



**ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

**Σχεδιασμός Συστήματος Έγκαιρης Προειδοποίησης και
Αντιμετώπισης Ακραίων Καιρικών Φαινομένων με Χρήση μη
Επανδρωμένων Αεροσκαφών και Μετεωρολογικού Ραντάρ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Του Φοιτητή ΜΠΟΥΝΑΚΗ ΙΩΑΝΝΗ
με αριθμό μητρώου 90

Επιβλέπων καθηγητής: Δαλιακόπουλος Ιωάννης

Ηράκλειο Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο 2021

Ευχαριστίες

Στην συγκεκριμένη βιβλιογραφική αναζήτηση που πραγματοποιήθηκε για την ολοκλήρωση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής βοήθησε, επιστημονικά αλλά και ηθικά, ένα πλήθος ανθρώπων που θα ήθελα να ευχαριστήσω καθώς χωρίς την βοήθεια και τη στήριξή τους δεν θα είχα καταφέρει να ολοκληρώσω την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα, Επίκουρο Καθηγητή Ιωάννη Δαλιακόπουλο, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου, καθώς ανέλαβα ένα θέμα εργασίας που περιελάμβανε πολλαπλά γνωστικά αντικείμενα, με τις όποιες πιθανές δυσκολίες. Θα ήθελα επίσης να τον ευχαριστήσω για την απρόσκοπτη υποστήριξη και καθοδήγηση που μου παρείχε.

Επιπλέον, ευχαριστώ τον κ Thomas Schreiner του European Severe Storms Laboratory (ESSL), για την αποστολή δεδομένων και πληροφοριών με εξαιρετική λεπτομέρεια ανά καταστροφικό συμβάν από ακραία καιρικά φαινόμενα που έλαβε χώρα σε όλες τις χώρες της Ευρώπης τα τελευταία χρόνια και για την υποστήριξη του.

Τέλος δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τη σύντροφο μου Ελένη, τους γονείς μου Ελένη και Ευάγγελο και τον αδερφό μου Μάριο για την στήριξη και συμπαράσταση τους. Η ανιδιοτελής αγάπη τους, η αμείωτη συμπαράσταση, η ενθάρρυνση, η κατανόηση και η πολύπλευρη στήριξη κατά την διάρκεια των σπουδών μου, μου έδινε δύναμη να συνεχίσω και να προσπαθώ πάντα για το καλύτερο. Δεν μπορώ να ξεχάσω όμως τον Ζαχαρία, που όλες τις φορές που πηγαίναμε για καφέ συζητούσαμε για την εργασία με σκοπό να την βελτιώνουμε σε τεχνικές λεπτομέρειες.

Περίληψη

Τα πλημμυρικά φαινόμενα παρουσιάζονται με μεγαλύτερη συχνότητα αλλά και ένταση στην εποχή μας. Η κλιματική αλλαγή είναι ο παράγοντας εκείνος που προκαλεί την συχνότερη και εντονότερη εμφάνιση των συγκεκριμένων φαινομένων. Οι οικονομικές συνέπειες αλλά και οι απώλειες σε ανθρώπινες ζωές τα τελευταία χρόνια στην Ευρωπαϊκή Ένωση ήταν σημαντικές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το ύψος των συνολικών οικονομικών απωλειών για τα κράτη που απαρτίζουν τον ΕΟΧ-33 που ξεπέρασαν τα 345 δισεκατομμύρια ευρώ και οφείλονταν τόσο σε υδρολογικά όσο και μετεωρολογικά γεγονότα, κατανομημένα ισόποσα. Στην Ελλάδα από το 1980 έως και το 2017 καταγράφηκαν 2.431 θάνατοι από τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Για την μείωση των ακραίων καιρικών φαινομένων και πιο συγκεκριμένα της έντονης βροχόπτωσης που μπορεί να προξενήσει πλημμύρες, μια σύγχρονη μέθοδος είναι η τροποποίηση των μετεωρολογικών συστημάτων που την προκαλούν μέσω της χρήσης Συστημάτων Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) σε συνδυασμό με φορητό ραντάρ. Παρότι από την δεκαετία του 2010 έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί σε πειραματικές εφαρμογές αρκετά ΣμηΕΑ σταθερής πτέρυγας, δεν έχουν αξιοποιηθεί στην ίδια κλίμακα τα ελικοφόρα. Ως εκ τούτου, σκοπός της παρούσας διατριβής είναι ο σχεδιασμός ενός ολοκληρωμένου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης των ακραίων καιρικών φαινομένων με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ελικοφόρων) και κινητού επίγειου μετεωρολογικού ραντάρ.

