησιμοποίησε αρχικά μια τροποποιημένη έκδοση του Microdrones MD4-1000 για να μεταφέρει μέχρι 1,2 kg σε απόσταση 12 km. Ένα άλλο παράδειγμα είναι το οκτακόπτερο UAV ονομαζόμενο Pars κατασκευής Ιρανών ερευνητών, όπου σχεδιάστηκε για να ρίχνει μέχρι και τρία σωσίβια δαχτυλίδια σε ανοιχτά θαλάσσια ύδατα για τη διάσωση επιζώντων (Ashish et al. 2020).

Μια λύση που συνδυάζει αποτελεσματικά τα πλεονεκτήματα και των δύο κατηγοριών είναι τα υβριδικά UAV κάθετης απογείωσης και προσγείωσης (VTOL). Τα τελευταία χρόνια, τα drones κατηγορίας υβριδικών drones διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και καταστροφές, όπως στον εντοπισμό και τη διάσωση παγιδευμένων επιζώντων σε κατεστραμμένες περιοχές (Doherty & Rudol, 2007; Morse et al., 2010). Στην εργασία των Ashish et al. (2020) εξετάστηκε ο σχεδιασμός και η επίδειξη πτήσης για την απόδειξη ενός υβριδικού drone στην παράδοση ωφέλιμου φορτίου. Στόχος ήταν η ανάπτυξη ενός UAV μικρής κλίμακας που να μπορεί να λειτουργεί σε πραγματικό περιβάλλον με μέτριο άνεμο. Ο σχεδιασμός που ερευνηθήκε συνδυάζει την κατακόρυφη απογείωση και προσγείωση με αεροσκάφος τεσσάρων ρότορων, ενώ θα μπορεί να κάνει οριζόντια πτήση σαν αεροσκάφος σταθερής πτέρυγας.

Τα υβριδικά drones έχουν καλές επιδόσεις όσον αφορά την ταχύτητα πτήσης, τον χρόνο πτήσης, την ευκολία χειρισμού και την κάθετη απογείωση και προσγείωση. Στις εταιρείες που επικεντρώνονται στη κατασκευή υβριδικών drones, περιλαμβάνονται η Amazon, η Yagu και η Quantum Systems. Οι πλατφόρμες της Yagu μπορούν να μεταφέρουν μέχρι 2 κιλά για απόσταση 80 χιλιομέτρων, ενώ το drone της Quantum μπορεί να μεταφέρει μέχρι 2 κιλά για 100 χιλιόμετρα. Η εταιρεία Quantum Systems έχει κατασκευάσει το drone Quantum TRON VTOL με εμβέλεια 150 km και ωφέλιμο φορτίο 2,5 kg. Η Quantum Systems σε συνεργασία με τη γερμανική ακτοφυλακή δοκίμασε την προσγείωσή του στο πλοίο της ακτοφυλακής στα ανοικτά των ακτών της Γερμανίας. Το κόστος του TRON ανέρχεται σε περίπου 60.000 €, ενώ μπορεί να παρέχεται προς ενοικίαση για παροχή υπηρεσιών (Soesilo et al., 2016). Τα VertiKUL (Hochstenbach et al., 2015), ATMO και Quadshot (Saeed et al., 2018) είναι πρωτότυπα υβριδικά drone που έχουν σχεδιαστεί για ιατρική και στρατιωτική βοήθεια. Και τα τρία μοντέλα (VertiKUL, ATMO και Quadshot) αποτελούνται από τέσσερις ρότορες για την παροχή διαφορικής ώθησης, ώστε να πραγματοποιείται η μετάβαση από κάθετη σε οριζόντια πτήση. Τα ATMO και Quadshot διαθέτουν επιφάνειες ελέγχου ή ανακλινόμενους ρότορες για τον έλεγχο της οριζόντιας πτήσης.

Το 2014, η DHL ξεκίνησε ένα πιλοτικό πρόγραμμα για την παράδοση προμηθειών έκτακτης ανάγκης στα νησιά της Βόρειας Θάλασσας από την ηπειρωτική χώρα, 12 χιλιόμετρα πάνω από τη θάλασσα. Το parcelcopter ήταν σε θέση να μεταφέρει 1,2 Kg φάρμακα σε χρονικό διάστημα 15-25 λεπτών (Moormann, 2015). Στον εμπορικό χώρο, η Google με το Project Wing κατασκεύασε ένα υβριδικό μη επανδρωμένο αεροσκάφος μαζί με ένα σύστημα μη επανδρωμένης διαχείρισης της κυκλοφορίας (Unmanned Aircraft System Traffic Management-UTM) για την παράδοση φρέσκων τροφίμων και ιατρικών προμηθειών (Warwick, 2014). Μια επέκταση αυτής της εφαρμογής θα μπορούσε να είναι ένα μεγάλο drone που μεταφέρει και απελευθερώνει πολλά micro drones τα οποία στη συνέχεια μεταφέρουν ιατρικά είδη πρώτης ανάγκης για ταυτόχρονη εξυπηρέτηση (Hassanalian & Abdelkefi, 2017).

Παρόλο που έχει γίνει ευρέως χρήση τετρακοπτέρων και drones σταθερής πτέρυγας, τα υβριδικά μοντέλα δεν έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς. Τα πρώτα πειράματα με τα προαναφερθέντα συστήματα αρχίζουν να αποδεικνύουν ότι τα υβριδικά VTOL μπορούν να αντισταθμίσουν αποτελεσματικά τους περιορισμούς των συστημάτων πολυροτορικών και σταθερών πτερυγίων. Ωστόσο, υβριδικά μοντέλα βρίσκονται ακόμη σε πρώιμο στάδιο ανάπτυξης και πρέπει η αξιοπιστία τους να ελέγχεται μέσω δοκιμών σε πραγματικά περιβάλλοντα και συνθήκες.

Όλες αυτές οι πλατφόρμες drones τροφοδοτούνται με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για την λειτουργία τους, ενώ, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, για μεγαλύτερες αποστάσεις και βαρύτερα ωφέλιμα φορτία χρησιμοποιούνται κινητήρες αερίου. Οργανώσεις όπως η UAVaid και η Wings for Aid θέτουν σε εφαρμογή τη χρήση αεροκίνητων drones για μεταφορά έως 10 κιλών για απόσταση 150 χιλιομέτρων. Στο Πίνακα 6.6 φαίνονται μερικά παραδείγματα drones που έχουν πάρει μέρος σε αποστολές.

**Πίνακας 6. 6: Χαρακτηριστικά drones που έχουν χρησιμοποιηθεί σε μελέτες περίπτωσης μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου (Soesilo et al. 2016)**

Εταιρεία	Κατηγορία	Φορτίο	Εμβέλεια	Πηγή Ενέργειας	Τρόπος παράδοσης φορτίου	Καταγεγραμμένες ώρες
Amazon	Υβριδικό	25kg	16km	Μπαταρία	Επίγεια	1000
DHL	Υβριδικό	1.2kg	12 km	Μπαταρία	Επίγεια	100
Drones for Development	Υβριδικό	-	-	Μπαταρία	Επίγεια	100
Flirtey	Πολυροτορικό	2.2kg	16 km	Μπαταρία	Αιώρηση	-
Google	Υβριδικό	25kg	16 km	Μπαταρία	Επίγεια	1000
Matternet	Πολυροτορικό	1kg	20 km	Μπαταρία	Επίγεια	1000
Quantum System	Υβριδικό	2.5kg	100 km	Μπαταρία	Επίγεια	100
Wings for Aid	Σταθερών πτερυγίων	100kg	500 km	Αέριο	Αλεξιπτωτο	-
UAVaid	Σταθερών πτερυγίων	10kg	150 km	Αέριο	Αλεξιπτωτο	100
Vayu	Υβριδικό	2kg	80 km	Μπαταρία	Επίγεια	100
Zipline	Σταθερών πτερυγίων	1.5kg	150 km	Μπαταρία	Αλεξιπτωτο	1000

## 7. UAVs στην Υγεία

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα drones έχουν τη δυνατότητα να συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο με χαμηλό κόστος, να παραδίδουν ωφέλιμα φορτία και επομένως, έχουν δρομολογήσει τη ραγδαία εξέλιξη πολλών βιομηχανικών, εμπορικών και ψυχαγωγικών εφαρμογών. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία έχουν επίδραση και στον ιατρικό τομέα αφού έχουν αλλάξει τον τρόπο παροχής υγειονομικής περίθαλψης. Τα drones είναι το επόμενο βήμα στην κλινική ιατρική. Ενώ αναπτύχθηκαν αρχικά για στρατιωτική χρήση, η σημασία των drones γίνεται όλο και πιο εμφανής στον ιατρικό τομέα. Ενδεικτικά, μια αναζήτηση στο Google με τίτλο "drones in health-care" πριν 7 χρόνια είχε 784.000 αποτελέσματα, μια παρόμοια αναζήτηση το 2019, είχε 28,6 εκατομμύρια, ενώ το 2022 η ίδια αναζήτηση έχει 167εκατομμύρια. Οι τίτλοι είναι τόσο πολλοί που είναι δύσκολο να φιλτραρισθεί η πληροφορία και να προσδιορισθεί ο ρόλος των drones σήμερα στην υγειονομική περίθαλψη.

Οι εφαρμογές των drones στην ιατρική είναι ευρείες. Οι κύριες όμως εφαρμογές τους χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

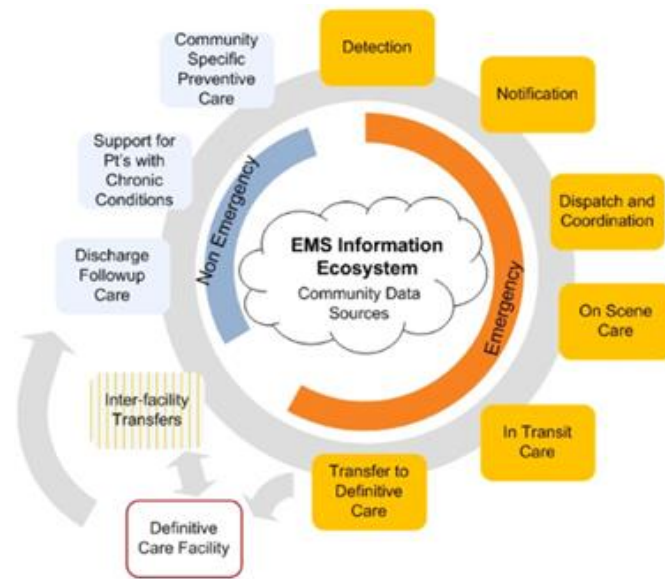
- Προνοσοκομειακή φροντίδα έκτακτης ανάγκης
- Επιτάχυνση εργαστηριακών διαγνωστικών δειγμάτων
- Υγειονομική επιτήρηση

Η γενικότερη εφαρμογή της επιτήρησης έχει ήδη αναλυθεί, ενώ ταυτόχρονα βρίσκει εφαρμογή και στον τομέα της υγείας. Βέβαια, τα UAVs έχουν αποδειχθεί κατάλληλα και για την παράδοση εμβολίων, αυτόματων εξωτερικών απινιδωτών και αιματολογικών προϊόντων. Τα drones επιλύουν θέματα προσβασιμότητας στην υγειονομική περίθαλψη σε ασθενείς με περιορισμούς απόστασης και υποδομών. Δηλαδή, ασθενείς σε κρίσιμη κατάσταση, που ζουν σε αγροτικές περιοχές ή σε περιοχές που έχουν πληγεί από φυσικές καταστροφές. Παρά το γεγονός ότι σχεδόν ο μισός παγκόσμιος πληθυσμός ζει σε αγροτικές κοινότητες, μόνο ένα μικρό ποσοστό βρίσκεται κοντά σε υγειονομικούς επαγγελματίες. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, μόνο το 11% περίπου των γιατρών εργάζονται σε αγροτικές κοινότητες. Παράγοντες όπως η έλλειψη γιατρών, η έλλειψη κατάλληλου εξοπλισμού και η κακή υποδομή αποτελούν περιορισμούς στην υγειονομική περίθαλψη. Τα UAVs επίσης, έχουν δοκιμαστεί ως hotspot επικοινωνίας για χειρουργούς σε στρατιωτικά πεδία μάχης μέσω τηλεχειρουργικής (Bhatt et al., 2018).

Οργανισμοί και εταιρείες, όπως η United Parcel Service of America (UPS), η Deutsche Post DHL Group και η Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος (NASA) ήδη έχουν εμπλακεί στη μεταφορά ιατρικών προμηθειών. Έχουν δημοσιευθεί αρκετές μελέτες που εξετάζουν τις επιπτώσεις εργαστηριακών δειγμάτων λόγω της πτήσης τους μέσω drone (Bhatt et al. 2018). Αυτές οι μελέτες επισημαίνουν με βεβαιότητα ότι τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη είναι ένας ασφαλής τρόπος για την παράδοση ιατρικών προμηθειών.

Το 2015, τα Ηνωμένα Έθνη θεσμοθέτησαν 17 στόχους βιώσιμης ανάπτυξης. Σε αυτούς, συγκαταλέχθηκε ο στόχος «Καλή υγεία και ευημερία» ως δικαίωμα των ανθρώπων και της πρόσβασής τους σε ένα ποιοτικό σύστημα υγειονομικής περίθαλψης, συμπεριλαμβανομένων των ιατρικών υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης (United Nations, 2015). Πολλές χώρες αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην παροχή επαρκούς κάλυψης εκτάκτων αναγκών μέσω επίγειων ασθενοφόρων για την διάσωση ζωών (Nimilan et al., 2019). Η χρήση drones στις ιατρικές υπηρεσίες, αποδεικνύεται ως λύση στη βοήθεια των πρώτων

ανταποκριτών, ως κομμάτι της προνοσοκομειακής ιατρικής φροντίδας (Emergency Medical Services-EMS) (Pulsiri & Vatananan-Thesenvitz, 2021).



**Σχήμα 7. 1: Τα έξι στάδια της προνοσοκομειακής ιατρικής φροντίδας στη διαδικασία περίθαλψης (Schooley & Horan, 2017)**

Όπως ήδη έχει γίνει φανερό, αλλά και μέσα από τη βιβλιογραφική μας ανασκόπηση, οι κατηγορίες εφαρμογής των drones στον τομέα της ιατρικής και κατ' επέκταση της υγείας εφαρμόζονται μέσω της επιτήρησης και συλλογής δεδομένων στη φάση ανταπόκρισης του κύκλου διαχείρισης καταστροφών, της τηλεϊατρικής και της μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.2.



**Σχήμα 7. 2: Υποκατηγορίες ιατρικών εφαρμογών (Rosser et al., 2018)**

Η τηλεϊατρική, που δεν έχει αναλυθεί ακόμη, είναι μία εφαρμογή των drones που εμπλέκεται σε όλο το φάσμα των drones-ιατρικής βοήθειας. Πρόκειται για την εξ αποστάσεως διάγνωση και θεραπεία ασθενών μέσω της τηλεπικοινωνίας (Breen & Matusitz, 2010). Το δίκτυο τηλεπικοινωνίας στην τηλεϊατρική δεν μπορεί να βασίζεται στα εμπορικά δίκτυα. Η δημιουργία άμεσης τηλεπικοινωνιακής υποδομής με τη χρήση drones συζητήθηκε πρώτη φορά στην Αθήνα, το 1998 στο πρόγραμμα τηλεϊατρικής του εμπορικού διαστημικού κέντρου Yale/NASA. Παρουσιάστηκε μια πλατφόρμα για την παροχή επικοινωνίας στην εκτέλεση προεγχειρητικών και μετεγχειρητικών αξιολογήσεων ασθενών και στην τηλεκαθοδήγηση ορισμένων χειρουργικών επεμβάσεων. Η τηλεκαθοδήγηση είναι η παροχή εξ αποστάσεως καθοδήγησης από έναν έμπειρο χειρουργό σε έναν λιγότερο έμπειρο ιατρό (Rosser et al., 2018). Οι Harnett et al. (2008) έδειξαν πώς τα drones μπορούν

να δημιουργήσουν ασύρματο δικτύο επικοινωνίας μεταξύ χειρουργού και ρομπότ για την εκτέλεση τηλεχειρουργικής. Στη μελέτη, ο χειρουργός και το ρομπότ τοποθετήθηκαν σε διαφορετικές σκηνές απόστασης 100 μέτρων μεταξύ τους. Ο χειρουργός χειρίστηκε επιτυχώς τους ρομποτικούς βραχίονες και εκτέλεσε κινήσεις χειρουργικών 'ελιγμών'. Πιο πρόσφατα, ένα άλλο σενάριο έρευνας από το Κολέγιο Οστεοπαθητικής Ιατρικής του Πανεπιστημίου William Carey δοκίμασε ένα τηλεϊατρικό drone για παράδοση ιατρικών προμηθειών και πακέτων επικοινωνίας σε σενάρια έκτακτης ανάγκης, για την παροχή φροντίδας (Rosser et al., 2018).

Άλλες μελέτες έχουν δείξει ότι η χρήση drone είναι ασφαλής κατά την παράδοση αυτόματου εξωτερικού απινιδωτή (Automated external defibrillator-AED) σε καρδιακές ανακοπές εκτός νοσοκομείου (Out of hospital cardiac arrest - OHCA). Αποδείχθηκε ότι η χρήση ενός εξοπλισμένου drone με AED, μπορεί να μειώσει τον χρόνο απινιδώσης σε περίπτωση OHCA. Μια άλλη μελέτη που διεξήχθη από το Tu Delft εξέτασε τη χρήση ενός drone ασθενοφόρου σχεδιασμένου να παραδίδει έναν AED απευθείας σε θύματα καρδιακής ανακοπής εντός ακτίνας 3,1 km<sup>2</sup> εντός 2 λεπτών. Σε άλλη περίπτωση, ειδικοί σε θέματα ιατρικής και αεροπορίας στις Ηνωμένες Πολιτείες συνεργάστηκαν για την ανάπτυξη ενός ιατρικού drone εξοπλισμένου με ειδικούς αισθητήρες (συσκευές υπερύθρων και δυνατότητες τηλεϊατρικής) στο πλαίσιο του προγράμματος Health Integrated Rescue Operations (Balasingam, 2017). Το drone, εξοπλισμένο με δυνατότητες τηλεδιάσκεψης μέσω Google Glass, κατάφερε να παραδώσει ένα ιατρικό κιτ με προμήθειες έκτακτης ανάγκης. Αυτός ο συνδυασμός τεχνολογιών επέτρεψε σε υγειονομικούς εργαζόμενους να καθοδηγήσουν τους παρευρισκόμενους για παροχή βοήθειας μέσω τηλεϊατρικής κατά την πρώτη φάση της ανταπόκρισης.