Στην παρούσα διατριβή γίνεται μιας εκτενής αναφορά σε υφιστάμενες τεχνολογίες τροποποίησης των καιρικών φαινομένων που βρίσκονται είτε σε πειραματικό στάδιο είτε έχουν εφαρμοστεί σε μεγάλη κλίμακα και αναλύονται τόσο οι μέθοδοι όσο και τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά την εφαρμογή στο νέφος της κάθε τεχνολογίας. Η βιβλιογραφική έρευνα έδειξε ότι τα ελικοφόρα ΣμηΕΑ αποτελούν μια ενδιαφέρουσα λύση καθώς παρέχουν την δυνατότητα προσέγγισης του νέφους με ακρίβεια. Επιπροσθέτως, παρέχουν την δυνατότητα της αιώρησης (hovering) η οποία παρέχει βέλτιστα αποτελέσματα κατά την απελευθέρωση του ψεκαστικού διαλύματος στοχευμένα στο σημείο που υπάρχει η μεγαλύτερη συγκέντρωση μέσα στο νέφος. Επιπλέον, ο συνδυασμός του συγκεκριμένου ΣμηΕΑ με το φορητό ραντάρ, παρέχει εξαιρετικά αποτελέσματα τόσο για την έγκαιρη ανίχνευση του νέφους όσο και για την σταθερή παρακολούθησή του. Ως εκ τούτου στην παρούσα διπλωματική διατριβή παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα που έχει ως σκοπό τόσο την πρόβλεψη των ακραίων καιρικών φαινομένων όσο και την μείωση των επιπτώσεών τους μέσω της τροποποίησης των καιρικών φαινομένων.

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν την ανάλυση SWOT για την ανάλυση του εσωτερικού αλλά και εξωτερικού περιβάλλοντος, καθώς επίσης την περίοδο αποπληρωμής (Payback Period - PP), το

λογιστικό ρυθμός απόδοση χρημάτων (Accounting Rate of Return - ARR), την καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value - NPV), τον εσωτερικό ρυθμό απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR), και τον δείκτη κερδοφορίας (Profitability Index - PI) για την οικονομοτεχνική αξιολόγηση του ολοκληρωμένου συστήματος. Επιπροσθέτως, υπολογίστηκαν οι αποσβέσεις παγίων στοιχείων αλλά και το νεκρό σημείο της συγκεκριμένης εφαρμογής ως μέτρο σύγκρισης με τα προαναφερόμενα εργαλεία χρηματοοικονομικής αξιολόγησης. Επιπλέον, γίνεται καθορισμός του βέλτιστου σημείου ανάπτυξης του ραντάρ αλλά και του ΣμηΕΑ με χρήση GIS για την αξιοποίηση στο έπακρο της εμβέλειας τους.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η μελέτη περίπτωσης εφαρμογής του συστήματος στο Ν. Χανίων, καθώς και οικονομικά στοιχεία από τα καταστροφικά φαινόμενα που έπληξαν το νομό τα τελευταία 20 έτη. Ακολουθεί μια εκτενής ανάλυση των επιμέρους τμημάτων που αποτελούν το ολοκληρωμένο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης των ακραίων καιρικών φαινομένων με εκτενή ανάλυση των επιμέρους τμημάτων που αποτελούν το ΣμηΕΑ καθώς και αναλυτική κοστολόγηση τους. Επιπλέον, παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής, όπου αποτυπώνονται οι ενέργειες με την σειρά που λαμβάνουν χώρα με σκοπό την ολοκλήρωση μιας πλήρως διαδικασίας του ολοκληρωμένου συστήματος και αφού έχουν όλα τα επιμέρους τμήματα διασυνδεθεί. Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της μελέτης περίπτωσης, όπου υπολογίστηκαν οι αξίες και οι αποσβέσεις των τμημάτων του ολοκληρωμένου συστήματος σε βάθος 39 ετών. Το συγκεκριμένο εγχείρημα κατά την φάση του σχεδιασμού του, έχει ήδη προβεί στη στοχοθέτηση των ενεργειών που πρέπει να λάβουν χώρα, κατατάσσοντας τις με βάση το χρόνο υλοποίησης τους σε βραχυχρόνιους, όπου αναλύονται σε παραγωγικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς στόχους αλλά και στρατηγικούς στόχους.

Summary

Flood events occur with greater frequency and intensity in recent years. Climate change is the factor that causes the most frequent and intense occurrence of those events. The economic consequences and the losses in human lives years in the European Union have been significant in recent years. A typical example is the amount of total economic losses for the EEA-33 countries, which exceeded 345 billion euros and were due to both hydrological and meteorological events, distributed equally. In Greece from 1980 to 2017, 2,431 deaths were recorded from extreme weather events. To reduce extreme weather events and more specifically heavy rainfalls that can cause floods, a modern method is to modify the meteorological systems that causes them using Unmanned Aircraft Systems (UAVs) in combination with mobile X-band radar. Although several fixed-wing UAVs have been developed and used in experimental applications since the 2010s, copters have not been utilized on the same scale. Therefore, the purpose of this dissertation is to design an integrated system for early warning and response to extreme weather events using unmanned aerial vehicles (copters) and mobile ground meteorological radar.

This thesis makes an extensive reference to existing weather modification technologies that are either in the experimental stage or have been applied on a large scale and analyze both the methods and materials used in the application of each technology in the cloud. The literature review showed that UAV copters are an interesting solution as they provide the ability to approach the cloud with precision. In addition, they provide the possibility of hovering which provides optimal results when releasing the spray solution targeted at the point where there is the greatest concentration in the cloud. In addition, the combination of this UAVs with the portable radar, provides excellent results both for the timely detection of the cloud and for its constant monitoring. Therefore, in this dissertation, an integrated system that aims at both the prediction of extreme weather events and the reduction of their effects through the modification of weather events is presented.

The tools used include the SWOT analysis for the analysis of the internal and external environment, as well as the repayment period (Payback Period - PP), the accounting rate of return (ARR), the net present value (Net Present Value (NPV), the Internal Rate of Return (IRR), and the Profitability Index (PI) for the economic and technical evaluation of the integrated system. In addition, the depreciation of fixed assets and the deadlock of this application were calculated as a measure of comparison with the financial valuation tools. In addition, the optimal point of development of the radar and the UAVs is determined using GIS for the maximum utilization of their range.

A case study of the implementation of the system in the Prefecture of Chania is presented, including financial data from the catastrophic events that have affected the prefecture in the last 20 years. Furthermore, an extensive analysis of the individual components that constitute the integrated system of early warning and response to extreme weather events with an extensive analysis of the individual components that constitute the UAVs as well as their detailed costing are presented. In addition, a flowchart which shows the actions that take place for a complete process of the integrated system and after all the individual components have been interconnected is developed. Finally, the conclusions of the case study are presented, where the values and depreciation of the parts of the integrated system at a depth of 39 years were calculated. During the design phase of this project, we have targeted the actions that need to take place, classifying them based on their implementation time into short-term, where they are analyzed in productive, economic, and social goals as well as strategic goals.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	i
Περίληψη.....	ii
Περιεχόμενα.....	vi
1 Εισαγωγή.....	10
1.1 Γενικά στοιχεία.....	10
1.2 Εποχικότητα πλημμυρών και περίοδος επαναφοράς πλημμυρικής αιχμής.....	10
1.2.1 Είδη πλημμυρών.....	11
1.3 Ανθρώπινες απώλειες και οικονομικές καταστροφές.....	13
1.4 Στοιχεία ακραίων καιρικών φαινομένων.....	13
1.4.1 Ευρώπη.....	14
1.4.2 Περιοχή της Μεσογείου.....	17
1.4.3 Ελλάδα.....	18
1.4.4 Στοιχεία βροχοπτώσεων σε αστικά κέντρα.....	23
1.5 Καταγραφή ακραίων καιρικών φαινομένων στην Ελλάδα.....	24
1.6 Τροποποίηση καιρικών φαινομένων.....	28
1.7 Τα ΣμηΕΑ στην τροποποίηση καιρού.....	28
1.8 Σκοπός της εργασίας.....	29
2 Τεχνολογίες τροποποίησης καιρικών φαινομένων.....	31
2.1 Μέθοδοι σποράς νεφών.....	35
2.2 Σπορά νέφους με την χρήση αεροπλάνου.....	38
2.2.1 Σπορά νέφους με την χρήση ΣμηΕΑ.....	40
2.2.2 Επίγειες γεννήτριες.....	42
2.2.3 Ηλεκτρική τεχνολογία πρόκλησης βροχόπτωσης.....	45
2.2.4 Σπορά νέφους με χρήση πυραύλων.....	45