Τα drones φορτίου εμφανίστηκαν περίπου το 2014 ως ένας νέος τρόπος αντιμετώπισης των αναγκών δημόσιας υγείας των θυμάτων φυσικών καταστροφών, καθώς και των περίπου 2 δισεκατομμυρίων ανθρώπων που ζουν σε απομονωμένες κοινότητες παγκοσμίως. Κατά τη διάρκεια της επιδημίας COVID-19 στην Ιταλία, αναφέρθηκε η χρήση UAV για τη μεταφορά εξοπλισμού ατομικής προστασίας (PPE) και αυτόματων εξωτερικών απινιδωτών. Πριν από την επιδημία, ένα drone που μετέφερε δείγματα αίματος συνετρίβη στη λίμνη της Ζυρίχης. Το περιστατικό αυτό βέβαια, δεν οδήγησε σε εξάπλωση της μόλυνσης (Yakushiji et al., 2020). Οι διαδρομές πτήσης των drones που περνούν πάνω από ανθρώπους δεν επιτρέπεται να μεταφέρουν δείγματα, όπως πτύελα από ασθενείς που είναι ύποπτοι για μόλυνση φυματίωσης ή COVID-19 και δεν επιτρέπεται να μεταφέρουν δείγματα αίματος που περιέχουν μολυσματικά παθογόνα. Έχει αναφερθεί επίσης η δυνατότητα μεταφοράς προϊόντων μετάγγισης αίματος με τη χρήση πολυκόπτερων στην Ιαπωνία.

Το Ταμείο των Ηνωμένων Εθνών για τα Παιδιά (UNICEF) χρησιμοποίησε UAV για τη μεταφορά δειγμάτων αίματος για τον έλεγχο του ιού της ανθρώπινης ανοσοανεπάρκειας (HIV) στο Μαλάουι (Reuters, 2016). Παράλληλα κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19, ένας οργανισμός με την ονομασία Research and Markets παρουσίασε πέντε πλεονεκτήματα των UAV όσον αφορά τις λειτουργίες τους, όπως η ασφάλεια της υγείας, η ανίχνευση του ιού, ο ψεκασμός απολυμαντικών, η μεταφορά τροφίμων, η διαχείριση του πλήθους και η μεταφορά δειγμάτων (Yakushiji et al., 2020).

Ένα άλλο παράδειγμα cargo drone είναι αυτό της εταιρείας Matternet σε σύμπραξη με τους Γιατρούς χωρίς Σύνορα. Οι Γιατροί χωρίς Σύνορα με τη Matternet πραγματοποίησαν πτήσεις σε απομακρυσμένα Κέντρα Υγείας, όπου η μεταξύ τους απόσταση είναι 63

χιλιόμετρα μέσω οδικού δικτύου, με μέσο χρόνο οδήγησης 4 ώρες, ενώ αεροπορικά η απόσταση είναι 43χλμ.

Εξαιτίας της εμβέλειας του drone Matternet που είναι 28 χιλιόμετρα, έγινε αλλαγή μπαταριών ενδιάμεσα της διαδρομής. Ο χρόνος του drone ήταν 55 λεπτά συμπεριλαμβανομένης της μίας αλλαγής μπαταρίας. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 35 πτήσεις (οι 30 εξ αυτών ήταν πλήρως αυτόνομες) με βάρος 500 γραμμάρια και ταχύτητες αέρα μέχρι 36 χλμ./ώρα (Soesilo et al. 2016).

Βέβαια, εκτός από την αξία που προσθέτουν τα drone στην άμεση παροχή βοήθειας έχει ερευνηθεί και η οικονομική τους επίδραση. Στο The Lancet Global Health, οι Ochieng et al. (2020) απαντάνε στο ερώτημα συγκρίνοντας το κόστος των drones, με το κόστος των μοτοσικλετών που εκτελούν το ίδιο έργο μεταφοράς εργαστηριακών δειγμάτων μεταξύ απομακρυσμένων κλινικών στη Λιβερία. Αυτές οι συγκρίσεις είναι οι πιο εμπειριστατωμένες έως σήμερα και έγιναν σε συνθήκες προσομοίωσης ενός σεναρίου ρουτίνας και ενός σεναρίου έκτακτης ανάγκης για τη δημόσια υγεία (με βάση την επιδημία του ιού Έμπολα στη Δυτική Αφρική το 2013-2016). Ο Ochieng κατέληξε ότι το κόστος μεταφοράς ανά δείγμα ήταν χαμηλότερο με μοτοσικλέτα σε σχέση με τα drones σε επιχειρησιακή εμβέλεια 65 χιλιομέτρων. Τα drones μεγαλύτερης εμβέλειας (έως 100χλμ.) είχαν καλύτερη γεωγραφική κάλυψη και μικρότερο κόστος μεταφοράς δειγμάτων από τα drones μικρότερης εμβέλειας, που συναγωνιζόντουσαν τα κόστη των μοτοσικλετών (Amukele, 2020).

## 7.1. Μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού

Όπως έγινε φανερό, η πιο συζητημένη και συχνά χρησιμοποιούμενη χρήση των drones στην υγεία είναι η μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού. Αυτή η εφαρμογή μπορεί να διακριθεί σε δύο υποκατηγορίες με γνώμονα τον χρόνο. Υπάρχει η μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού έκτακτης ανάγκης, όπου τα λεπτά ή οι ώρες έχουν μείζονα σημασία και μεταφορές ιατροφαρμακευτικού υλικού έμμεσης έκτακτης ανάγκης όπου ο χρόνος, παρόλο που είναι σημαντικός, δεν έχει την ίδια βαρύτητα. Στην πρώτη κατηγορία, ανήκουν ιατρικά παρασκευάσματα, όπως ενέσεις αδρεναλίνης, απινιδωτές ή φιαλίδια ινσουλίνης, ενώ στη δεύτερη κατηγορία εμβόλια, φιάλες αίματος και δειγματοληπτικά τεστ. Παράλληλα, εκτός των drones υπάρχουν διάφοροι τρόποι μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού. Οι μέχρι τώρα μέθοδοι μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



**Σχήμα 7. 3: Κατηγορίες μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού**

Τα drones επομένως μπορούν να έχουν το ρόλο τους και στις δύο κατηγορίες που αναφέρθηκαν είτε συμπληρωματικά καλύπτοντας καταστάσεις άμεσης έκτακτης ανάγκης

είτε σε καταστάσεις έμμεσης έκτακτης ανάγκης. Με αυτή την κατεύθυνση, μπορούν να είναι σε ετοιμότητα και να λειτουργούν επικουρικά όταν προκύπτει ανάγκη ή και πιο συστηματικά μεταξύ κλινικών και κέντρων διανομής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.4.



**Σχήμα 7. 4: Λειτουργία drones μεταξύ κέντρων διανομής και τοποθεσιών όπου υπάρχει ανάγκη (Wulfovich et al., 2018)**

Μερικά παραδείγματα μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού παρουσιάζονται παρακάτω. Το 2007, η Εθνική Υπηρεσία Εργαστηρίων Υγείας (National Health Laboratory Service-NHLS) και η Denel Dynamics δοκίμασαν drones για τη μεταφορά μικροβιολογικών δειγμάτων μεταξύ αγροτικών κλινικών και κέντρων της NHLS για τον ιό HIV (Rosser et al., 2018). Παράλληλα στο Μαλάουι της Αφρικής ένα κράτος με τα υψηλότερα ποσοστά μολύνσεων HIV, η UNICEF παρέδωσε το 2016 κιτ εξέτασης του ιού HIV για τον έλεγχο βρεφών μέσω drone. Το 2014, οι Γιατροί Χωρίς Σύνορα αξιολόγησαν την παράδοση εργαστηριακών δειγμάτων, μέσω drones, σε νοσοκομεία για τον έλεγχο φυματίωσης. Αποδείχθηκε ότι τα drones μπορούσαν να παραδώσουν αξιοποιήσιμα εργαστηριακά δείγματα στο 1/4 του χρόνου συγκρινόμενα με τους παραδοσιακούς τρόπους παράδοσης. Το Ταμείο των Ηνωμένων Εθνών και η ολλανδική κυβέρνηση παρέδωσαν αντισυλληπτικά και άλλες γυναικολογικές προμήθειες στη Γκάνα με τη χρήση drone. Η πρώτη εγκεκριμένη ιατρική παράδοση με drone στις Ηνωμένες Πολιτείες αφορούσε μια κλινική στην αγροτική Βιρτζίνια. Αντίστοιχα με τις παραπάνω αναφορές παρουσιάζονται μερικές μελέτες περίπτωσης μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού στον επόμενο πίνακα (Balasingam, 2017).

**Πίνακας 7. 1: Μελέτες περίπτωσης μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού (Scott, 2019)**

Εταιρεία	Ιατροφαρμακευτικό Υλικό	Τοποθεσία	Τρόπος παράδοσης	Φορτίο	Εμβέλεια	Ταχύτητα
Matternet	Αίμα, Φάρμακα	Αϊτή, Ελβετία, Παπούα Νέα Γουινέα, Δομινικανική Δημοκρατία	Προσγείωση σε ειδική πλατφόρμα	2 kg	10 km	40 km/h
DHL Parcel	Αίμα, Φάρμακα	Γερμανία	Προσγείωση σε ειδική πλατφόρμα	2 kg	12 km	65 km/h
Zipline	Αίμα, Εμβόλια	Ρουάντα	Χάρτινο αλεξιπτωτο	1.4 kg	72 km	145 km/h
Flirtey	Φάρμακα	Βιρτζίνια, Νεβάδα	Με σχοινί	2 kg	32 km	-
Delft University	Απινιδωτής	Ολλανδία	Επίγεια προσγείωση	4 kg	12 km	100 km/h



### 7.1.1. Άμεσες Έκτακτες Ανάγκες

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναφερθούμε σε περιπτώσεις όπου ο χρόνος είναι μείζονος σημασίας. Δηλαδή, τα λεπτά ακόμα και τα δευτερόλεπτα συντελούν στην επιβίωση του ασθενούς. Σε αυτού του είδους τις έκτακτες ανάγκες, τα drones μπορούν να δώσουν λύσεις γρηγορότερα από την έως τώρα αντιμετώπιση. Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν η καρδιακή ανακοπή, οι κρίσεις άσθματος και άνθρωποι τραυματισμένοι από δηλητηριώδη ζώα.

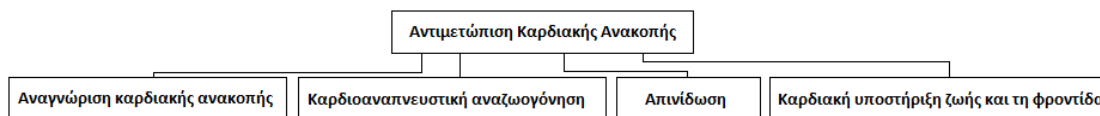
Πολλά φάρμακα ή εξοπλισμός είναι υποψήφια για παράδοση μέσω drones στην αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων. Τέτοια παραδείγματα είναι η αδρεναλίνη, θρομβολυτικά, νιτρογλυκερίνη, οι β-αποκλειστές ή απινιδωτές για καρδιακές ανακοπές και φορητοί εισπνευστήρες σε περίπτωση σοβαρών κρίσεων άσθματος. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά φάρμακα με την αντίστοιχη χρήση τους για μεταφορά μέσω drone.

**Πίνακας 7. 2: Τύποι φαρμάκων που μπορούν να παραδοθούν από drones (Hii et al., 2019)**

Εφαρμογή	Είδος Ανάγκης	Είδος Φάρμακου
Άμεση Έκτακτη Ανάγκη	Αλλεργική αντίδραση	Στυλό επινεφρίνης
Άμεση Έκτακτη Ανάγκη	Υπερδοσολογία	Συμπύκνωμα προθρομβίνης
Άμεση Έκτακτη Ανάγκη	Καρδιακή ανακοπή	Αδρεναλίνη, λιδοκαΐνη, ατροπίνη, απινιδωτής
Άμεση Έκτακτη Ανάγκη	Κρίση άσθματος	Νεφελοποιητής σαλβουταμόλης
Άμεση Έκτακτη Ανάγκη	Δηλητήριο φιδιού	Αντιβιοτικό/αντίδοτο

Βέβαια, οι περισσότερες έρευνες έκτακτης ανάγκης που μπορεί να βοηθήσει ένα drone, έχουν γίνει όσον αφορά την καρδιακή ανακοπή εκτός νοσοκομείου (Out of Hospital Cardiac Arrest- OHCA). Η εξωνοσοκομειακή καρδιακή ανακοπή (OHCA) επηρεάζει περίπου 275.000 άτομα στην Ευρώπη κάθε χρόνο (Löf et al., 2010). Στη Σουηδία, καταγράφονται 5.000 ετήσια περιστατικά OHCA με ποσοστό επιβίωσης 11%. Η συντόμηση του χρόνου από την κατάρρευση έως την απινίδωση είναι ο σημαντικότερος παράγοντας στην επιβίωση των ασθενών (Caffrey et al., 2002). Έρευνες αποδεικνύουν ότι τα ποσοστά επιβίωσης μπορούν να φθάσουν το 30-41% εάν η απινίδωση πραγματοποιηθεί μεταξύ 7-10 λεπτών, σε σύγκριση με καθυστέρηση έκτακτης βοήθειας (π.χ. ΕΚΑΒ) άνω των 21 λεπτών με το 0-8% (Sanfridsson et al., 2019). Ωστόσο, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι η μείωση του χρόνου απόκρισης από δέκα λεπτά σε επτά λεπτά είναι λιγότερο αποτελεσματική από εκείνη που πηγαιίνει από έξι λεπτά σε τρία. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, βάσει της τελευταίας ανακοίνωσης (2022) της Αμερικανικής Καρδιολογικής Εταιρείας, περίπου 356.461 άνθρωποι προσβάλλονται από OHCA ετήσια με ποσοστό επιβίωσης 10% μετά τη θεραπεία από υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης (π.χ. ΕΚΑΒ). Οι ενέργειες για την επιβίωση από καρδιακή ανακοπή εμπεριέχουν την έγκαιρη αναγνώριση της OHCA, την άμεση καρδιοαναπνευστική αναζωογόνηση (ΚΑΡΠΑ), την απινίδωση, την καρδιακή υποστήριξη και φροντίδα μετά την ΚΑΡΠΑ (νοσοκομειακή φροντίδα). Εάν κάποιο από αυτά γίνει καθυστερημένα ή καθόλου, η

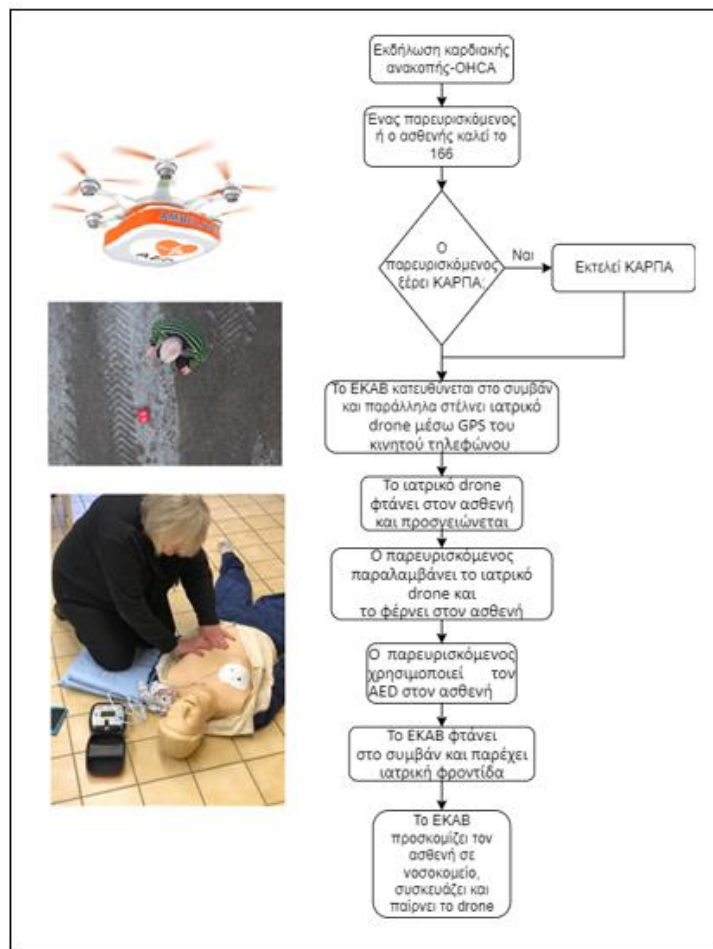
πιθανότητα επιβίωσης μειώνεται σημαντικά. Η επιβίωση μπορεί να μειωθεί κατά 5% κάθε λεπτό, εάν δεν εφαρμοστεί καμία θεραπεία στον ασθενή (Bhatt et al., 2018).



**Σχήμα 7. 5: Τα τέσσερα σκέλη αντιμετώπισης καρδιακής ανακοπής**

Σύμφωνα με την έκθεση του Μητρώου Καρδιακής Ανακοπής, οι μισές από όλες τις καρδιακές ανακοπές συμβαίνουν μπροστά σε μάρτυρες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, είναι σημαντικό τα άτομα αυτά να ξεκινήσουν ΚΑΡΠΑ, να βρουν ένα AED και να καλέσουν τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης. Τα χαμηλά ποσοστά επιβίωσης μπορούν να αποδοθούν στην έλλειψη προσβασιμότητας απινιδωτών στα πρώτα λεπτά της ανακοπής. Για να αυξηθούν τα ποσοστά επιβίωσης από ΟΗCA, είναι σημαντικό να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της προσβασιμότητας των AEDs.

Οι Claesson et al. (2016) έδειξαν ότι τα drones παρέδιδαν απινιδωτές ταχύτερα από ασθενοφόρο σε περισσότερο από το 90% των αγροτικών περιπτώσεων της Σουηδίας, εξοικονομώντας 19 λεπτά χρόνου απόκρισης. Σε μια άλλη μελέτη, οι Boutilier et al. (2017) προέβλεψαν ότι τα drones θα μείωναν τον χρόνο απόκρισης στην παράδοση AED κατά 10 λεπτά σε ορισμένα μέρη της μητροπολιτικής περιοχής του Τορόντο. Μια μελέτη προσομοίωσης από την κομητεία Salt Lake της Γιούτα έδειξε ότι κατάλληλα τοποθετημένα drones μπορούν να φτάσουν στο 96% του πληθυσμού της κομητείας σε λιγότερο από 1 λεπτό. Αντίθετα, οι παραδοσιακοί χρόνοι απόκρισης ασθενοφόρων πέτυχαν αυτό το αποτέλεσμα μόνο στο 4,3% των περιπτώσεων. Τα UAVs που είναι εξοπλισμένα με απινιδωτές μπορούν να αποστέλλονται αμέσως μόλις γίνονται κλήσεις στο τηλεφωνικό κέντρο 166 και να τους παραδίδουν μέσω του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης, βοηθώντας τους παρευρισκόμενους στην εκτέλεση ΚΑΡΠΑ και να χρησιμοποιήσουν AED μέσω βίντεο και ηχητικής ανατροφοδότησης. Τρεις μελέτες εξέτασαν πώς ένα θεωρητικό δίκτυο UAVs θα βοηθούσε στην παράδοση AEDs ταχύτερα από τα ασθενοφόρα. Οι μελέτες αυτές χρησιμοποίησαν μαθηματική και γεωγραφική μοντελοποίηση για να καθορίσουν την καλύτερη δυνατή τοποθέτηση των σταθμών των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (Bhatt et al., 2018). Είναι σημαντικό, ωστόσο, να σημειωθεί ότι τα drones είναι χρήσιμα μόνο για εκείνους τους ασθενείς που έχουν παρευρισκόμενους σε θέση να ανακτήσουν τα AEDs από το drone. Στο Σχήμα 7.6 φαίνεται η διαδικασία παράδοσης απινιδωτή μέσω drone, ενώ στο διάγραμμα ροής παρουσιάζεται η χρονολογική σειρά των διαδικασιών αντιμετώπισης ΟΗCA με τη χρήση drone.