2.2.5	Τεχνολογία Λείζερ.....	46
2.2.6	Ακουστικά Κύματα.....	47
2.3	Υλικά Σποράς Νεφών	47
2.3.1	Ιωδιούχος Άργυρος (AgI).....	49
2.3.2	Ξηρός πάγος (CO ₂ σε στερεή μορφή).....	49
2.3.3	Νανοσωματίδια TiO ₂ επικαλυμμένα σε κρυστάλλους χλωριούχου νατρίου (NaCl)..	50
2.3.4	Χλωριούχο Ασβέστιο (CaCl ₂)	51
2.3.5	Νιτρικό ασβέστιο (Ca(NO ₃) ₂).....	52
3	Μεθοδολογία.....	54
3.1	Ανάλυση Εξωτερικού και Εσωτερικού Περιβάλλοντος (SWOT)	54
3.1.1	Δυνατά Σημεία (Strengths).....	55
3.1.2	Αδυναμίες (Weaknesses).....	55
3.1.3	Ευκαιρίες (Opportunities).....	55
3.1.4	Απειλές (Threats).....	56
3.2	Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επενδύσεων	56
3.2.1	Η περίοδος αποπληρωμής (Payback Period - PP)	58
3.2.2	Ο λογιστικός ρυθμός απόδοσης χρημάτων (Accounting Rate of Return - ARR)	59
3.2.3	Η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value - NPV).....	59
3.2.4	Ο εσωτερικός ρυθμός απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR).	60
3.2.5	Ο δείκτης κερδοφορίας (Profitability Index – PI)	60
3.3	Αποσβέσεις παγίων	61
3.4	Νεκρό σημείο.....	62
3.5	Καθορισμός Στόχων.....	62
3.5.1	Παραγωγικοί Στόχοι	63
3.5.2	Οικονομικοί Στόχοι	63

3.5.3	Κοινωνικοί Στόχοι	63
3.5.4	Στρατηγικοί Στόχοι.....	63
3.6	Καθορισμός βέλτιστων σημείων ανάπτυξης του εξοπλισμού	64
4	Περιοχή μελέτης	65
4.1	Περιοδικότητα πλημμυρών στην Κρήτη.....	65
4.2	Κόστος ζημιών πλημμυρικών φαινομένων στην Κρήτη.....	68
5	Αποτελέσματα μελέτης	69
5.1	ΣμηΕΑ για τροποποίηση καιρού.....	69
5.1.1	Μηχανολογικά μέρη ΣμηΕΑ	71
5.1.2	Ηλεκτρονικά μέρη ΣμηΕΑ	75
5.1.3	Λογισμικά για το ΣμηΕΑ.....	83
5.2	Ραντάρ.....	85
5.3	Διασύνδεση ΣμηΕΑ με κέντρο ελέγχου.....	87
5.4	Πηγές πληροφόρησης	92
5.5	Διάγραμμα ροής.....	92
5.6	Καθορισμός βέλτιστων σημείων ανάπτυξης του εξοπλισμού	95
5.7	Κόστος ανάπτυξης του ολοκληρωμένου συστήματος	98
5.8	Οικονομοτεχνική ανάλυση.....	99
5.9	Δράσεις διάδοσης.....	105
6	Συμπεράσματα – Προτάσεις	107
6.1	Παραγωγικοί Στόχοι	107
6.2	Οικονομικοί Στόχοι.....	108
6.3	Κοινωνικοί Στόχοι	108
6.4	Στρατηγικοί Στόχοι	109
	Βιβλιογραφία	110