**Σχήμα 7. 6: Παράδοση AED μέσω drone**

Έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα drones για αποστολή απινιδωτή, όπως ένα ιαπωνικό drone, το M1000 (Mazex Co. Ltd.), με μέγιστο βάρος απογείωσης 32kg και μέγιστη ταχύτητα 58km/h. Τα πειράματα μεταφοράς έγιναν στο Tomi και στο Fujisawa, δύο λοφώδεις περιοχές. Στο Tomi, τα εδάφη είναι βαλτώδη για να περπατηθούν. Το M1000 χρησιμοποιήθηκε για τη μεταφορά αυτόματου εξωτερικού απινιδωτή βάρους 3,7kg μεγέθους 44×26×10 cm που παραδόθηκε με σχοινί. Παράλληλα μεταφέρθηκαν ένας απλός μετρητής γλυκόζης και ένας εγχυτήρας ινσουλίνης με ενσωματωμένο φάρμακο. Τα πειράματα αυτά περιελάμβαναν αυτόματες πτήσεις μετ' επιστροφής και αυτόματη προσγείωση. Η ταχύτητα του ανέμου ήταν κάτω από 25 km/h όλη την ημέρα και δεν υπήρξε βροχόπτωση (Yakushiji et al., 2020).

Σε ένα άλλο πείραμα, χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά οχτακόπτερα της HEIGHT TECH GmbH. Αυτά δεν πέταξαν αυτόματα αλλά χειροκίνητα ενώ είχαν μέγιστη ταχύτητα 70km/h, με εμβέλεια 10km. Τα drone είχαν τροποποιηθεί με δύο μάνδαλα συγκράτησης του AED, τα οποία άνοιγαν για την παράδοσή του. Ο απινιδωτής παραδόθηκε με ένα μικρό αλεξίπτωτο, το οποίο άνοιγε μετά το άνοιγμα του μάνταλου-απελευθέρωσης. Ο απινιδωτής, (Schiller AG - FRED easy port®) βάρους 490g μαζί με τη θήκη του είχαν συνολικό βάρος 1 kg ενώ είχαν προσαρτηθεί στο κάτω μέρος του drone. Δοκιμάστηκαν τρεις διαφορετικές τεχνικές για την παράδοση του απινιδωτή. Διαπιστώθηκε ότι η καλύτερη μέθοδος παράδοσης του AED ήταν η χρήση μάνταλου-απελευθέρωσης από χαμηλό ύψος (3-4m). Κατά τη μέθοδο απελευθέρωσης με αλεξίπτωτο, η μετατόπιση από τον άνεμο προκάλεσε αβεβαιότητα σχετικά με το που θα προσγειωνόταν το AED, ενώ στην επίγεια παράδοση υπήρχε

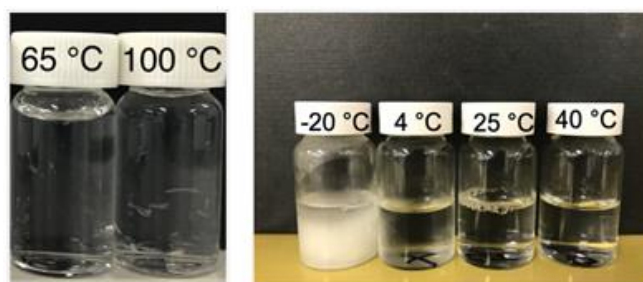
μεγαλύτερη απώλεια χρόνου (Claesson et al., 2016). Στον Πίνακα 7.3 παροσιάζονται μερικές μελέτες περίπτωσης drones μεταφοράς AED και τα ευρήματα τους.

**Πίνακας 7. 3: Χαρακτηριστικά τριών μελετών που αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των drones στην παροχή AED (Bhatt et al., 2018)**

Μελέτη	Ευρήματα	Συμπεράσματα
Pulver et al., 2016	Η κάλυψη OHCA με drone-AED αυξάνει το ποσοστό επιβίωσης σε σύγκριση με τις επίγειες υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης στην κομητεία Salt Lake, Γιούτα	Ένα δίκτυο μη επανδρωμένων αεροσκαφών ικανό να παραδίδει AEDs αυξάνει τα ποσοστά επιβίωσης σε περιπτώσεις OHCA
Claesson et al., 2016	Τα AED που παραδόθηκαν μέσω UAV στη Στοκχόλμη έφτασαν ταχύτερα από ότι επίγειες υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης σε περισσότερο από το 30% των αστικών περιοχών με μέση μείωση κατά 1,5' και σε περισσότερο από 90% των αγροτικών περιοχών με μείωση 19'	Τα drones φαίνεται να είναι εφικτή προσέγγιση για την παροχή AEDs συντομότερα από τις επίγειες υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης σε αγροτικές περιοχές
Boutilier et al., 2017	Μειωμένη χρονικά η παράδοση AED με drone σε σύγκριση με την επίγεια μεταφορά τόσο σε αγροτικές όσο και σε αστικές περιοχές στην μητροπολιτική περιοχή του Τορόντο	Τα UAV που παραδίδουν AEDs μπορούν να βελτιώσουν τα ποσοστά επιβίωσης σε ασθενείς με OHCA

Από την άλλη, έχουν γίνει αντίστοιχα πειράματα για μεταφορά φαρμάκων με άμεση επίδραση. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η ινσουλίνη. Η ινσουλίνη είναι ένα από τα σημαντικότερα φάρμακα που σώζουν ζωές σε ασθενείς με διαβήτη τύπου I (Alemlu et al., 2009). Επιπλέον, η ινσουλίνη είναι ένα ευαίσθητο φάρμακο με βάση τα πεπτίδια, στο οποίο εύκολα προκαλείται μη αναστρέψιμη συσσωμάτωση όταν υποβάλλεται σε περιβαλλοντικές καταπονήσεις, όπως υψηλές θερμοκρασίες και έκθεση σε κραδασμούς. Η αλλοίωση της δομής της ινσουλίνης μειώνει τη βιολογική της αποτελεσματικότητα. Οποιοσδήποτε συμβιβασμός στην ποιότητα του φαρμάκου είναι πιθανό να αποβεί επιζήμιος για την υγεία του ασθενούς (Akbarian et al., 2018).

Οι δοκιμές πτήσης σε ανθρώπινη ινσουλίνη απέδειξαν ότι η ποιότητα της ινσουλίνης διατηρήθηκε μετά την έκθεση της σε περιβάλλοντα που μιμούνται μια 30 λεπτή παράδοση από drone (θερμοκρασίες -20 έως +40°C, συχνότητες κραδασμών 0-40 Hz). Στο Σχήμα 7.7 φαίνονται τα φιαλίδια ινσουλίνης που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα. Μετά τη μεταφορά με drone, δεν υπήρξε καμία επίπτωση στο φάρμακο ινσουλίνης Actrapid εκτός από τον ελαφρύ σχηματισμό φυσαλίδων. Συνεπώς, αποδείχθηκε ότι η μεταφορά ινσουλίνης μέσω drone είναι εφικτή από άποψη φαρμακευτικής σταθερότητας και διατήρησης της ποιότητας του φαρμάκου (Hii et al., 2019).



**Σχήμα 7. 7: Ινσουλίνες αποθηκευμένες σε διαφορετικές θερμοκρασίες για 24 ώρες 0,2mg/mL (αριστερά) και 3,5mg/mL (δεξιά) για 30 λεπτά (Hii et al., 2019)**

Για τη μεταφορά ινσουλίνης, η διατήρηση θερμοκρασίας 2-8°C είναι η επιθυμητή. Ωστόσο, η ινσουλίνη μπορεί κανονικά να εξακολουθήσει να χρησιμοποιείται μέσα σε λίγες εβδομάδες, εφόσον η θερμοκρασία αποθήκευσης παραμένει κάτω από 30 °C (Katariya et al., 2018).

Για τον έλεγχο της ποιότητας της ινσουλίνης η Βρετανική Φαρμακοποιία εκτελεί έλεγχο με δοκιμή βαθμού απόχρωσης με βάση τη φορμαζίνη, που βασίζεται στην οπτική επιθεώρηση του γυάλινου φιαλιδίου χωρίς να καταστρέφεται το φάρμακο γεγονός που επικυρώνει τη δυνατότητα μεταφοράς ινσουλίνης με drone. Τέλος οι δονήσεις που υφίστανται τα φάρμακα μεταφερόμενα με τη χρήση πολυροτορικών drones θα μπορούσαν να μειωθούν μέσω της αύξησης του αριθμού των ρότορων, προκειμένου να αυξηθεί η σταθερότητα. Εναλλακτικά, η τεχνολογία gimbal που χρησιμοποιείται για τις βάσεις των φωτογραφικών μηχανών θα μπορούσε εύκολα να αξιοποιηθεί στη μεταφορά φαρμάκων. Τα drones σταθερής πτέρυγας, λόγω των ομαλών επιφανειών απογείωσης και προσγείωσης αποτελούν βέλτιστη λύση για τη μείωση των κραδασμών. Οι σημαντικότερες δονήσεις που επηρεάζουν το φάρμακο της ινσουλίνης κυμαίνονται μεταξύ 0,1 και 10 Hz (Hii et al., 2019).

### 7.1.2. Έμμεσες Έκτακτες Ανάγκες

Στο κεφάλαιο αυτό, θα αναφερθούν περιπτώσεις, όπου η μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού μπορεί να αφορά κάποια έκτακτη ανάγκη, αλλά δεν πρόκειται για καταστάσεις όπου τα λεπτά παίζουν τόσο σημαντικό ρόλο. Πρόκειται περισσότερο για καταστάσεις μετά από καταστροφές, για συστηματική μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού μεταξύ κλινικών ή σε απομακρυσμένες περιοχές ή για μεταφορά δειγμάτων εξέτασης. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται μερικές περιπτώσεις μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού.

**Πίνακας 7. 4: Τύποι φαρμάκων που μπορούν να παραδοθούν από drones (Hii et al., 2019)**

Εφαρμογή	Είδος Ανάγκης	Είδος Φάρμακου
Έμμεση Έκτακτη Ανάγκη	Πανδημία	Εμβόλια
Έμμεση Έκτακτη Ανάγκη	Υποψία Σήψης	Ενδοφλέβια αντιβιοτικά
Έμμεση Έκτακτη Ανάγκη	Χημειοθεραπεία	Χάπια νουκλεοτιδίων
Έμμεση Έκτακτη Ανάγκη	Χορήγηση φαρμάκων για περίθαλψη	Ενέσιμα φάρμακα (μορφίνη)
Έμμεση Έκτακτη Ανάγκη	Εξειδικευμένες εξετάσεις διάγνωσης	Αίμα

Μία συνήθης μεταφορά είναι η μεταφορά αίματος είτε ως δείγμα ελέγχου είτε για κάποια μετάγγιση. Η παράδοση προϊόντων αίματος μπορεί να είναι πολύ περίπλοκη λόγω των αυστηρών συνθηκών που πρέπει να διατηρούνται. Κατά τη μεταφορά αίματος πρέπει να διατηρείται ένα εύρος θερμοκρασίας 4-6 °C. Η Zipline στη Ρουάντα, μετέφερε ποσότητες αίματος μεταξύ νοσοκομείων και κλινικών. Ο Amukele συνέκρινε δείγματα κατεψυγμένων για 24 ώρες ερυθρών αιμοσφαιρίων, αιμοπεταλίων και πλάσματος τα οποία πέταξαν μέσω drone. Τα συμπεράσματα ήταν πως τα δείγματα δεν είχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ

τους. Παράλληλα, το ίδιο τεστ πραγματοποιήθηκε τόσο στο κρύο του χειμώνα όσο και στη ζέστη της ερήμου της Αριζόνα (Amukele, 2020, 2019). Τα αποτελέσματά έδειξαν επίσης ότι τα εργαστηριακά δείγματα, δεν επηρεάζονται από πτήσεις μέσω drone κάτω των 40 λεπτών. Εξαιρέσεις είναι τα δείγματα αίματος για εξέταση αερίων αίματος που φαίνεται να έχουν χαμηλή ακρίβεια ως αποτέλεσμα των πτήσεων με drones. Στην Ελβετία, από τον Οκτώβριο του 2017, τα drones έχουν λάβει έγκριση να πετούν αυτόνομα για τη μεταφορά προϊόντων αίματος και κυτταροστατικών υλικών μεταξύ νοσοκομείων για συγκεκριμένες διαδρομές (Ong, 2017).

Άλλες μελέτες εξέτασαν την επίδραση της πτήσης μικροβιολογικών δειγμάτων μέσω drones. Ο Amukele (2020) συνέκρινε ξανά τα μοτίβα ανάπτυξης μικροβίων σε δείγματα πτήσης μέσω drones και σταθερών-ακίνητων δειγμάτων. Οι ερευνητές έβαλαν σε φιαλίδια καλλιέργειας αίματος κάποια βακτήρια (χρυσίζων σταφυλόκοκκος, πνευμονικός στρεπτόκοκκος, εσερίχια κόλι και «εύθραυστο» βακτηριοειδές). Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στο μοτίβο ανάπτυξης ή στον αριθμό μικροοργανισμών στο αίμα ή στα πτύελα από τα δείγματα που πέταξαν σε σχέση με τα δείγματα που παρέμεναν ακίνητα (Bhatt, 2018).

Μία άλλη κατηγορία μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού έμμεσης έκτακτης ανάγκης είναι τα εμβόλια. Αυτή η κατηγορία αφορά κυρίως περιόδους πανδημίας ή μεταφορά εμβολίων σε απομακρυσμένες περιοχές (αγροτικές, νησιωτικές). Η προσβασιμότητα στα εμβόλια παραμένει σημαντικό ζήτημα. Σε έρευνα των Haidari et al. (2016) δημιουργήθηκε μια εικονική αναπαράσταση της εφοδιαστικής αλυσίδας εμβολίων στη Γάζα, μια επαρχία της Μοζαμβίκης. Η μελέτη εξέτασε κατά πόσον τα drones θα ήταν πιο αποτελεσματικά, στην παράδοση των εμβολίων από τις τρεις κεντρικές τοποθεσίες στα κέντρα υγείας της Γάζας. Με αυτό το μοντέλο, η διαθεσιμότητα των εμβολίων αυξήθηκε κατά 2% με εξοικονόμηση 0,08\$ ανά χορηγούμενη δόση. Βέβαια, οι ερευνητές αναγνωρίζουν ότι η παράδοση εμβολίων με drones είναι χρήσιμη εάν εμβολιάζεται μόνο ένας μικρός αριθμός ανθρώπων εβδομαδιαίως, σε περιοχές που δεν μπορούν να αποθηκευτούν τα εμβόλια για μεγάλα χρονικά διαστήματα και τα όρια εμβέλειας των UAVs μπορούν να ανταποκριθούν. Η τεχνολογία παράδοσης φορτίων με drones αναπτύσσεται και αναμένεται στα επόμενα 10 χρόνια να εξελιχθεί ακόμη περισσότερο. Ακόμη, δεν είναι ξεκάθαρο εάν πέραν της μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού υπάρχει άλλος λόγος εξέλιξής της. Γεγονός αποτελεί πάντως ότι σε όλες τις μεταφορές ιατροφαρμακευτικού υλικού ή δειγμάτων προς εξέταση οι έλεγχοι ποιότητας κατά την παραλαβή τους πρέπει να είναι απλοί, μη καταστροφικοί και εύκολα ερμηνεύσιμοι. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα παράδειγμα drone μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού.



**Σχήμα 7. 8: Το πρωτότυπο drone Delta σταθερής πτέρυγας με άνοιγμα φτερών 2 μέτρα, για μεταφορά ιατροφαρμακευτικών προμηθειών σε αγροτικές περιοχές (χρόνος πτήσης: 45΄ ταχύτητα πτήσης 70km/h) (Wulfovich et al., 2018)**

Τέλος, τα drones όπως έχει ήδη αναφερθεί μπορούν να χρησιμοποιηθούν με την εφαρμογή της τηλεϊατρικής σε απομονωμένες περιοχές. Αυτό μπορεί να γίνει με drones τα οποία θα έχουν ενσωματωμένα τεχνολογικά προηγμένα ψηφιακά συστήματα υγείας, για την παρακολούθηση της ηλεκτροκαρδιογραφικής δραστηριότητας, τη μέτρηση του σφυγμού, της αρτηριακής πίεσης, της θερμοκρασίας, τον κορεσμό οξυγόνου και γενικότερα της εξέτασης και διάγνωσης (Zhao et al., 2017). Αυτά τα drones θα χρησιμοποιούν εξαιρετικά ασφαλή δίκτυα, που θα επιτρέπουν στους ασθενείς να συνδέονται άμεσα με τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης.

## 7.2. Αξιολόγηση και αντιστοίχιση κατηγοριών UAVs σε γενικές εφαρμογές και εφαρμογές μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού

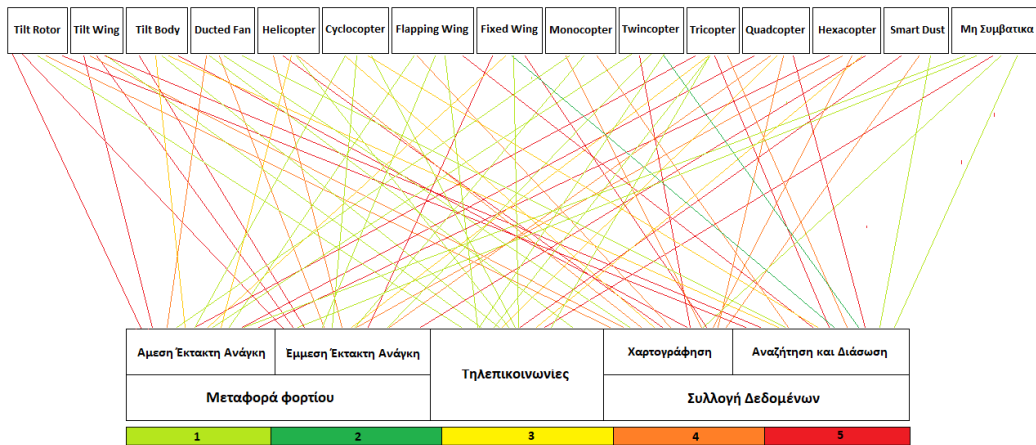
Εφόσον έχει ολοκληρωθεί η επιμέρους ανάλυση των drones και των εφαρμογών τους, είναι εφικτή η αξιολόγηση της ικανότητας όλων των κατηγοριών drones και η αντιστοίχιση τους με τις εφαρμογές τους. Βασιζόμενοι στη μέχρι τώρα ανάλυση που κάναμε, στις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες κατηγορίες της κάθε εφαρμογής βάσει βιβλιογραφίας, στο μέγεθος που συνηθίζεται η κάθε κατηγορία και βέβαια στα χαρακτηριστικά της κάθε κατηγορίας θα προβούμε στην αξιολόγηση της καταλληλότητας κάθε κατηγορίας drone και την αντιστοίχισή της με την εκάστοτε εφαρμογή παροχής ανθρωπιστικής βοήθειας. Παρακάτω φαίνεται ένας πίνακας με όλες τις κατηγορίες drones και τις βασικότερες εφαρμογές τους. Η κάθε κατηγορία βαθμολογείται σε μία κλίμακα από το 1 έως το 5 (1 λιγότερο κατάλληλη - 5 πλήρως κατάλληλη) ως προς την καταλληλότητά της στην εκάστοτε εφαρμογή.

**Πίνακας 7. 5: Αξιολόγηση κατηγοριών drones και αντιστοίχισή τους με την εκάστοτε εφαρμογή παροχής ανθρωπιστικής βοήθειας**

Κατηγορίες Drone	Μεταφορά Φορτίου		Τηλεπικοινωνίες	Συλλογή Δεδομένων		Βαθμολογία
	Άμεση Έκτακτη Ανάγκη	Έμμεση Έκτακτη Ανάγκη		Χαρτογράφηση	Αναζήτηση και Διάσωση	
Tilt Rotor	5	5	1	4	5	20
Tilt Wing	5	5	1	4	5	20
Tilt Body	3	5	1	5	3	17
Ducted Fan	4	4	1	1	1	11
Helicopter	3	4	1	5	4	17
Cyclocopter	1	1	1	3	3	9
Flapping Wing	1	1	1	4	5	12
Fixed Wing	3	5	1	5	2	16
Monocopter	1	1	1	4	4	11
Twincopter	1	1	1	5	2	10
Tricopter	5	3	1	4	5	18
Quadcopter	5	4	3	4	5	21
Hexacopter	5	5	3	4	4	21
Smart Dust	-	-	-	4	1	5
Μη Συμβατικά	1	1	5	1	1	9
<b>Βαθμολογία</b>	<b>43</b>	<b>45</b>	<b>22</b>	<b>57</b>	<b>50</b>	

Όπως είναι λογικό, μεγαλύτερη βαθμολογία από τις κατηγορίες drone πήραν κατηγορίες με κάθετη δυνατότητα πτήσης (VTOL), ενώ στις εφαρμογές τη μεγαλύτερη βαθμολογία πήρε η εφαρμογή της συλλογής δεδομένων με 57 και 50 για τη χαρτογράφηση και την αναζήτηση και διάσωση αντίστοιχα. Αυτό συνέβη διότι είναι οι εφαρμογές με τις λιγότερες απαιτήσεις όσον αφορά την κατηγορία drone, αφού στηρίζονται κατα κύριο λόγο στους αισθητήρες. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί πως στη χαρτογράφηση, κατηγορίες όπως flapping wing, smart dust, monocopter και tricopter έλαβαν υψηλές βαθμολογίες όχι για οπτική χαρτογράφηση μεγάλων εκτάσεων, αλλά για κλειστούς χώρους, όπως ακόμη και για θερμική χαρτογράφηση ή χαρτογράφηση ήχου κ.α. Στην επόμενη εικόνα, φαίνεται ο προηγούμενος πίνακας ως διάγραμμα έντασης της δεκτικότητας κάποιων εφαρμογών από πληθώρα κατηγοριών drones, καθώς και η ικανότητα και η αδυναμία των διαφόρων κατηγοριών να ανταπεξέλθουν στις διαφορετικές εφαρμογές.





**Σχήμα 7. 9: Σχηματική Απεικόνιση της Αξιολόγησης των Κατηγοριών drones για την εκάστοτε εφαρμογή**

Αφού στα τελευταία κεφάλαια εστίασαμε την προσοχή μας στον τομέα της υγείας και συγκεκριμένα στη βοήθεια των drones στη μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού, θα γίνει μία ακόμη αξιολόγηση των διαφόρων κατηγοριών drones βάσει συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, στη μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού καταστάσεων άμεσης ανάγκης. Όπως έχει αναλυθεί σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, πέρα από την άμεση ανταπόκριση, που είναι ο κύριος λόγος επιλογής των drones, το φορτίο πρέπει να παραδίδεται άθικτο και υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Επομένως χρειάζεται να γίνει μία ανακεφαλαίωση. Για ιατροφαρμακευτικό υλικό, με την έννοια φαρμάκων ή δειγμάτων προς εξέταση, η ακεραιότητα του φορτίου εξαρτάται από τις συνθήκες που αυτό μεταφέρεται. Αυτές είναι η θερμοκρασία, η πίεση και οι κραδασμοί. Τα πρώτα δύο εύκολα μπορούν να ελεγχθούν και δεν έχουν να κάνουν με τη διαμόρφωση των drones, ενώ το τρίτο σχετίζεται μερικώς με το είδος της κατηγορίας και αντικατοπτρίζεται απο τη σταθερότητα της εκάστοτε κατηγορίας. Άλλο χαρακτηριστικό θα μπορούσε να είναι η αυτονομία, η οποία σχετίζεται με το χρόνο πτήσης του drone και επομένως την απόσταση που αυτό διανύει. Στην διανυόμενη απόσταση παίζει ρόλο και η εμβέλεια, αλλά και η ταχύτητα πτήσης, επομένως όλα τα προηγούμενα χαρακτηριστικά τα οποία δεν έχουν να κάνουν με τη διαμόρφωση του drone μπορούν να συμπεριληφθούν στη γενικότερη αεροδυναμική με την έννοια των λιγότερων ενεργειακών απωλειών λόγω αντίστασης αέρα. Τέλος, ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που έχει να κάνει πλήρως με τη διαμόρφωση των drones είναι ο τρόπος προσγείωσης και απογείωσης.
















Επομένως όλες οι κατηγορίες drones θα αξιολογηθούν βάσει των εξής χαρακτηριστικών:

1. Σταθερότητα (κραδασμοί)
2. Αεροδυναμική
3. Τρόπος προσγείωσης-απογείωσης

Αυτά τα χαρακτηριστικά θα βαθμολογηθούν σε μία κλίμακα από το 1 έως το 10, με διαφορετικούς συντελεστές βαρύτητας και για κάθε κατηγορία θα προκύπτει μια τελική βαθμολογία ως άθροισμα της βαθμολογίας των τριών χαρακτηριστικών επί τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας. Οι κατηγορίες θα βαθμολογηθούν για σενάριο χρήσης άμεσης ανάγκης μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού. Για το λόγο αυτό, αποφασίστηκε οι βαρύτητες (Wi) για τη σταθερότητα, την αεροδυναμική και τον τρόπο προσγείωσης-απογείωσης να είναι 0.3, 0.2, 0.5 αντίστοιχα. Η απόφαση για τα συγκεκριμένα

βάρη συντελεστών έγινε δεδομένου ότι η ικανότητα των drones να προσγειώνονται-απογειώνονται κάθετα αποτελεί το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό σε αποστολές έκτακτης ανάγκης, όπου οι συνθήκες δεν είναι από πριν καθορισμένες. Ενώ για τους συντελεστές σταθερότητας και αεροδυναμικής κρίθηκε σημαντικότερη η ικανότητα των drone να μεταφέρουν άθικτο το ιατροφαρμακευτικό υλικό (σταθερότητα) σε σχέση με την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της αεροδυναμικής τους. Επίσης, μπορεί να γίνει αντιληπτό πως, εφόσον πρόκειται για μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού και επομένως μεταφορά φορτίου, μερικές κατηγορίες αποκλείονται εξ ορισμού λόγω των δυνατοτήτων τους. Γενικότερα, παρόλο που στο πλαίσιο αυτής της εργασίας αξιολογούνται όλες οι κατηγορίες drones, αυτές υπάγονται στη γκάμα μεγέθους μUAV έως MAV που ενδείκνυνται για μεταφορά φορτίου μερικών κιλών, δηλαδή, για μεγέθη drones με άνοιγμα φτερών από περίπου 40 εκατοστά έως 2 μέτρα. Επομένως, όποια κατηγορία δεν ενδείκνυται και δεν είναι στο εύρος λειτουργίας της η μεταφορά φορτίου, δεν θα συμμετάσχει στην αξιολόγηση.

**Πίνακας 7. 6: Αξιολόγηση drone για μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού**

Κατηγορίες	Σταθερότητα	Αεροδυναμική	Προσγείωση-Απογείωση	$\sum_{j=1}^3 W_j * X_j$
 Tilt Rotor	10	8	10	9.6
 Tilt Wing	9	10	10	9.7
 Tilt Body	9	8	6	7.3
 Ducted Fan	5	5	10	7.5
 Helicopter	4	8	10	7.8
 Cyclocopter	7	6	10	8.3
 Flapping Wing	3	4	5	4.2
 Fixed Wing	10	10	5	7.5
 Monocopter	-	-	-	-
 Twincopter	-	-	-	-
 Tricopter	9	7	10	9.1
 Quadcopter	8	7	10	8.8
 Hexacopter	10	7	10	9.4
 Smart Dust	-	-	-	-
 Μη Συμβατικά	-	-	-	-

Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα, αλλά και λόγω των συντελεστών βαρύτητας, υψηλότερη βαθμολογία έχουν συγκεντρώσει οι κατηγορίες VTOL, που έχουν δηλαδή τη δυνατότητα να απογειώνονται και να προσγειώνονται κάθετα, δηλαδή τα drones tilt-rotor, tilt-wing, tricopter, quadcopter, hexacopter. Είναι λογικό, καθώς σε μία κατάσταση έκτακτης ανάγκης, όπου η τοποθεσία δεν είναι από πριν προσδιορισμένη και επομένως δεν υπάρχουν συστήματα ή χώρος προσγείωσης, drones με δυνατότητα κάθετης απογείωσης προσγείωσης συγκεντρώνουν την υψηλότερη βαθμολογία. Θεωρείται δεδομένο, όπως προκύπτει από την ανάλυση προηγούμενων κεφαλαίων, πως στην κατηγορία των πολυροτοτικών η σταθερότητα αυξάνεται όσο πληθαίνουν οι ρότορες. Επομένως είναι λογικό τα οχτακόπτερα και τα δωδεκακόπτερα, που δεν εμπεριέχονται στη βαθμολόγηση, να θεωρούνται αντίστοιχης βαθμολογικής αξίας με τα υπόλοιπα VTOL.

### 7.3. Μελέτη Περίπτωσης με τη Χρήση του UAV Readiness Tool v1.0

Στο κεφάλαιο αυτό, αφού αναλύθηκε η χρήση των UAVs στην υγεία, για σενάρια άμεσης και έμμεσης έκτακτης ανάγκης αλλά και μετά την αξιολόγηση των διαφόρων κατηγοριών drones για γενικές εφαρμογές και για εφαρμογές μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού, θα μελετήσουμε με τη βοήθεια ενός εργαλείου αν είναι εφικτή η χρήση UAV για τη μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού και ποιες παράμετροι πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Το UAV Readiness Tool v1.0 πρόκειται για ένα εργαλείο σχεδιασμένο από τους Margaret Eichleay, Emily Evens, Caleb Parker και Kayla Stankevitz. Αυτή η εφαρμογή αφορά όσους εξετάζουν τη χρήση drones στη μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού, ενώ βοηθάει τους χρήστες του στα εξής:

- Να μάθουν τις παραμέτρους χρήσης drone στις μεταφορές
- Να καθοριστεί με σαφήνεια μια εφικτή περίπτωση χρήσης
- Να διενεργηθεί αξιολόγηση στα ενδιαφερόμενα μέρη
- Να επιλεχθούν περιοχές για εφαρμογή βάσει της δύναμης του συστήματος υγείας

Αυτό το εργαλείο μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας, εξετάζει κατά πόσον η προσθήκη drone στις ιατρικές εφοδιαστικές αλυσίδες είναι εφικτή επιλογή. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η σειρά των βημάτων και των παραμέτρων που χρειάζονται προκειμένου να ελεγχθεί η βιωσιμότητα χρήσης drones σε σενάρια μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού.

#### Αξιολόγηση της κατάστασης

-Ποιος είναι ο στόχος για τη χρήση UAV στις μεταφορές;

1. Μείωση των αποθεμάτων ιατρικών προϊόντων
2. Βελτίωση των χρόνων απόκρισης για ιατρικά αγαθά έκτακτης ανάγκης
3. Βελτίωση των χρόνων διεκπεραίωσης των εργαστηριακών εξετάσεων
4. Διασφάλιση της εγκυρότητας των βιοϊατρικών δειγμάτων κατά την άφιξή τους στο εργαστήριο για εξέταση
5. Διασφάλιση της διαθεσιμότητας ιατρικών αγαθών σε απομακρυσμένες τοποθεσίες

6. Παροχή υπηρεσιών υγείας σε άτομα που δεν μπορούν να φτάσουν σε εγκαταστάσεις υγείας
7. Μείωση του κινδύνου για όσους μεταφέρουν ιατρικά αγαθά
8. Διασφάλιση ότι τα εμβόλια παραμένουν έγκυρα κατά τη μεταφορά (βελτίωση της ψυκτικής αλυσίδας)
9. Κανένα από αυτά

-Ποιοι παράγοντες περιορίζουν την ικανότητά επίτευξης αυτού του στόχου;

1. Απόσταση
2. Ταχύτητα ταξιδιού/συνθήκες ταξιδιού
3. Οι εποχικές καιρικές συνθήκες καθιστούν τις διαδρομές δύσβατες
4. Ανασφάλεια κατά μήκος της διαδρομής του ταξιδιού
5. Τα βιοϊατρικά δείγματα φθάνουν στα εργαστήρια σε παρτίδες πολύ μεγάλες για τη χωρητικότητα των μηχανημάτων εξέτασης ή του προσωπικού και ως εκ τούτου, καθυστερούν
6. Δεν υπάρχουν καύσιμα
7. Δεν υπάρχουν οχήματα ή οδηγοί
8. Η μεταφορά αντικειμένων καθυστερεί έως ότου επιτευχθεί μια συγκεκριμένη ποσόστωση
9. Οι εργαζόμενοι στον τομέα της υγειονομικής περίθαλψης αναμένεται να μεταφέρουν οι ίδιοι τα δείγματα/εμπορεύματα
10. Κανένα από αυτά

### Καθορισμός παραμέτρων περίπτωσης χρήσης

-Ποιο από τα ακόλουθα διαγράμματα αντιπροσωπεύει καλύτερα την κατεύθυνση της διαδρομής μεταφοράς του drone;



Δηλαδή μεταφορά μονής κατεύθυνσης, αμφίδρομη μεταφορά με την ίδια αφετηρία και τον ίδιο τελικό προορισμό ή αμφίδρομη μεταφορά με διαφορετικές αφετηρίες και προορισμούς.

-Ποια είναι η τοποθεσία 1;

1. Αποθήκη
2. Νοσοκομείο
3. Μονάδα κατώτερης υγειονομικής φροντίδας
4. Φαρμακείο
5. Εργαστήριο
6. Σπίτι

## 7. Κοινοτική τοποθεσία

-Ποια είναι η τοποθεσία 2;

1. Αποθήκη
2. Νοσοκομείο
3. Μονάδα κατώτερης υγειονομικής φροντίδας
4. Φαρμακείο
5. Εργαστήριο
6. Σπίτι
7. Κοινοτική τοποθεσία
8. Δεν έχει προσδιοριστεί ακόμη

-Πόσες περίπου τοποθεσίες 1 υπάρχουν;

1. 1
2. 2-5
3. 6-25
4. 26-100
5. Πάνω από 100

-Πόσες τοποθεσίες 2 υπάρχουν;

1. 1
2. 2-5
3. 6-25
4. 26-100
5. Πάνω από 100

-Ποια είναι η απόσταση σε ευθεία γραμμή (km) μεταξύ της τοποθεσίας 1 και της τοποθεσίας 2;

-Το δέμα που ταξιδεύει από την τοποθεσία 1 στην τοποθεσία 2 απαιτεί συστηματική ή έκτακτη μεταφορά;

-Περιγράψτε τις διαστάσεις του μεγαλύτερου πακέτου που πρέπει να μεταφερθεί από την τοποθεσία 1 στην τοποθεσία 2 (Βάρος (kg), Μήκος (cm), Πλάτος (cm), Ύψος (cm)).

-Πρέπει η συσκευασία να διατηρείται εντός ενός συγκεκριμένου εύρους θερμοκρασίας;

-Ποια είναι η μέση συχνότητα μεταφοράς από τη τοποθεσία 1 στη τοποθεσία 2;

-Υπάρχουν περιορισμοί στο χρόνο μεταφοράς από την τοποθεσία 1 στην τοποθεσία 2 (π.χ. αν πρόκειται για δείγματα είναι άκυρα μετά από 72 ώρες);

-Υπάρχουν ημέρες της εβδομάδας κατά τις οποίες η μεταφορά δεν είναι δυνατή;

-Ποιο είναι το γεωγραφικό ανάγλυφο των περιοχών στις οποίες θα πετάει το drone;

1. Έρημος
2. Δάσος
3. Νησί
4. Βουνό/Φάραγγι

5. Ανοιχτό (πεδιάδες, σαβάνια, αγροτικές εκτάσεις, τούνδρα)
6. Βάλτος/Υγρότοποι/Ποτάμια
7. Λίμνη
8. Κοιλιάδα/Πλάτωμα
9. Ιδιαίτερα αστικό
10. Άλλα

-Είδος κακοκαιρίας που επικρατεί συνήθως στην περιοχή ενδιαφέροντος;

1. Κανένα
2. Ισχυροί άνεμοι
3. Σεζόν μουσώνων/βροχής
4. Πλημμύρες
5. Χιόνι
6. Καταιγίδες σκόνης/άμμου
7. Άλλα

-Υπάρχουν ζητήματα ασφαλείας στην περιοχή ενδιαφέροντος που θα μπορούσαν να περιπλέξουν τις αποστολές;

1. Κανένα
2. Ένοπλη σύγκρουση
3. Κλοπή ιατρικών προμηθειών
4. Συχνές ταραχές/διαμαρτυρίες
5. Άλλα

-Στην περιοχή πτήσης του drone, υπάρχουν περιοχές με προστατευμένο εναέριο χώρο εντός ή κοντά της περιοχής πτήσης;

1. Κανένα
2. Στρατιωτική εγκατάσταση
3. Φυσικές προστατευόμενες περιοχές
4. Μεγάλες ιδιωτικές εταιρείες στις οποίες μπορεί να μην αρέσουν οι πτήσεις με μη επανδρωμένα αεροσκάφη πάνω από αυτές
5. Σύνορα σε σύγκρουση
6. Άλλα

Παρακάτω καθορίζουμε τις παραμέτρους που τίθενται για σενάρια χρήσης άμεσης έκτακτης ανάγκης. Λόγω του ενδιαφέροντος καθορισμού ενός γενικού σεναρίου πολλές παράμετροι δεν είναι πλήρως προσδιορισμένες. Λόγω της αβεβαιότητας στη συνθήκη έκτακτης ανάγκης θεωρείται ένα γενικό σενάριο χρήσης, όπου η τοποθεσία αποστολής δεν είναι από πριν γνωστή. Το ιατροφαρμακευτικό υλικό που θα μεταφέρεται θεωρείται πως είναι ένα “κιτ” πρώτων βοηθειών για το χρόνο που μεσολαβεί μέχρι να φτάσει εξειδικευμένη ομάδα στο σημείο. Πέρα από τα βασικά υλικά θα περιέχεται και απινιδωτής, ενώ λόγω του χαμηλού βάρους του μέχρι τώρα περιεχομένου υπάρχει περιθώριο και για πρόσθετα στοιχεία στο “κιτ”. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται μερικώς προσδιορισμένες, οι παράμετροι ενός γενικού σεναρίου χρήσης.