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά στοιχεία

Ως ακραία καιρικά φαινόμενα χαρακτηρίζονται τα μετεωρολογικά εκείνα φαινόμενα στα οποία παρατηρούνται οι μέγιστες ή ελάχιστες τιμές μετεωρολογικών παρατηρήσεων ασυνήθιστων ή και πολύ σπάνιων που συμβαίνουν σε μια περιοχή. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα προκαλούν σοβαρές συνέπειες για την κοινωνία και την οικονομία. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί την πιθανότερη αιτία αύξησης τόσο της έντασης των συγκεκριμένων φαινομένων, όσο και της συχνότητας εμφάνισης τους. Τα οικιστικά συγκροτήματα είναι εκείνα που αντιμετωπίζουν ιδιαίτερες δυσκολίες στην αντιμετώπιση των ακραίων καιρικών φαινομένων, λόγω της πυκνότητας των κατοίκων που διαμένουν (κάτοικοι ανά μονάδα εμβαδού). Η ευπάθεια που προκαλείται από τα φαινόμενα, είναι συνάρτηση του χαρακτήρα και του μεγέθους του φαινομένου, της κλιματικής αλλαγής, της ικανότητας και της προσαρμοστικής ικανότητας στην αντιμετώπιση τους (Jahn, 2015).

Σε σχέση με την εντεινόμενη κλιματική αλλαγή και τα προβλεπόμενα σενάρια που την αφορούν, η περιοχή της Μεσογείου, θεωρείται ως ένα «καυτό σημείο αλλαγής του κλίματος» που χαρακτηρίζεται από υψηλότερη ευαισθησία στη βροχόπτωση και τις αλλαγές της θερμοκρασίας (Cramer et al., 2018). Ωστόσο, η πιθανότητα επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στη συχνότητα και το μέγεθος των πλημμυρών απαιτεί τη δημιουργία ισχυρών, μακροπρόθεσμων χρονοσειρών αυτού του φαινομένου (Koutroulis et al., 2012)

1.2 Εποχικότητα πλημμυρών και περίοδος επαναφοράς πλημμυρικής αιχμής

Η εποχικότητα των πλημμυρών έχει διερευνηθεί, σε γραμμική, αλλά και σε κυκλική βάση (Fisher, 1993) για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών όπως η ανάλυση της συχνότητας των πλημμυρών, η διαχείριση των υδάτινων πόρων και η αλλαγή του κλίματος (π.χ. Brown et al., 2009; Kropp and Schellnhuber, 2011; Villarini, 2016). Ένας σημαντικός περιορισμός στη γενίκευση ενός συστήματος υπολογισμού της εποχικότητας των πλημμυρών είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε συγκεκριμένες τοποθεσίες όπου έχουν γίνει μετρήσεις βροχόπτωσης (Formetta et al., 2018). Παρόλο που έχουν γίνει μερικές σχετικές προσπάθειες, τα αποτελέσματα είναι λιγοστά καθώς οι μελέτες με ικανοποιητικό διάστημα παρατήρησης είναι ελάχιστες και συνεπώς δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα. Είναι άλλωστε γνωστό ότι οι υδρολόγοι πρέπει συχνά να υπολογίζουν τις συχνότητες πλημμυρών σε τοποθεσίες με ελάχιστες ή καθόλου πληροφορίες ροής (Eng et al., 2005). Η βασική ιδέα είναι ότι η εποχικότητα των πλημμυρών συνοψίζει την υδρολογική «συμπεριφορά» της λεκάνης απορροής, γεγονός που επιτρέπει τον διαχωρισμό

των πλημμυρών που παράγονται από διαφορετικά είδη φυσικών καταστροφών (π.χ. χιονοστιβάδα ή πλημμύρες που δημιουργούνται από αστραπιαίες βροχοπτώσεις κ.α.).