**Πίνακας 7. 7: Παράμετροι σεναρίου χρήσης drone για μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού σε έκτακτη ανάγκη**

<b>Αξιολόγηση της κατάστασης</b>	
Καθορισμός στόχου χρήσης drone στις μεταφορές	Βελτίωση των χρόνων απόκρισης για ιατρικά αγαθά έκτακτης ανάγκης
Παράγοντες περιορισμού της ικανότητας επίτευξης του παραπάνω στόχου	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Απόσταση</li> <li>• Ταχύτητα ταξιδιού/συνθήκες ταξιδιού</li> </ul>
<b>Καθορισμός της περίπτωσης χρήσης</b>	
Επιλογή διαδρομής κατεύθυνσης	Μεταφορά μονής κατεύθυνσης
Ορισμός τοποθεσίας 1	Κοινοτική τοποθεσία
Ορισμός τοποθεσίας 2	Δεν έχει προσδιοριστεί ακόμη
Πόσες περίπου τοποθεσίες 1 υπάρχουν	1
Πόσες περίπου τοποθεσίες 2 υπάρχουν	6-25
Χιλιομετρική απόσταση σε ευθεία γραμμή μεταξύ της τοποθεσιών 1 και 2	10km
Συστηματική ή έκτακτη μεταφορά του φορτίου από τη τοποθεσία 1 στη 2	Έκτακτη μεταφορά (όποτε χρειαστεί)
Διαστάσεις και βάρος φορτίου	≈ 2 κιλά/30cm*30cm*20cm
Το φορτίο πρέπει να διατηρείται εντός συγκεκριμένου εύρους θερμοκρασίας	Όχι
Μέση συχνότητα μεταφοράς	≈ 25φορές/χρόνο
Περιορισμοί στο χρόνο μεταφοράς	1 ώρα
Ημέρες της εβδομάδας κατά τις οποίες η μεταφορά δεν είναι δυνατή	Όχι
Γεωγραφικό ανάγλυφο περιοχών πτήσης drone	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δάσος</li> <li>• Βουνό/ Φαράγγι</li> </ul>
Συνήθης καιρός στην περιοχή ενδιαφέροντος	Κανένα
Ζητήματα ασφαλείας στη περιοχή ενδιαφέροντος	Κανένα
Ύπαρξη περιοχών με προστατευμένο εναέριο χώρο εντός ή κοντά της περιοχής πτήσης	Κανένα

Πρόκειται για ένα γενικό σενάριο χρήσης που μπορεί να προσαρμοστεί σε διάφορες συνθήκες. Ο λόγος που ελέγχεται ένα τέτοιο σενάριο είναι προκειμένου να φτάσει σε μικρότερο χρόνο έκτακτη βοήθεια στο συμβάν. Θεωρείται φυσικό πως η ολοκληρωμένη παροχή βοήθειας θα δοθεί μετέπειτα απο εξειδικευμένο προσωπικό. Λόγοι καθυστέρησης της παροχής έκτακτης βοήθειας από υγειονομικό προσωπικό μπορεί να είναι η απόσταση και η ταχύτητα προσέγγισης (π.χ. μοτολιάρισμα). Θεωρείται πτήση μονής κατεύθυνσης λόγω του ότι το “κιτ” παρέχεται για το μεσοδιάστημα (≈1 ώρα) μέχρι την παροχή ολοκληρωμένης φροντίδας και μετά συλλέγεται το drone απο το υγειονομικό προσωπικό. Τα drones είναι ήδη τοποθετημένα σε δημόσιες τοποθεσίες για την κάλυψη περιοχών υψηλού κινδύνου, ενώ οι τοποθεσίες προορισμού δεν είναι γνωστές εκ των προτέρων. Το σενάριο χρήσης αφορά ένα drone, το οποίο θα έχει τη δυνατότητα αποστολής σε πληθώρα προορισμών, ενώ μέσω της εμβέλειας του drone (10km) καλύπτεται εμβαδόν 314km<sup>2</sup>. Η μεταφορά αφορά μόνο έκτακτα περιστατικά και για το λόγο αυτό το “κιτ” μικρών διαστάσεων περιέχει συγκεκριμένα πράγματα. Ο καιρός δεν λήφθηκε υπ’ όψιν ως περιορισμός, όπως ούτε περιορισμοί ασφαλείας ή προστατευόμενων χώρων. Ενώ οι περιοχές που θα επιχειρούσαν τα drones θεωρήθηκαν δύσβατες, με δυσκολία χερσαίας προσέγγισης, και παράλληλα αθλητικού ενδιαφέροντος.

Τα αποτελέσματα αυτού του γενικού σεναρίου χρήσης που προκύπτουν από το UAV Readiness Tool v1.0 δείχνουν ότι η χρήση drone για τέτοιας φύσεως καταστάσεις καθίσταται εφικτή, ενώ πρώτα θα πρέπει να εφαρμοσθεί πιλοτικά οποιοδήποτε μελέτη περίπτωσης. Τονίζεται ότι οι λειτουργίες των UAVs είναι απίθανο να επιλύσουν ζητήματα που σχετίζονται με το εργατικό δυναμικό, την εποπτεία, θέματα οικονομικής φύσεως ή θέματα εργαστηριακού εξοπλισμού. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι σημαντικό να εξεταστούν αυτές οι πτυχές της παροχής υπηρεσιών υγείας με άλλους τρόπους. Επίσης αναφέρεται πως οι πτήσεις επιστροφής θα είναι κενές αφού έχει επιλεγεί μονής διαδρομής πτήση, γεγονός που καθιστά το σενάριο λιγότερο περίπλοκο αλλά περισσότερο κοστοβόρο. Βέβαια στο οικονομικό κομμάτι σημειώνεται, πως για οποιαδήποτε τεχνολογία μεταφοράς, δεν είναι επιθυμητό η συσκευή να παραμείνει αδρανής. Για το λόγο αυτό, η αποδοτικότητα του κόστους είναι καλύτερη όταν η συσκευή χρησιμοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο. Ακόμη αναφέρεται, πως πολλές φορές, οι χρήστες θέλουν το UAV να είναι αθόρυβο. Θα πρέπει να γίνει επιλογή θορυβώδους ή μη UAV ανάλογα αν ο κόσμος χρειάζεται να ξέρει ότι έρχεται ένα drone. Τα UAVs που τροφοδοτούνται από ηλεκτρική ενέργεια είναι πολύ πιο αθόρυβα σε σχέση με αυτά που τροφοδοτούνται από βενζίνη. Τέλος υπόλοιπες δυνατότητες του συγκεκριμένου εργαλείου αφορούν μετέπειτα αξιολόγηση χρήσης όταν θα είναι πλήρως καθορισμένο το σενάριο και θα εμπλέκονται φορείς ή ομάδες όπως νοσοκομειακό προσωπικό ή ομάδες διάσωσης.

Συμπερασματικά, φαίνεται πως η χρήση drone για μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού σε περιπτώσεις άμεσης έκτακτης ανάγκης καθίσταται εφικτή αρκεί να λειτουργήσει ως ένα επικουρικό μέσο και όχι ως βασικό για την επικάλυψη κενών του υπάρχοντος συστήματος υγείας. Ακόμη κάθε ενέργεια θα πρέπει να τεθεί πρώτα σε ένα πιλοτικό σενάριο χρήσης προκειμένου να αναδειχθούν αδυναμίες και λεπτομέρειες που δεν έχουν ληφθεί εκ των προτέρων υπόψιν.



## 8. Συμπεράσματα

Ανασκοπώντας όσα προαναφέρθηκαν, καθίσταται εμφανές πως η τεχνολογία των drones αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη τεχνολογική λύση σε τομείς ανθρωπιστικής βοήθειας. Αφορμή για τη συγκεκριμένη μελέτη, αποτέλεσε η έλλειψη μίας κατηγοριοποίησης drone η οποία να βοηθάει τον ενδιαφερόμενο στην επιλογή drone βάσει της εφαρμογής που έχει να εκτελέσει. Έτσι επιλέχθηκε, τα drones να κατηγοριοποιηθούν με γνώμονα τη διαμόρφωση τους, αφού οι περισσότερες κατηγοριοποιήσεις στηριζόντουσαν στο βάρος ή στο μέγεθος των UAVs. Τέτοιες κατηγοριοποιήσεις εξυπηρετούν την εφαρμογή νομοθετικών πλαισίων αλλά όχι κάποιον που θέλει να επιλέξει τη βέλτιστη κατηγορία για την εκτέλεση μίας εργασίας. Η κατηγοριοποίηση που επιλέχθηκε, έλαβε υπόψη χαρακτηριστικά όπως είναι η αεροδυναμική των drones, η θέση και ο αριθμός των κινητήρων τους. Έτσι, πρακτικά δημιουργήθηκε ένας οδηγός για ενδιαφερόμενους του τομέα των drones, είτε σε ακαδημαϊκό επίπεδο είτε σε ερευνητικό είτε επαγγελματικό. Αυτός ο οδηγός-κατηγοριοποίηση θα μπορούσε να αποτελέσει σημαντικό εργαλείο για οργανώσεις και ομάδες σε κάποιο μελλοντικό τους project.

Εκατέρωθεν του κεφαλαίου της κατηγοριοποίησης των drones, αναλύθηκαν τα μέρη που αποτελούν ένα σύστημα μη επανδρωμένου αεροσκάφους (UAS) και ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος (UAV), αναλύθηκαν γενικές εφαρμογές των drones και η εφαρμογή των drones στην ανθρωπιστική εφοδιαστική (humanitarian logistics) για παροχή ανθρωπιστικής βοήθειας. Στη σύγχρονη εποχή όπου οι καταστροφές πληθαίνουν και το σύστημα διαχείρισης αυτών δεν βρίσκεται σε ετοιμότητα, οι μόνοι ζημιωμένοι από τις επιπτώσεις είναι οι άνθρωποι. Συνεπώς, η τεχνολογία όπως εξελίσσεται μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο στην ανθρωπιστική βοήθεια. Τα drones μπορούν να βοηθήσουν με διάφορους τρόπους, με κύριες εφαρμογές τους τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, τις τηλεπικοινωνίες και τη μεταφορά ωφέλιμου φορτίου.

Τελικό αποτέλεσμα και παρακλάδι των παραπάνω αναλύσεων, ήταν η έρευνα της εφαρμογής των drones στην υγεία και πιο συγκεκριμένα για τη μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού. Αυτό επιτεύχθηκε συνδυαστικά μέσω της βιβλιογραφικής μελέτης και μίας πολυκριτηριακής αξιολόγησης των διαφόρων κατηγοριών drones τόσο σε γενικής φύσεως εφαρμογές όσο και για μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού τάξης μεγέθους μερικών κιλών. Στην αξιολόγηση για τη μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού λήφθηκαν υπόψη κριτήρια όπως η σταθερότητα, η αεροδυναμική των drones, με την έννοια των λιγότερων ενεργειακών απωλειών, και ο τρόπος προσγείωσης-απογείωσης. Το ιατροφαρμακευτικό υλικό θα μπορούσε να είναι από παρακεταμόλη έως απινιδωτής. Η συγκεκριμένη αξιολόγηση, όλων των κατηγοριών drones, έγινε με γνώμονα τη διατήρηση της ποιότητας του ιατροφαρμακευτικού υλικού και τη φύση της έκτακτης ανάγκης. Αποδείχθηκε ότι οι υβριδικές κατηγορίες υπερτερούσαν σε σύγκριση με τις υπόλοιπες, ενώ η ευρύτερη κατηγορία VTOL θεωρείται απαραίτητη όταν η τοποθεσία προορισμού του drone είναι δυσπρόσιτη, με περιορισμένο χώρο και όχι εκ των προτέρων γνωστή. Οι συγκεκριμένες αναλύσεις βοήθησαν στο να καταλήξουμε στις βέλτιστες κατηγορίες drones για μεταφορά ιατροφαρμακευτικού υλικού, αλλά και στην αντιστοίχιση των διαφόρων κατηγοριών drones στην πληθώρα εφαρμογών τους.

Στο τελευταίο κομμάτι της εργασίας, έγινε χρήση του UAV Readiness Tool v1.0, ενός εργαλείου που βοηθάει στον έλεγχο σεναρίων χρήσης μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού μέσω drone. Επιλέχθηκε ένα γενικό σενάριο χρήσης λαμβάνοντας υπόψη

παραμέτρους όπως το βάρος του φορτίου, το σχέδιο πτήσης του drone καθώς και τη συχνότητα του δρομολογίου. Βάσει των αποτελεσμάτων του UAV Readiness Tool v1.0, φάνηκε πως είναι εφικτή μία τέτοια χρήση ενώ επισημάνθηκαν και άλλες παράμετροι που θα πρέπει να ελεγχθούν εάν το σενάριο τεθεί σε πρακτική εφαρμογή.

Από όλα τα παραπάνω αποδεικνύεται η δυναμική των drones σε τομείς ανθρωπιστικής βοήθειας, και ιδιαίτερα η προοπτική τους για σενάρια μεταφοράς ιατροφαρμακευτικού υλικού. Παρόλη τη δυναμική των UAVs, η νομοθεσία αποτελεί βασικό τροχοπέδη στην εξέλιξη τους. Μοναδικός τρόπος προκειμένου να γίνει ευρεία χρήση αυτής της τεχνολογίας είναι η αποσαφήνιση πως τα drones δεν αποτελούν απλώς ένα ψυχαγωγικό μέσο αλλά ένα εργαλείο που μπορεί να σώσει ανθρώπινες ζωές. Επομένως μέσω της επικουρικής λειτουργίας των drones συνδυαστικά με τις υπάρχουσες δομές, της βελτιστοποίησης των επιμέρους τεχνολογιών τους, καθώς και της γενικότερης κοινωνικής αποδοχής τους αυτό μπορεί να επιτευχθεί. Κομβικό ρόλο σε αυτή τη προσπάθεια θα παίξει η ακαδημαϊκή κοινότητα, οι εταιρείες κατασκευής drone, οι μη κερδοσκοπικοί οργανισμοί και οι κρατικοί φορείς οι οποίοι μόνο μέσω συνεργασίας και εφαρμογής της τεχνολογίας των drones, σε πραγματικές περιπτώσεις ανθρωπιστικής βοήθειας, μπορούν να επιτύχουν κάτι τέτοιο.

## Κατάλογος Αναφορών

- Prem Anand, T.P., Pandiarajan, R., & Raju, P. (2015). Wireless Power Transmission to UAV using LASER Beaming.  
<[http://www.ripublication.com/ijmer\\_spl/ijmaerv5n1spl\\_25.pdf](http://www.ripublication.com/ijmer_spl/ijmaerv5n1spl_25.pdf)>
- Arjomandi, M., Agostino, S., Mammone, M., Nelson, M., & Zhou, T. (2006). Classification of unmanned aerial vehicles. Report for Mechanical Engineering class, University of Adelaide, Adelaide, Australia.  
<<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/29666442/group9-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1635632375&Signature=fOOC0rxgvrzd4ZYhYa2sRIv-M4-gho4dsaVZbeEA7ADsVJPRvMkP8T7FribQnRbuokitnfB9RZbY8F0llkYLgWlj-7RP-a0ORFRxOUZbPmrw08LlaiaCqEZc7kdAjNiMSEVubonB08BYD1wqMg404OpUBAVKhZ~0xOj1QXAMfBsX86xXJWJvD-xYHYpaRwF036cq4hr~g-7sUbeHa25quSgQHQBpcf1aqgpyAfaXotXamaC5Jr0YpKso85WhG85wPrqNBPXOc4bYO6VVhdFEBtAORuhvG2~jwNaaZkp1ClxIYZAh7ykbRBtMjkLqPm9FDklu6EKv~nJkLGrynuE6Q&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>>
- Bronz, M., Moschetta, J. M., Brisset, P., & Gorraz, M. (2009). Towards a long endurance MAV. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 1(4), 241-254.  
<<https://doi.org/10.1260%2F175682909790291483>>
- Campolo, D., Azhar, M., Lau, G. K., & Sitti, M. (2012). Can DC motors directly drive flapping wings at high frequency and large wing strokes?. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 19(1), 109-120. <DOI: 10.1109/TMECH.2012.2222432>
- Chu, Y., & Meisen, P. (2011). Review and comparison of different solar energy technologies. *Global Energy Network Institute (GENI), San Diego, CA*, 6, 1-56.  
<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.461.1641&rep=rep1&type=pdf>>
- Everaerts, J. (2008). The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(2008), 1187-1192.  
<[https://www.researchgate.net/profile/Jurgen-Everaerts/publication/228640891\\_The\\_use\\_of\\_unmanned\\_aerial\\_vehicles\\_UAVs\\_for\\_remote\\_sensing\\_and\\_mapping/links/0a85e531d97f8c7115000000/The-use-of-unmanned-aerial-vehicles-UAVs-for-remote-sensing-and-mapping.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Jurgen-Everaerts/publication/228640891_The_use_of_unmanned_aerial_vehicles_UAVs_for_remote_sensing_and_mapping/links/0a85e531d97f8c7115000000/The-use-of-unmanned-aerial-vehicles-UAVs-for-remote-sensing-and-mapping.pdf)>
- Fenelon, M. A., & Furukawa, T. (2010). Design of an active flapping wing mechanism and a micro aerial vehicle using a rotary actuator. *Mechanism and Machine Theory*, 45(2), 137-146. <<https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2009.01.007>>
- Windte, J., Radespiel, R., Scholz, U., & Eisfeld, B. (2004). RANS simulation of the transitional flow around airfoils at low Reynolds Numbers for steady and unsteady onset conditions. *Technical Univ Braunschweig (Germany) Inst Of Fluid Mechanics*.  
<<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA442472>>
- Abdelkefi, A., & Ghommam, M. (2013). Piezoelectric energy harvesting from morphing wing motions for micro air vehicles. *Theoretical and Applied Mechanics Letters*, 3(5), 052004. <<https://doi.org/10.1063/2.1305204>>

- Hassanalain, M., & Abdelkefi, A. (2017). Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 99-131. <<https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2017.04.003>>
- Houghton, J., & Hoburg, W. (2008). Fly-by-wire control of a monocopter. Massachusetts Institute of Technology, Project Report. <<https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38728543/hoburgHoughtonFinalReport-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1635675083&Signature=US2pfAhdXZfHELEnqsB4p9ex~zPvhLvKBS~K4g9nB~zPHwlpztzjZp7YluDI9yMaN219HzOe1r7jLPQZjdwMOZE4X4ofIIMVZZMO0VzR22jYlOtyy-2FROJQ36U3eKgV512RA0vbk6D7yfBYWTmSNzkZT7~SZ4yROGeo7CCYiJYeJvswttFhzMdPKHVNNnMrvrW8pHnlKReNebgfvgaP5i6FyWoDpPctv2~Y9rUhVv2zdUkDNx0H9cM4V-0QUHdZaff1tN~4JbkfSLQyI9TGGu0n4wsdNML5bkbyKq0yUXrzpuA~4U7dbYvn4CTF40tWJ4qrirAQUHDhZxTLL7xw5fw &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>>
- Kahn, H., Hsu, V. S., Kahn, J. M., & Pister, K. S. J. (1998). Wireless communications for smart dust. In *Electronics Research Laboratory Technical Memorandum M98/2*. <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.8.2059>>
- Liu, J., Faulkner, G., Choubey, B., Collins, S., & O'Brien, D. C. (2018). An optical transceiver powered by on-chip solar cells for IoT smart dusts with optical wireless communications. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(2), 3248-3256. DOI: 10.1109/JIOT.2018.2881424
- Mir, I., Maqsood, A., & Akhtar, S. (2017). Optimization of dynamic soaring maneuvers for a morphing capable UAV. In *AIAA Information Systems-AIAA Infotech@ Aerospace* (p. 0678). <<https://doi.org/10.2514/6.2017-0678>>
- Petricca, L., Ohlckers, P., & Grinde, C. (2011). Micro-and nano-air vehicles: State of the art. *International journal of aerospace engineering*, 2011. <<https://doi.org/10.1155/2011/214549>>
- Hassanalain, M., Radmanesh, M., & Ziaei-Rad, S. (2012, July). Sending instructions and receiving the data from MAVs using telecommunication networks. In *Proceeding of International Micro Air Vehicle Conference (IMAV2012)*, Braunschweig, Germany (pp. 3-6). [https://www.researchgate.net/profile/Mostafa-Hassanalain/publication/263274853\\_Sending\\_instructions\\_and\\_receiving\\_the\\_data\\_from\\_MAVs\\_using\\_telecommunication\\_networks/links/5f2997e6a6fdcccc43abcbbf/Sending-instructions-and-receiving-the-data-from-MAVs-using-telecommunication-networks.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mostafa-Hassanalain/publication/263274853_Sending_instructions_and_receiving_the_data_from_MAVs_using_telecommunication_networks/links/5f2997e6a6fdcccc43abcbbf/Sending-instructions-and-receiving-the-data-from-MAVs-using-telecommunication-networks.pdf)
- Römer, K. (2004, January). Tracking real-world phenomena with smart dust. In *European Workshop on Wireless Sensor Networks* (pp. 28-43). Springer, Berlin, Heidelberg. <[https://doi.org/10.1007/978-3-540-24606-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-24606-0_3)>
- Salazar-Cruz, S., Kendoul, F., Lozano, R., & Fantoni, I. (2008). Real-time stabilization of a small three-rotor aircraft. *IEEE Transactions on aerospace and electronic systems*, 44(2), 783-794. DOI: 10.1109/TAES.2008.4560220

- Shyy, W., Aono, H., Chimakurthi, S. K., Trizila, P., Kang, C. K., Cesnik, C. E., & Liu, H. (2010). Recent progress in flapping wing aerodynamics and aeroelasticity. *Progress in Aerospace Sciences*, 46(7), 284-327. <<https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2010.01.001>>
- Shyy, W., Lian, Y., Tang, J., Viieru, D., & Liu, H. (2008). Aerodynamics of low Reynolds number flyers. <<https://repository.ust.hk/ir/Record/1783.1-48366>>
- Sun, L., Baek, S., & Pack, D. (2014). Distributed probabilistic search and tracking of agile mobile ground targets using a network of unmanned aerial vehicles. In *Human behavior understanding in networked sensing* (pp. 301-319). Springer, Cham. <[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10807-0\\_14](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-10807-0_14)>
- Warneke, B., Last, M., Liebowitz, B., & Pister, K. S. (2001). Smart dust: Communicating with a cubic-millimeter computer. *Computer*, 34(1), 44-51. DOI: 10.1109/2.895117
- Austin, R. (2011). *Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment* (Vol. 54). John Wiley & Sons. <[https://books.google.gr/books?hl=en&lr=&id=03gdqhU61C0C&oi=fnd&pg=PT14&dq=UAVS+Design,+Development+and+Deployment+&ots=MxoGetpW2E&sig=HlzkpDj-uoj6bxIDgIJGP5KXnds&redir\\_esc=y#v=onepage&q=UAVS%20Design%2C%20Development%20and%20Deployment&f=false](https://books.google.gr/books?hl=en&lr=&id=03gdqhU61C0C&oi=fnd&pg=PT14&dq=UAVS+Design,+Development+and+Deployment+&ots=MxoGetpW2E&sig=HlzkpDj-uoj6bxIDgIJGP5KXnds&redir_esc=y#v=onepage&q=UAVS%20Design%2C%20Development%20and%20Deployment&f=false)>
- Koski, W. R., Allen, T., Ireland, D., Buck, G., Smith, P. R., Macrander, A. M. & McDonald, T. L. (2009). Evaluation of an unmanned airborne system for monitoring marine mammals. *Aquatic Mammals*, 35(3), 347. DOI: 10.1578/AM.35.3.2009.347
- Koh, L. P., & Wich, S. A. (2012). Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical conservation science*, 5(2), 121-132. <<https://doi.org/10.1177%2F194008291200500202>>
- Muchiri, N., & Kimathi, S. (2016, June). A review of applications and potential applications of UAV. In *Proceedings of sustainable research and innovation conference* (pp. 280-283).
- Huang, Y., Thomson, S. J., Hoffmann, W. C., Lan, Y., & Fritz, B. K. (2013). Development and prospect of unmanned aerial vehicle technologies for agricultural production management. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 6(3), 1-10. <<http://www.ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/900>>
- Sullivan, D. G., Fulton, J. P., Shaw, J. N., & Bland, G. (2007). Evaluating the sensitivity of an unmanned thermal infrared aerial system to detect water stress in a cotton canopy. *Transactions of the ASABE*, 50(6), 1963-1969. <<https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=24091>>
- Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote sensing*, 7(4), 4026-4047. <https://doi.org/10.3390/rs70404026>
- Tavana, M., Khalili-Damghani, K., Santos-Arteaga, F. J., & Zandi, M. H. (2017). Drone shipping versus truck delivery in a cross-docking system with multiple fleets and products. *Expert systems with applications*, 72, 93-107. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.12.014>

- Haidari, L. A., Brown, S. T., Ferguson, M., Bancroft, E., Spiker, M., Wilcox, A., ... & Lee, B. Y. (2016). The economic and operational value of using drones to transport vaccines. *Vaccine*, 34(34), 4062-4067. <<https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2016.06.022>>
- Ridden, P. (2017, June 14). Nvidia's autonomous drone keeps on track without GPS. *New Atlas*. Retrieved October 30, 2021, from <<https://newatlas.com/nvidia-camera-based-learning-navigation/50036/>>
- Jones, D. (2005, November). Power line inspection-a UAV concept. In 2005 The IEE Forum on Autonomous Systems (Ref. No. 2005/11271) (pp. 8-pp). IET. DOI: 10.1049/ic:20050472
- Li, Z., Liu, Y., Walker, R., Hayward, R., & Zhang, J. (2010). Towards automatic power line detection for a UAV surveillance system using pulse coupled neural filter and an improved Hough transform. *Machine Vision and Applications*, 21(5), 677-686.<<https://link.springer.com/article/10.1007/s00138-009-0206-y>>
- Gilbert Vice President of Advanced Technology & Systems at AT&T Labs, M. (2017, August 15). Drones & AI: The next phase of automation. *Drones & AI: The Next Phase of Automation*. Retrieved October 30, 2021, from [https://about.att.com/innovationblog/drones\\_automation](https://about.att.com/innovationblog/drones_automation)
- Bupe, P., Haddad, R., & Rios-Gutierrez, F. (2015, April). Relief and emergency communication network based on an autonomous decentralized UAV clustering network. In *SoutheastCon 2015* (pp. 1-8). IEEE. DOI: 10.1109/SECON.2015.7133027
- Zeng, Y., Zhang, R., & Lim, T. J. (2016). Throughput maximization for UAV-enabled mobile relaying systems. *IEEE Transactions on communications*, 64(12), 4983-4996. DOI:10.1109/TCOMM.2016.2611512
- Shakhatreh, H., Sawalmeh, A. H., Al-Fuqaha, A., Dou, Z., Almaita, E., Khalil, I., ... & Guizani, M. (2019). Unmanned aerial vehicles (UAVs): A survey on civil applications and key research challenges. *Ieee Access*, 7, 48572-48634. DOI:10.1109/ACCESS.2019.2909530
- Thomas, A. S., & Kopczak, L. R. (2005). From logistics to supply chain management: the path forward in the humanitarian sector. *Fritz Institute*, 15(1), 1-15.
- Van Wassenhove, L. N. (2006). Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear. *Journal of the Operational research Society*, 57(5), 475-489.
- Tomasini, R., Van Wassenhove, L., & Van Wassenhove, L. (2009). *Humanitarian logistics*. Springer.
- Balcik, B., Beamon, B. M., Krejci, C. C., Muramatsu, K. M., & Ramirez, M. (2010). Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. *International Journal of production economics*, 126(1), 22-34.
- Balcik, B., & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of logistics*, 11(2), 101-121.
- Pan American Health Organization. Emergency Preparedness, Disaster Relief Coordination Program, World Health Organization. Division of Emergency, & Humanitarian Action.

- (2001). Humanitarian supply management and logistics in the health sector. Pan American Health Org.
- Kovács, G., & Spens, K. M. (2007). Humanitarian logistics in disaster relief operations. *International journal of physical distribution & logistics management*.
- Kovács, G., & Spens, K. (2009). Identifying challenges in humanitarian logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Akkihah, A. R. (2006). Inventory pre-positioning for humanitarian operations (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Russell, T. E. (2005). The humanitarian relief supply chain: analysis of the 2004 South East Asia earthquake and tsunami (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Wilson, J. P. (2009). Policy actions of Texas gulf coast cities to mitigate hurricane damage: Perspectives of city officials.
- Nikbakhsh, E., & Farahani, R. Z. (2011). Humanitarian logistics planning in disaster relief operations. *Logistics operations and management: Concepts and models*, 291.
- Hassanalian, M., & Abdelkefi, A. (2017). Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 99-131.
- Pandey, S. K., Zaveri, M. A., Choksi, M., & Kumar, J. S. (2018). UAV-based Localization for Layered Framework of the Internet of Things. *Procedia computer science*, 143, 728-735.
- Rodríguez, A., Negro, J. J., Mulero, M., Rodríguez, C., Hernández-Pliego, J., & Bustamante, J. (2012). The eye in the sky: combined use of unmanned aerial systems and GPS data loggers for ecological research and conservation of small birds.
- Ashish, M., Muraleedharan, A., Shruthi, C. M., Bhavani, R. R., & Akshay, N. (2020). Autonomous Payload Delivery using Hybrid VTOL UAVs for Community Emergency Response. In *2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)* (pp. 1-6). IEEE.
- Ki-Moon, B. (2016). Agenda for Humanity: Annex to the Report of the Secretary-General for the World Humanitarian Summit. A/70/709) United Nations.
- Soesilo, D., Meier, P., Lessard-Fontaine, A., Du Plessis, J., Stuhlberger, C., & Fabbroni, V. (2016). Drones in Humanitarian Action: A guide to the use of airborne systems in humanitarian crises. FSD Report, 1-60.
- Gregorich, A. (2013, October 22). Drones for social good. The Sentinel Project. Retrieved December 3, 2021, from <https://thesentinelproject.org/2013/10/22/drones-for-social-good/>
- Sniderman, A. S., Hanis, M. (2012, January 30). Drones for human rights. *The New York Times*. Retrieved December 5, 2021, from

[https://www.nytimes.com/2012/01/31/opinion/drones-for-human-rights.html?\\_r=1&](https://www.nytimes.com/2012/01/31/opinion/drones-for-human-rights.html?_r=1&)

- Wikimedia Foundation. (2021, December 27). Aerovironment Switchblade. Wikipedia. Retrieved December 3, 2021, from [https://en.wikipedia.org/wiki/AeroVironment\\_Switchblade](https://en.wikipedia.org/wiki/AeroVironment_Switchblade)
- Gilman, D. (2014). Unmanned aerial vehicles in humanitarian response. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs.
- Sandvik, K. B., & Lohne, K. (2014). The rise of the humanitarian drone: giving content to an emerging concept. *Millennium*, 43(1), 145-164.
- Murphy, R. R. (2014). *Disaster robotics*. MIT press.
- Meier, P., & Soesilo, D. (2014). Testing the Utility of Mapping Drones for Early Recovery in the Philippines. *Drones in Humanitarian Action*. Retrieved 2022, from <https://zoinet.org/wp-content/uploads/2018/01/5Case-Study-Philippine.14april2016.pdf>
- Tatham, P. H., & Pettit, S. J. (2010). Transforming humanitarian logistics: the journey to supply network management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Giugni, P. (2017, February 27). What you need to know about humanitarian airdrops. INTERCROSS. Retrieved December 1, 2021, from <https://intercrossblog.icrc.org/blog/what-you-need-to-know-about-humanitarian-airdrops>
- Wikimedia Foundation. (2021, December 15). Kaman K-Max. Wikipedia. Retrieved November 1, 2021, from [https://en.wikipedia.org/wiki/Kaman\\_K-MAX](https://en.wikipedia.org/wiki/Kaman_K-MAX)
- Guilford, G. (2013a, September 3). China could become the first country to legalize parcel delivery by drone. *Quartz*. Retrieved November 1, 2021, from <https://qz.com/120654/china-could-become-the-first-country-to-legalize-parcel-delivery-by-drone/>
- Guilford, G. (2013b). Australia and China are way ahead of Amazon in the Commercial Drone Race. *Quartz*. Retrieved February 1, 2022, from <https://qz.com/152788/australia-and-china-are-way-ahead-of-amazon-in-the-commercial-drone-race/>
- Wirtz, A., Kron, W., Löw, P., & Steuer, M. (2014). The need for data: natural disasters and the challenges of database management. *Natural Hazards*, 70(1), 135-157.
- Erdelj, M., Król, M., & Natalizio, E. (2017a). Wireless sensor networks and multi-UAV systems for natural disaster management. *Computer Networks*, 124, 72-86.
- Erdelj, M., Natalizio, E., Chowdhury, K. R., & Akyildiz, I. F. (2017b). Help from the sky: Leveraging UAVs for disaster management. *IEEE Pervasive Computing*, 16(1), 24-32.



- Ashish, M., Muraleedharan, A., Shruthi, C. M., Bhavani, R. R., & Akshay, N. (2020, July). Autonomous Payload Delivery using Hybrid VTOL UAVs for Community Emergency Response. In 2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT) (pp. 1-6). IEEE.
- Ackerman, E., & Strickland, E. (2018). Medical delivery drones take flight in east africa. *IEEE Spectrum*, 55(1), 34-35.
- Doherty, P., & Rudol, P. (2007, December). A UAV search and rescue scenario with human body detection and geolocalization. In *Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence* (pp. 1-13). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Morse, B. S., Engh, C. H., & Goodrich, M. A. (2010, March). UAV video coverage quality maps and prioritized indexing for wilderness search and rescue. In 2010 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI) (pp. 227-234). IEEE.
- Yeong, S. P., King, L. M., & Dol, S. S. (2015). A review on marine search and rescue operations using unmanned aerial vehicles. *International Journal of Marine and Environmental Sciences*, 9(2), 396-399.
- Moormann, D. (2015). DHL parcelcopter research flight campaign 2014 for emergency delivery of medication. In *Proceedings of the ICAO RPAS Symposium*.
- Warwick, G. (2014). Google details project wing: Unmanned package-delivery r&d. *Aviation Week & Space Technology*, 3.
- Saeed, A. S., Younes, A. B., Cai, C., & Cai, G. (2018). A survey of hybrid unmanned aerial vehicles. *Progress in Aerospace Sciences*, 98, 91-105.
- Hochstenbach, M., Notteboom, C., Theys, B., & De Schutter, J. (2015). Design and control of an unmanned aerial vehicle for autonomous parcel delivery with transition from vertical take-off to forward flight—vertikal, a quadcopter tailsitter. *International Journal of Micro Air Vehicles*, 7(4), 395-405.
- Hassanalian, M., & Abdelkefi, A. (2017). Conceptual design and analysis of separation flight for an unmaned air vehicle to five micro air vehicles. In *55th AIAA Aerospace Sciences Meeting* (p. 0240).
- Sambolek, S., & Ivasic-Kos, M. (2021). Automatic person detection in search and rescue operations using deep CNN detectors. *IEEE Access*, 9, 37905-37922.
- Van Tilburg, C. (2017). First report of using portable unmanned aircraft systems (drones) for search and rescue. *Wilderness & environmental medicine*, 28(2), 116-118.
- McRae, J. N., Gay, C. J., Nielsen, B. M., & Hunt, A. P. (2019). Using an unmanned aircraft system (drone) to conduct a complex high altitude search and rescue operation: a case study. *Wilderness & environmental medicine*, 30(3), 287-290.
- Al-Kaff, A., Gómez-Silva, M. J., Moreno, F. M., De La Escalera, A., & Armingol, J. M. (2019). An appearance-based tracking algorithm for aerial search and rescue purposes. *Sensors*, 19(3), 652.