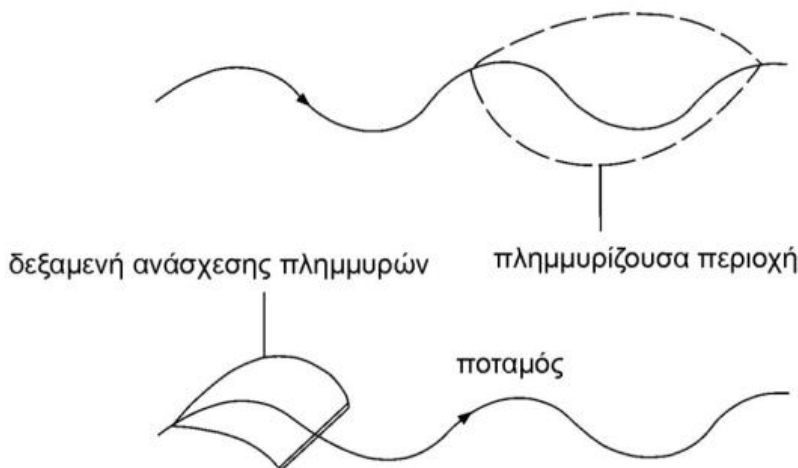
Μια προσέγγιση για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών των ροών σε απρόσιτες τοποθεσίες είναι μέσω της εφαρμογής περιφερειακών μοντέλων παλινδρόμησης. Τα συγκεκριμένα μοντέλα σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, όπως, η περιοχή αποστράγγισης, οι ροές ύδατος και η 50ετής επανάληψη της μέγιστης απόρριψης που παρατηρείται σε ένα δίκτυο σταθμών μέτρησης σε δεδομένη περιοχή ενδιαφέροντος (Eng et al., 2005). Η πλημμυρική αιχμή (peak discharge) είναι ο μέγιστος ρυθμός ροής για ένα συγκεκριμένο ρεύμα κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την εκτίμηση της εκροής αιχμής, συμπεριλαμβανομένων των εξισώσεων παλινδρόμησης, του πιθανολογικού ορθολογισμού (PRM) και της γραφικής μεθόδου μέγιστης απόρριψης (Masoud Saatsaz, Wan Nor Azmin Sulaiman, Shaharin Ebrahim, 2011). Οι πληροφορίες σχετικά με τα μεγέθη των πλημμυρών και τις συχνότητές τους απαιτούνται για το σχεδιασμό έργων υδατικών υποδομών όπως υδραυλικές κατασκευές (π.χ. φράγματα, υπερχειλιστές κ.α.), οδικές και σιδηροδρομικές γέφυρες, σχετούς, αστικά αποχετευτικά συστήματα καθώς και την εκπόνηση μελετών που δεν απαιτούσαν την κατασκευή υποδομών, όπως οριζόντια χωροταξία, οικονομική αξιολόγηση των έργων προστασίας από τις πλημμύρες κ.α. (Kropp and Schellnhuber, 2011). Η επανάληψη της μέγιστης απόρριψης που παρατηρείται κάθε 50 έτη, είναι η ετήσια μέγιστη ροή που αναμένεται να υπερβαίνει κατά μέσο όρο 1 στα 50 έτη, δηλαδή ισοδύναμο με το 0,2 εκατοστημορίου της κατανομής των ετήσιων ροών αιχμής (Kropp and Schellnhuber, 2011).

1.2.1 Είδη πλημμυρών

Τα είδη των πλημμυρών που επηρεάζουν αστικές περιοχές βάσει του European Environment Agency (EEA, 2012), κατηγοριοποιούνται σε πλημμύρες ποταμών, σε αστραπιαίες πλημμύρες, σε παράκτιες πλημμύρες, σε πλημμύρες αστικού περιβάλλοντος από μη ορθή αποστράγγιση και σε υποβρύχιες πλημμύρες.

Οι **πλημμύρες των ποταμών** προκαλούνται από έντονες βροχοπτώσεις, από το λιώσιμο του χιονιού στις ορεινές περιοχές της υδρολογικής λεκάνης ή από παλιρροιακές επιρροές. Μερικά από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως το είδος του και των υποστρωμάτων του, η βλάστηση και η χρήση γης, επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την παραγόμενη ποσότητα απορροής των υδάτων (EEA, 2012). Οι πλημμύρες λόγω της υπερχειλίσης των ποταμών λαμβάνουν χώρα όταν ο όγκος των υδάτων που δέχεται στις κοίτες του ο ποταμός, υπερβαίνει την ικανότητα ροής. Καθώς, το επίπεδο του νερού στον ποταμό ανεβαίνει αργά, η περίοδος ανόδου της στάθμης είναι ιδιαίτερα μεγάλη, αφού μπορεί να διαρκέσει από μερικές εβδομάδες, έως και μήνες, ιδιαίτερα σε πεδινές περιοχές και σε δέλτα ποταμών. Το χαρακτηριστικότερο τεχνικό έργο

για την ανάσχεση της πλημμύρας είναι η λεκάνη ή ο ταμιευτήρας, ενώ για τη διοχέτευση της πλημμύρας το ανάχωμα (ΒΛΑΣΙΟΣ, 2015). Τα αποστραγγιστικά και τα αντιπλημμυρικά έργα για τον έλεγχο των υδάτων του ποταμού, πιθανά να αποτύχουν ως προς τον έλεγχο των ποσοτήτων του νερού που θα κατακλίσουν την κοίτη με αποτέλεσμα να προκαλείτε πλημμύρα στις παραποτάμιες περιοχές (ΕΕΑ, 2012).