- Al-Naji, A., Perera, A. G., Mohammed, S. L., & Chahl, J. (2019). Life signs detector using a drone in disaster zones. *Remote Sensing*, 11(20), 2441.
- Lygouras, E., Santavas, N., Taitzoglou, A., Tarchanidis, K., Mitropoulos, A., & Gasteratos, A. (2019). Unsupervised human detection with an embedded vision system on a fully autonomous UAV for search and rescue operations. *Sensors*, 19(16), 3542.
- Meshcheryakov, R. V., Trefilov, P. M., Chekhov, A. V., Diane, S. A. K., Rusakov, K. D., Lesiv, E. A., ... & Goncharova, E. (2019). An application of swarm of quadcopters for searching operations. *IFAC-PapersOnLine*, 52(25), 14-18.
- Alotaibi, E. T., Alqefari, S. S., & Koubaa, A. (2019). Lsar: Multi-uav collaboration for search and rescue missions. *IEEE Access*, 7, 55817-55832.
- Yamazaki, Y., Premachandra, C., & Perea, C. J. (2020). Audio-processing-based human detection at disaster sites with unmanned aerial vehicle. *IEEE Access*, 8, 101398-101405.
- Sun, J., Li, B., Jiang, Y., & Wen, C. Y. (2016). A camera-based target detection and positioning UAV system for search and rescue (SAR) purposes. *Sensors*, 16(11), 1778.
- Karaca, Y., Cicek, M., Tatli, O., Sahin, A., Pasli, S., Beser, M. F., & Turedi, S. (2018). The potential use of unmanned aircraft systems (drones) in mountain search and rescue operations. *The American journal of emergency medicine*, 36(4), 583-588.
- Seckel, S., & Greguska, E. (2022, January 18). Saving disaster victims with drones and data. *ASU News*. Retrieved February 1, 2022, from <https://news.asu.edu/20220118-creativity-saving-disaster-victims-drones-and-data>
- Kucharczyk, M., & Hugenholtz, C. H. (2021). Remote sensing of natural hazard-related disasters with small drones: Global trends, biases, and research opportunities. *Remote Sensing of Environment*, 264, 112577.
- Voigt, S., Giulio-Tonolo, F., Lyons, J., Kučera, J., Jones, B., Schneiderhan, T., ... & Guha-Sapir, D. (2016). Global trends in satellite-based emergency mapping. *Science*, 353(6296), 247-252.
- Savkin, A. V., & Huang, H. (2020). Navigation of a network of aerial drones for monitoring a frontier of a moving environmental disaster area. *IEEE Systems Journal*, 14(4), 4746-4749.
- Yang, J., Qian, J., & Gao, H. (2021, July). Forest Wildfire Monitoring and Communication UAV System Based on Particle Swarm Optimization. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1982, No. 1, p. 012068). IOP Publishing.
- Bai, Y., & Wang, B. (2020). Link Between Climate Anomaly and Australia Bushfires in 2019-2020. *China emergency rescue*, 2, 23-27.

- Laskey, K. B. (2013). Crowdsourced decision support for emergency responders. GEORGE MASON UNIV FAIRFAX VA CENTER FOR EXCELLENCE IN COMMAND CONTROL COMMUNICATIONS COMPUTERS-INTELLIGENCE.
- Abu-Elkheir, M., Hassanein, H. S., & Oteafy, S. M. (2016, September). Enhancing emergency response systems through leveraging crowdsensing and heterogeneous data. In 2016 international wireless communications and mobile computing conference (IWCMC) (pp. 188-193). IEEE.
- Rashid, M. T., Zhang, D. Y., & Wang, D. (2020, July). Socialdrone: An integrated social media and drone sensing system for reliable disaster response. In IEEE INFOCOM 2020-IEEE Conference on Computer Communications (pp. 218-227). IEEE.
- Kotsiantis, S. B., Zaharakis, I., & Pintelas, P. (2007). Supervised machine learning: A review of classification techniques. *Emerging artificial intelligence applications in computer engineering*, 160(1), 3-24.
- Moeyersons, J., Maenhaut, P. J., Turck, F. D., & Volckaert, B. (2018, November). Aiding first incident responders using a decision support system based on live drone feeds. In *International Symposium on Knowledge and Systems Sciences* (pp. 87-100). Springer, Singapore.
- Cumbane, S. P., & Gidófalvi, G. (2019). Review of big data and processing frameworks for disaster response applications. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(9), 387.
- Arslan, M., Roxin, A. M., Cruz, C., & Ginjac, D. (2017, December). A review on applications of big data for disaster management. In *2017 13th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)* (pp. 370-375). IEEE.
- Yu, M., Yang, C., & Li, Y. (2018). Big data in natural disaster management: a review. *Geosciences*, 8(5), 165.
- Loon. X, the moonshot factory. (2021). Retrieved February 10, 2022, from <https://x.company/projects/loon/>
- Bhatt, K., Pourmand, A., & Sikka, N. (2018). Targeted applications of unmanned aerial vehicles (drones) in telemedicine. *Telemedicine and e-Health*, 24(11), 833-838.
- Nimilan, V., Manohar, G., Sudha, R., & Pearley, S. (2019). Drone-aid: An aerial medical assistance. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(11), 1288-1292.
- Pulsiri, N., & Vatananan-Thesenvitz, R. (2021). Drones in emergency medical services: A systematic literature review with bibliometric analysis. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 18(04), 2097001.
- Schooley, B., & Horan, T. A. (2017). Emerging digital technologies in Emergency Medical Services: considerations and strategies to strengthen the continuum of care. DOT HS 811 999c.

- Rosser Jr, J. C., Vignesh, V., Terwilliger, B. A., & Parker, B. C. (2018). Surgical and medical applications of drones: A comprehensive review. *JSL: Journal of the Society of Laparoendoscopic Surgeons*, 22(3).
- Breen, G. M., & Matusitz, J. (2010). An evolutionary examination of telemedicine: a health and computer-mediated communication perspective. *Social work in public health*, 25(1), 59-71.
- Harnett, B. M., Doarn, C. R., Rosen, J., Hannaford, B., & Broderick, T. J. (2008). Evaluation of unmanned airborne vehicles and mobile robotic telesurgery in an extreme environment. *Telemedicine and e-Health*, 14(6), 539-544.
- Balasingam, M. (2017). Drones in medicine—the rise of the machines. *International journal of clinical practice*, 71(9), e12989.
- Yakushiji, K., Fujita, H., Murata, M., Hiroi, N., Hamabe, Y., & Yakushiji, F. (2020). Short-range transportation using unmanned aerial vehicles (uavs) during disasters in japan. *Drones*, 4(4), 68.
- Reuters (Ed.). (2016, April 20). Drones could speed up HIV tests in remote areas. Reuters. Retrieved June 10, 2022, from <https://www.reuters.com/article/us-malawi-hiv-drones-idUSKCN0XH1ZN>
- Ochieng, W. O., Ye, T., Scheel, C., Lor, A., Saindon, J., Yee, S. L., ... & Karem, K. (2020). Uncrewed aircraft systems versus motorcycles to deliver laboratory samples in West Africa: a comparative economic study. *The Lancet Global Health*, 8(1), e143-e151.
- Amukele, T. (2020). The economics of medical drones. *The Lancet Global Health*, 8(1), e22.
- Amukele, T. (2019). Current state of drones in healthcare: challenges and opportunities. *Journal of Applied Laboratory Medicine*, 4(2), 296-298.
- Wulfovich, S., Rivas, H., & Matabuena, P. (2018). Drones in healthcare. In *Digital Health* (pp.159-168). Springer, Cham.
- Scott, J. E., & Scott, C. H. (2019). Models for drone delivery of medications and other healthcare items. *Unmanned aerial vehicles: Breakthroughs in research and practice*, 376-392.
- Hii, M. S. Y., Courtney, P., & Royall, P. G. (2019). An evaluation of the delivery of medicines using drones. *Drones*, 3(3), 52.
- Löf, S., Sandström, A., & Engström, Å. (2010). Patients treated with therapeutic hypothermia after cardiac arrest: Relatives' experiences. *Journal of Advanced Nursing*, 66(8), 1760-1768.
- Caffrey, S. L., Willoughby, P. J., Pepe, P. E., & Becker, L. B. (2002). Public use of automated external defibrillators. *New England journal of medicine*, 347(16), 1242-1247.
- Sanfridsson, J., Sparrevik, J., Hollenberg, J., Nordberg, P., Djärv, T., Ringh, M. & Claesson, A. (2019). Drone delivery of an automated external defibrillator—a mixed method

simulation study of bystander experience. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*, 27(1), 1-9.

Claesson, A., Fredman, D., Svensson, L., Ringh, M., Hollenberg, J., Nordberg, P., ... & Ban, Y. (2016). Unmanned aerial vehicles (drones) in out-of-hospital-cardiac-arrest. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*, 24(1), 1-9.

Boutillier, J. J., Brooks, S. C., Janmohamed, A., Byers, A., Buick, J. E., Zhan, C., ... & Chan, T. C. (2017). Optimizing a drone network to deliver automated external defibrillators. *Circulation*, 135(25), 2454-2465.

Pulver, A., Wei, R., & Mann, C. (2016). Locating AED enabled medical drones to enhance cardiac arrest response times. *Prehospital Emergency Care*, 20(3), 378-389.

Alemu, S., Dessie, A., Seid, E., Bard, E., Lee, P. T., Trimble, E. R., & Parry, E. H. O. (2009). Insulin-requiring diabetes in rural Ethiopia: should we reopen the case for malnutrition-related diabetes?. *Diabetologia*, 52(9), 1842-1845.

Akbarian, M., Ghasemi, Y., Uversky, V. N., & Yousefi, R. (2018). Chemical modifications of insulin: Finding a compromise between stability and pharmaceutical performance. *International journal of pharmaceutics*, 547(1-2), 450-468.

Katariya, M., Chung, D. C. K., Minife, T., Gupta, H., Zahidi, A. A. A., Liew, O. W., & Ng, T. W. (2018). Drone inflight mixing of biochemical samples. *Analytical biochemistry*, 545, 1-3.

Dhivya, A. J. A., & Premkumar, J. (2017, March). Quadcopter based technology for an emergency healthcare. In 2017 Third International Conference on Biosignals, Images and Instrumentation (ICBSII) (pp. 1-3). IEEE.

Reese, M. R. (2021, December 19). The steam-powered pigeon of Archytas – The Flying Machine of Antiquity. *Ancient Origins*. Retrieved May 22, 2022, from <https://www.ancient-origins.net/history-famous-people/steam-powered-pigeon-002179>

Pierce, D. (2013, December 2). Delivery drones are coming: Jeff Bezos promises half-hour shipping with Amazon prime&nbsp;air. *The Verge*. Retrieved May 22, 2022, from <https://www.theverge.com/2013/12/1/5164340/delivery-drones-are-coming-jeff-bezos-previews-half-hour-shipping>

Electronic Products. (2013, December 11). Unmanned Aerial Vehicles Block diagram. *Electronic Products*. Retrieved May 22, 2022, from <https://www.electronicproducts.com/unmanned-aerial-vehicles-block-diagram/>

Cuadra , A., & Whitlock, C. (2014). How drones are controlled. *The Washington Post*. Retrieved May 22, 2022, from <https://www.washingtonpost.com/wp-srv/special/national/drone-crashes/how-drones-work/>

Iturri, A. (2017, March 15). What is a Ground Station and basics of a Data Link. What is a ground station and basics of a data link. Retrieved May 22, 2022, from <http://mobnet-h2020.eu/index.php/news/item/what-is-a-ground-station-and-basics-of-a-data-link>

- Prakosa, J. A., Samokhvalov, D. V., Ponce, G. R., & Al-Mahturi, F. S. (2019, January). Speed control of brushless DC motor for quad copter drone ground test. In 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus) (pp. 644-648). IEEE.
- Salamí, E., Barrado, C., & Pastor, E. (2014). UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. *Remote Sensing*, 6(11), 11051-11081.
- Muller, R. A. (2010). *Physics and technology for future presidents: an introduction to the essential physics every world leader needs to know*. Princeton University Press.
- Nicholas, J., & Colella, S. (1994). Pathfinder and the development of solar rechargeable aircraft [R]. *Energy & Technology Review*, 1-9.
- Noll, T. E., Brown, J. M., Perez-Davis, M. E., Ishmael, S. D., Tiffany, G. C., & Gaier, M. (2004). Investigation of the Helios prototype aircraft mishap volume I mishap report. Downloaded on, 9, 2004.
- Hassanalian, M., Radmanesh, M., & Ziaei-Rad, S. (2012, July). Sending instructions and receiving the data from MAVs using telecommunication networks. In *Proceeding of International Micro Air Vehicle Conference (IMAV2012)*, Braunschweig, Germany (pp. 3-6).
- Research and Markets (Ed.). (2021, April 6). Worldwide drone delivery industry to 2030 - increasing need for contactless deliveries for safety purposes is driving growth. *GlobeNewswire News Room*. Retrieved May 23, 2022, from <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/04/06/2204790/28124/en/Worldwide-Drone-Delivery-Industry-to-2030-Increasing-Need-for-Contactless-Deliveries-for-Safety-Purposes-is-Driving-Growth.html>
- Woollaston, V. (2013, August 23). Hacker pilots a drone with Google Glass using just his head movements. *Daily Mail Online*. Retrieved May 23, 2022, from <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2400958/Hacker-pilots-drone-Google-Glass-using-just-head-movements.html>
- Szondy, D. (2015, May 2). Mind-controlled quadcopter flies using imaginary fists. *New Atlas*. Retrieved May 23, 2022, from <https://newatlas.com/university-minnesota-mind-control-uav/27798/>
- Gharibi, M., Boutaba, R., & Waslander, S. L. (2016). Internet of drones. *IEEE Access*, 4, 1148-1162.
- Wang, J., Garratt, M., Lambert, A., Wang, J. J., Han, S., & Sinclair, D. (2008). Integration of GPS/INS/vision sensors to navigate unmanned aerial vehicles. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(part B1), 963-969.
- Bekhti, M. (2018). *Sensors networks: Application to the tracking of moving targets* (Doctoral dissertation, Université Sorbonne Paris Cité).

- Brooke-Holland, L. (2012). Unmanned aerial vehicles (drones): An introduction. House of Commons Library. Science-Direct. UK.
- Jager, W. de. (2021, April 29). Wingcopter announces world's first triple-drop delivery drone. Dronewatch Europe. Retrieved May 23, 2022, from <https://www.dronewatch.eu/wingcopter-announces-worlds-first-triple-drop-delivery-drone/>
- Schmittle, H. (2016). Tilting the Body to Vector Thrust. Freewing Technology. Retrieved May 23, 2022, from <https://freewing.com/TiltingBody/>
- Petrosyan, E. (2013). AERODYNAMIC FEATURES OF COAXIAL CONFIGURATION HELICOPTER. Wayback Machine. Retrieved May 23, 2022, from <https://web.archive.org/web/20071220021153/http://www.kamov.ru/market/news/petr11.htm>
- Hull, D. G. (2007). Fundamentals of airplane flight mechanics (Vol. 19). Berlin: Springer.
- Shyy, W., Lian, Y., Tang, J., Liu, H., Trizila, P., Stanford, B., ... & Ifju, P. (2008). Computational aerodynamics of low Reynolds number plunging, pitching and flexible wings for MAV applications. *Acta Mechanica Sinica*, 24(4), 351-373.
- Rennie, J. (2016). Drone types: Multi-rotor, fixed-wing, single rotor, hybrid vtol. AUAV. Retrieved May 26, 2022, from <https://www.auav.com.au/articles/drone-types/>
- Bakula, M., Hockley, C., Khatri, R., Kirby, C., Sammet, C., & Reinholtz, C. (2009, July). A natural evolution in flight: The design and development of the SamarEye system, A method for searching closed Quarter Environments. In *First Symp. on Indoor Flight Issues* (pp. 1-12).
- Jager, W. de. (2021, November 19). Foldable single actuator monocopter folds up and flies like a maple seed. DroneXL.co. Retrieved May 27, 2022, from <https://dronexl.co/2021/11/19/foldable-single-actuator-monocopter/>
- Robotics, Z. zero. (2019). V-copttr Falcon. Zero Zero Robotics. Retrieved May 27, 2022, from <https://zerozero.tech/>
- Kuswadi, S., Tamara, M. N., Brahmantio, B. T., Sugiharto, D., & Nuh, M. (2020, October). Disaster Robot Navigation using Behavior-based Systems. In *2020 International Conference on Applied Science and Technology (iCAST)* (pp. 196-202). IEEE.
- Qin, Y., Xu, W., Lee, A., & Zhang, F. (2020). Gemini: A compact yet efficient bi-copter uav for indoor applications. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 5(2), 3213-3220.
- Agarwal, S., Mohan, A., & Kumar, K. (2014). Design, construction and structure analysis of Twinrotor UAV. *International Journal of Instrumentation and Control Systems (IJICS)*, 4(1).
- Oluwasegun, S. A. (2015). Simulation and development of a tricopter for parcel delivery. ResearchGate. Retrieved May 27, 2022, from

[https://www.researchgate.net/publication/303549068\\_Simulation\\_and\\_Development\\_of\\_a\\_Tricopter\\_for\\_Parcel\\_Delivery](https://www.researchgate.net/publication/303549068_Simulation_and_Development_of_a_Tricopter_for_Parcel_Delivery)

- Thu, K. M., & Gavrilov, A. I. (2017). Designing and modeling of quadcopter control system using L1 adaptive control. *Procedia Computer Science*, 103, 528-535.
- Zaheer, Z., Usmani, A., Khan, E., & Qadeer, M. A. (2016, July). Aerial surveillance system using UAV. In 2016 thirteenth international conference on wireless and optical communications networks (WOCN) (pp. 1-7). IEEE.
- Saha, A. K., Saha, J., Ray, R., Sircar, S., Dutta, S., Chattopadhyay, S. P., & Saha, H. N. (2018, January). IOT-based drone for improvement of crop quality in agricultural field. In 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC) (pp. 612-615). IEEE.
- Srivastava, K., Pandey, P. C., & Sharma, J. K. (2020). An approach for route optimization in applications of precision agriculture using UAVs. *Drones*, 4(3), 58.
- Talaviya, T., Shah, D., Patel, N., Yagnik, H., & Shah, M. (2020). Implementation of artificial intelligence in agriculture for optimisation of irrigation and application of pesticides and herbicides. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 58-73.
- Urquhart, D. (2017, April 15). Swiss post, Matternet Partner in hospital drone trial. *AsiaCargoBuzz.com*. Retrieved May 27, 2022, from <https://asiacargobuzz.com/2017/03/31/swiss-post-matternet-partner-hospital-drone-trial/>
- Townsend, A., Jiya, I. N., Martinson, C., Bessarabov, D., & Gouws, R. (2020). A comprehensive review of energy sources for unmanned aerial vehicles, their shortfalls and opportunities for improvements. *Heliyon*, 6(11), e05285.
- Bitar, A., Jamal, A., Sultan, H., Alkandari, N., & El-Abd, M. (2017, October). Medical drones system for amusement parks. In 2017 IEEE/ACS 14th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA) (pp. 19-20). IEEE.
- Abarca, M., Saito, C., Angulo, A., Paredes, J. A., & Cuellar, F. (2017, August). Design and development of an hexacopter for air quality monitoring at high altitudes. In 2017 13th IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE) (pp. 1457-1462). IEEE.
- Ackerman, E. (2016, September 9). Festo's Fantastical Flying Robots. *IEEE Spectrum*. Retrieved May 27, 2022, from <https://spectrum.ieee.org/festos-fantastical-flying-robots>
- Barnes, J. (2018). Drones vs satellites: Competitive or complementary? *Commercial UAV News*. Retrieved May 27, 2022, from <https://www.commercialuavnews.com/infrastructure/drones-vs-satellites-competitive-complimentary>
- Martins, B. O., Lavallée, C., & Silkoset, A. (2021). Drone Use for COVID-19 Related Problems: Techno-solutionism and its Societal Implications. *Global Policy*, 12(5), 603-612.



- Wadhvani, P., & Loomba, S. (2021, July). Commercial drone market size worth over \$55 bn by 2027. Global Market Insights Inc. Retrieved May 27, 2022, from <https://www.gminsights.com/pressrelease/unmanned-aerial-vehicles-UAV-commercial-drone-market>
- Mohan, M., Richardson, G., Gopan, G., Aghai, M. M., Bajaj, S., Galgamuwa, G. A., ... & Cardil, A. (2021). UAV-supported forest regeneration: Current trends, challenges and implications. *Remote Sensing*, 13(13), 2596.
- Xuefeng, Z. (2015, May 29). China uses drones to monitor pollution problem from above. *China Dialogue*. Retrieved May 27, 2022, from <https://chinadialogue.net/en/cities/7939-china-uses-drones-to-monitor-pollution-problem-from-above/>
- Frankowski, J. (2020). Attention: Smog alert! Citizen engagement for clean air and its consequences for fuel poverty in Poland. *Energy and Buildings*, 207, 109525.
- Dunbabin, M., & Marques, L. (2012). Robots for environmental monitoring: Significant advancements and applications. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 19(1), 24-39.
- Schwarzbach, M., Laiacker, M., Mulero-Pázmány, M., & Kondak, K. (2014, May). Remote water sampling using flying robots. In 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) (pp. 72-76). IEEE.
- Lin, J., Tao, H., Wang, Y., & Huang, Z. (2010, June). Practical application of unmanned aerial vehicles for mountain hazards survey. In 2010 18th International Conference on Geoinformatics (pp. 1-5). IEEE.
- Rosenblum, A. (2015, January 20). Drones that can suck up water hunt oil leaks, invasive species. *MIT Technology Review*. Retrieved May 27, 2022, from <https://www.technologyreview.com/2015/01/20/169589/drones-that-can-suck-up-water-hunt-oil-leaks-invasive-species/>
- Bollas, N., Kokinou, E., & Polychronos, V. (2021). Comparison of Sentinel-2 and UAV Multispectral Data for Use in Precision Agriculture: An Application from Northern Greece. *Drones*, 5(2), 35.
- Thompson, F. (2019, July). Next generation farming: How drones are changing the face of British agriculture. *DW.COM*. Retrieved May 28, 2022, from <https://www.dw.com/en/next-generation-farming-how-drones-are-changing-the-face-of-british-agriculture/a-49243454>
- Wood, L. (2021, May 17). Global drone doorstep deliveries market report 2021: Technology is not living up to the hype - researchandmarkets.com. *Business Wire*. Retrieved May 28, 2022, from <https://www.businesswire.com/news/home/20210517005609/en/Global-Drone-Doorstep-Deliveries-Market-Report-2021-Technology-is-NOT-Living-up-to-the-Hype---ResearchAndMarkets.com>

- Aitken, R. (2016, October 25). Drones used to deliver packages - a database of Drone Delivery Systems. UnmannedCargo.org. Retrieved May 28, 2022, from <http://unmannedcargo.org/drone-delivery-system-drones-delivering-packages/>
- Audi Logistics. (2016). Logistics. Audi MediaCenter. Retrieved May 28, 2022, from <https://www.audi-mediacycenter.com/en/audi-techday-smart-factory-7076/logistics-7082>
- Etherington, D. (2019, July 26). UPS forms a new subsidiary for drone delivery and seeks FAA approval to fly. TechCrunch. Retrieved May 28, 2022, from [https://techcrunch.com/2019/07/23/ups-forms-a-new-subsiary-for-drone-delivery-and-seeks-faa-approval-to-fly/?guccounter=1&guce\\_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLnNvbS8&guce\\_referrer\\_sig=AQAAANZuQCa6pYXANmBojZ14IJBHcSP-Re\\_DIYa7JtisI16-gzExcuKwhGczal1nRzBJnGu57WzaK6YZyLLYfVvk7VohOuyXXMIJxnXicnxZNj1WxH-Nuz9XyjpALUJM3Sq235x8OqmYGA7BloEP-PsjG2MSnRQzJBV-dvo96E-IGD90u](https://techcrunch.com/2019/07/23/ups-forms-a-new-subsiary-for-drone-delivery-and-seeks-faa-approval-to-fly/?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLnNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAANZuQCa6pYXANmBojZ14IJBHcSP-Re_DIYa7JtisI16-gzExcuKwhGczal1nRzBJnGu57WzaK6YZyLLYfVvk7VohOuyXXMIJxnXicnxZNj1WxH-Nuz9XyjpALUJM3Sq235x8OqmYGA7BloEP-PsjG2MSnRQzJBV-dvo96E-IGD90u)
- Baker, A. (2017). Zipline's drones are delivering blood to hospitals in Rwanda. Time. Retrieved May 28, 2022, from <https://time.com/rwanda-drones-zipline/>
- Sigler, D. (2018, October 10). DHL Parcelcopter delivers the (medical) goods ' sustainable skies. Sustainable Skies ' Electric Aviation News. Retrieved May 28, 2022, from <https://sustainable skies.org/dhl-parcelcopter-delivers-medical-goods/>
- Skyline Drones. (2021, February 23). Drone benefits in Photovoltaic Solar Farms. Skylinedrones. Retrieved May 28, 2022, from <https://skylinedrones.ro/drone-benefits-in-photovoltaic-solar-farms/>
- Patel, S. (2016, March 3). Global investment in drones and robotics technologies for transmission and distribution is expected to total nearly \$16.2 billion from 2015 to 2024, according to Navigant Research. POWER Magazine. Retrieved May 28, 2022, from <https://www.powermag.com/press-releases/global-investment-in-drones-and-robotics-technologies-for-transmission-and-distribution-is-expected-to-total-nearly-16-2-billion-from-2015-to-2024-according-to-navigant-research/>
- Cohen, M. (2018). How ai could transform industrial inspections . Qii.AI. Retrieved May 28, 2022, from <https://info.qii.ai/blog/how-ai-could-transform-industrial-inspections>
- Antunes, J. (2016). Market update for uavs in process, Power & Utilities: Summer 2016. Commercial UAV News. Retrieved May 28, 2022, from <https://www.commercialuavnews.com/energy/market-update-uavs-power-process-utilities-summer-2016>
- Banić, M., Miltenović, A., Pavlović, M., & Ćirić, I. (2019). Intelligent machine vision based railway infrastructure inspection and monitoring using UAV. Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering, 17(3), 357-364.
- Yuniarti, D. (2018, March). Regulatory challenges of broadband communication services from high altitude platforms (HAPs). In 2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT) (pp. 919-922). IEEE.

- Ritchie, H., & Roser, M. (2014, June 3). Natural disasters. Our World in Data. Retrieved May 28, 2022, from <https://ourworldindata.org/natural-disasters>
- Satish, S. (2021, September 15). Satellite vs drone imagery: Knowing the difference and effectiveness of supervision Earth's... Medium. Retrieved May 28, 2022, from <https://medium.com/supervisionearth/satellite-vs-drone-imagery-knowing-the-difference-and-effectiveness-of-supervision-earths-90e98b78777c>
- Jackson, B. (2021, August 4). Drones for Fire Service: How Does It Work? COPTRZ. Retrieved May 28, 2022, from <https://coptrz.com/drones-for-fire-service-how-does-it-work/>
- Houser, K. (2022, February 24). Huge cargo drones could soon move goods across the Globe. Freethink. Retrieved May 28, 2022, from <https://www.freethink.com/technology/cargo-drones>
- CartOng. (2022). Cartong: Mapping and information management for humanitarians. English. Retrieved May 28, 2022, from <https://cartong.org/>
- Kerby, C. (2016, June 23). Monusco's edge - unmanned aerial systems. MONUSCO. Retrieved May 28, 2022, from <https://monusco.unmissions.org/en/monuscos-edge-unmanned-aerial-systems>
- Grogan, S., Pellerin, R., & Gamache, M. (2018). The use of unmanned aerial vehicles and drones in search and rescue operations—a survey. Proceedings of the PROLOG.
- FEMA. (2017). Urban Search & Rescue. FEMA.gov. Retrieved May 28, 2022, from <https://www.fema.gov/emergency-managers/national-preparedness/frameworks/urban-search-rescue>
- Liu, Z. (2014). Aerial localization of wireless targets: Theory and implementation (Doctoral dissertation, University of Massachusetts Lowell).
- Meier, P. (2015, August 3). Humanitarian UAV missions in Nepal: Early observations (updated). iRevolutions. Retrieved May 29, 2022, from <https://irevolutions.org/2015/05/03/humanitarian-uav-missions-nepal/>
- Meier, P. (2019). Nepal. iRevolutions. Retrieved May 29, 2022, from <https://irevolutions.org/tag/nepal/>
- ideaForge. (2019, July 4). Drones are the perfect eye-in-the-sky for traffic monitoring. ideaForge. Retrieved May 29, 2022, from <https://www.ideaforge.co.in/drone-uses/traffic-monitoring/>
- Lim, T. S., Loh, W. Y., & Shih, Y. S. (2000). A comparison of prediction accuracy, complexity, and training time of thirty-three old and new classification algorithms. Machine learning, 40(3), 203-228.
- Murthy, S. K. (1998). Automatic construction of decision trees from data: A multi-disciplinary survey. Data mining and knowledge discovery, 2(4), 345-389.

- Yıldız, O. T., & Dikmen, O. (2007). Parallel univariate decision trees. *Pattern Recognition Letters*, 28(7), 825-832.
- Cristianini, N., & Shawe-Taylor, J. (2000). *An introduction to support vector machines and other kernel-based learning methods*. Cambridge university press.
- Burges, C. J. (1998). A tutorial on support vector machines for pattern recognition. *Data mining and knowledge discovery*, 2(2), 121-167.
- Fürnkranz, J. (2001, June). Round robin rule learning. In *ICML* (Vol. 1, pp. 146-153).
- Fürnkranz, J. (1999). Separate-and-conquer rule learning. *Artificial Intelligence Review*, 13(1), 3-54.
- Fürnkranz, J. (1997). Pruning algorithms for rule learning. *Machine learning*, 27(2), 139-172.
- Ong, T. (2017, September 20). The first autonomous drone delivery network will fly above Switzerland starting next month. *The Verge*. Retrieved May 29, 2022, from <https://www.theverge.com/2017/9/20/16325084/matternet-autonomous-drone-network-switzerland>
- International Telecommunication Union. (2022). Mobile cellular subscriptions (per 100 people). The World Bank. Retrieved May 29, 2022, from <https://data.worldbank.org/indicator/IT.CEL.SETS.P2?end=2020&start=1960&view=chart>
- Gelhausen, P. (2015, March 30). The case for ducted fan UAV. *RSS*. Retrieved May 29, 2022, from <http://www.avid aerospace.com/blog/2015/3/24/the-case-for-ducted-fan-uavs>
- Nagel, L. (2020, November 16). Types of drones and uavs. *Tyto Robotics*. Retrieved May 29, 2022, from <https://www.tytorobotics.com/blogs/articles/types-of-drones>
- ArduPilot Team. (2021). Choosing a ground station. *Choosing a Ground Station - Plane documentation*. Retrieved June 4, 2022, from <https://ardupilot.org/plane/docs/common-choosing-a-ground-station.html>
- UAV Navigation. (2018). UAV navigation in depth: External datalink selection. *UAV Navigation*. Retrieved June 4, 2022, from <https://www.uavnavigation.com/company/blog/uav-navigation-depth-external-datalink-selection>
- Ξωνίκης, Γ., & Τζιούτζιας, Θ. (2017, January). Μη Επανδρωμένα αεροσκάφη και οι εφαρμογές τους σε remote sensing και logistics. Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη και οι Εφαρμογές τους σε Remote Sensing και Logistics. Retrieved June 4, 2022, from <https://www.semanticscholar.org/paper/%CE%9C%CE%B7-%CE%95%CF%80%CE%B1%CE%BD%CE%B4%CF%81%CF%89%CE%BC%CE%B5%CC%81%CE%BD%CE%B1-%CE%91%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%BA%CE%B1%CC%81%CF%86%CE%B7-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%BF%CE%B9-%CE%95%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CC%81%CF%82-%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%82/826f9c49573f25b9626b8eee72c17d67c23b290e>

- Hexcel. (2020, June 9). Unmanned Aerial Vehicles. Hexcel. Retrieved June 4, 2022, from <https://www.hexcel.com/Resources/UAV>
- Gudde, T. (2020, October 9). Flight Controllers explained for everyone. Fusion Engineering. Retrieved June 4, 2022, from <https://fusion.engineering/flight-controllers-explained-for-everyone/>
- Schwartz, C. E., Bryant, T. G., Cosgrove, J. H., Morse, G. B., & Noonan, J. K. (1990). A radar for unmanned air vehicles. *The Lincoln Laboratory Journal*, 3(1), 119-143.
- Frey, T. (2020, August 11). Drone gimbals explained: How they work. tomstechttime. Retrieved June 4, 2022, from <https://www.tomstechttime.com/post/drone-gimbals-explained-how-they-work>
- Hassanalian, M., Radmanesh, M., & Sedaghat, A. (2014). Increasing flight endurance of MAVs using multiple quantum well solar cells. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, 15(2), 212-217.
- Defence Turkey (Ed.). (2020). BNA tiltrotor UAV is flight ready. BNA Tiltrotor UAV is Flight Ready - Defence Turkey Magazine. Retrieved June 4, 2022, from <https://www.defenceturkey.com/en/content/bna-tiltrotor-uav-is-flight-ready-4146>
- Panigrahi, S., Krishna, Y. S. S., & Thondiyath, A. (2021). Design, Analysis, and Testing of a Hybrid VTOL Tilt-Rotor UAV for Increased Endurance. *Sensors*, 21(18), 5987.
- Hegde, N. T., George, V. I., Nayak, C. G., & Kumar, K. (2019). Design, dynamic modelling and control of tilt-rotor UAVs: a review. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*.
- Hesham. (2008, October 8). Freewing tilt-body concept. Secret Projects Forum. Retrieved June 5, 2022, from <https://www.secretprojects.co.uk/threads/freewing-tilt-body-concept.4607/>
- Ackerman, E. (2018, March 7). Cleo robotics demonstrates uniquely clever ducted fan drone. *IEEE Spectrum*. Retrieved June 4, 2022, from <https://spectrum.ieee.org/cleo-robotics-demonstrates-uniquely-clever-ducted-fan-drone>
- Prodrone. (2017, October 17). Prodrone develops the "Speed Delivery": Prodrone: Revolutionary drones for professionals. PRODRONE. Retrieved June 4, 2022, from <https://www.prodrone.com/release-en/2874/>
- David MacQuarrie is a 35 year+ veteran of the Canadian Broadcasting Corporation. He worked in St. John's, D. (2021, August 10). Tired of quadcopters? can you resist... the cyclocopter? DroneDJ. Retrieved June 4, 2022, from <https://dronedj.com/2021/08/10/the-secret-behind-the-cyclocopter-drone/>
- Russian News Agency. (2020). Russia successfully tests vertical take-off and landing cyclocopter. Tass.com. Retrieved June 4, 2022, from [https://tass.com/defense/1184067?utm\\_source=google.com&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=google.com&utm\\_referrer=google.com](https://tass.com/defense/1184067?utm_source=google.com&utm_medium=organic&utm_campaign=google.com&utm_referrer=google.com)

- Atherton, K. (2019, June 11). This Russian cyclocopter drone design was 110 years in the making. C4ISRNet. Retrieved June 5, 2022, from <https://www.c4isrnet.com/unmanned/2019/06/11/this-russian-cyclocopter-drone-design-was-110-years-in-the-making/>
- Yun, C. Y., Park, I. K., Hwang, I. S., & Kim, S. J. (2005). Thrust control mechanism of VTOL UAV cyclocopter with cycloidal blades system. *Journal of intelligent material systems and structures*, 16(11-12), 937-943.
- Karatzas, A. (2019, December 30). Το V-COPTR Falcon Drone υπόσχεται 50 λεπτά πτήσης. Unboxholics. Retrieved June 5, 2022, from <https://unboxholics.com/news/tech/71047-to-v-coptr-falcon-drone-yposchetai-50-lepta-ptisis>
- Pierce, J. (2016, August 30). Yi technology to debut world's fastest Tri-Copter drone at interdrone 2016. Yi Technology to Debut World's Fastest Tri-Copter Drone at InterDrone 2016 | Business Wire. Retrieved June 5, 2022, from <https://www.businesswire.com/news/home/20160830005497/en/YI-Technology-to-Debut-World%E2%80%99s-Fastest-Tri-Copter-Drone-at-InterDrone-2016>
- Minhaj. (2022, May 7). DJI Mini SE review. Drone news and reviews. Retrieved June 5, 2022, from <https://yourdronereviews.com/dji-mini-se-review>
- Frontier Precision. (2022). IF1200 hexacopter. Frontier Precision. Retrieved June 5, 2022, from <https://frontierprecision.com/product/inspired-flight-if1200-hexacopter/>
- Aswath, M., & Raj, S. J. (2021). Hexacopter design for carrying payload for warehouse applications. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1012, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.
- Quick, D. (2009, May 2). Bionic penguins fly through water ... and Air. *New Atlas*. Retrieved June 5, 2022, from <https://newatlas.com/bionic-penguins-fly-through-water--and-air/11545/>
- Ballve, M. (2014, December 2). Commercial drones: Assessing the potential for a new drone-powered economy. *Business Insider*. Retrieved May 27, 2022, from <https://www.businessinsider.com/the-commercial-drones-market-2014-10>
- Shaw, K. K., & Vimalkumar, R. (2020). Design and development of a drone for spraying pesticides, fertilizers and disinfectants. *Engineering Research & Technology (IJERT)*.
- Thavasi, P. T., & Suriyakala, C. D. (2012). Sensors and Tracking Methods Used in Wireless Sensor Network Based Unmanned Search and Rescue System-A Review. *Procedia engineering*, 38, 1935-1945.
- Sardouk, A., Mansouri, M., Merghem-Boulahia, L., Gaïti, D., & Rahim-Amoud, R. (2010, December). Multi-agent system based wireless sensor network for crisis management. In *2010 IEEE Global Telecommunications Conference GLOBECOM 2010* (pp. 1-6). IEEE.

Acuna, V., Kumbhar, A., Vattapparamban, E., Rajabli, F., & Guvenc, I. (2017, March). Localization of WiFi devices using probe requests captured at unmanned aerial vehicles. In 2017 IEEE wireless communications and networking conference (WCNC) (pp. 1-6). IEEE.

OpenAerialMap. (2022). OpenAerialMap. Retrieved June 5, 2022, from <https://openaerialmap.org/>

Desmon, S. (2016). Drones could be cheaper alternative to delivering vaccines in developing&nbsp;world. Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health. Retrieved June 9, 2022, from <https://publichealth.jhu.edu/2016/drones-could-be-cheaper-alternative-to-delivering-vaccines-in-developing-world>