Εικόνα 1 Ανάσχεση πλημμύρας. Πηγή: (ΒΛΑΣΙΟΣ, 2015)

Σύμφωνα με την Εικόνα 1 λαμβάνει χώρα μετατόπιση της πλημμυρισμένης περιοχής προς μια δεξαμενή (λεκάνη) ανάσχεσης της πλημμύρας. Επιπροσθέτως, η διοχέτευση της πλημμύρας πραγματοποιείται μέσω προστατευτικών αναχωμάτων στις όχθες, αύξηση της διοχετευτικής ικανότητας του υδατορεύματος με τη βοήθεια διορθώσεων και δημιουργίας ανοικτών αγωγών αποφόρτισης (ανακούφισης) (ΒΛΑΣΙΟΣ, 2015).

Οι **αστραπιαίες πλημμύρες** προκαλούνται λόγω της ταχείας συσσώρευσης και μετακίνησης των υδάτων απορροής από τις ορεινές προς πεδινές περιοχές. Στις ορεινές περιοχές μπορεί να προκληθούν διαφορετικά συμβάντα που θα επηρεάσουν την συσσώρευση και τη μεταφορά των υδάτων προς μη ορισμένες κατευθύνσεις ή ταμιευτήρες και να προκαλούνται πλημμυρικά φαινόμενα. Μερικά από αυτά τα συμβάντα είναι ακραίας έντασης βροχοπτώσεις, κατολισθήσεις εδάφους με αποτέλεσμα την αιφνίδια διακοπή της ροής του ποταμού ή τη μερικώς ή ολοκληρωτικά μη ορθή λειτουργία ενός αντιπλημμυρικού έργου, με αποτέλεσμα να μη διοχετεύονται τα ύδατα στον προκαθορισμένο χώρο εκτόνωσης. Στον υδροκρίτη των φυσικών λεκανών απορροής, συνήθως το ύψος βροχής πρέπει να ξεπεράσει τα 200 mm σε λιγότερο από έξι ώρες για να υπερχειλίσει η λεκάνη. Σε κατοικημένες περιοχές το ύψος βροχόπτωσης για την πρόκληση πλημμυρικών φαινομένων αρκεί να φτάσει τα 50 mm μέσα σε μία ώρα (ΕΕΑ, 2012).

Οι **πλημμύρες αποχετεύσεων** στις αστικές περιοχές κατά τη διάρκεια ακραίων βροχοπτώσεων οφείλονται στην ανεπαρκή χωρητικότητα των υποδομών αποστράγγισης ή στη λιγότερο αποτελεσματική

αποστράγγιση των αντιπλημμυρικών έργων. Η πλεονάζουσα ποσότητα του νερού, διοχετεύεται στους δρόμους και βρίσκει άλλες διεξόδους με χαμηλή ή ελάχιστη αντίσταση με αποτέλεσμα να πλημμυρίζουν οι αστικές περιοχές. Οι αστικές πλημμύρες επιδεινώνονται από κορεσμένα σε ύδατα ή αδιαπέραστα εδάφη (ασφαλτικό οδόστρωμα). Ως εκ τούτου, τα δομημένα περιβάλλοντα με δρόμους και υποδομές παρουσιάζουν μια σημαντική στεγανοποίηση της επιφάνειάς τους, περιορίζοντας την απορρόφηση των υδάτων από το έδαφος με συνέπεια να προκαλείται υψηλότερη επιφανειακή απορροή που μπορεί να υπερβαίνει την ικανότητα αποστράγγισης των υποδομών της περιοχής (EEA, 2012).

1.3 Ανθρώπινες απώλειες και οικονομικές καταστροφές

Σε περιοχές που πλήττονται από ακραία καιρικά φαινόμενα τα τελευταία έτη, όπως οι μεσογειακές, οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης είναι, υπεύθυνες για τη διάσωση ανθρώπων, την προστασία περιουσιακών στοιχείων αλλά και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα επιφέρει η καταστροφή. Δεδομένα, όπως το πλήθος των ατόμων που απώλεσαν την ζωή τους ή ο τρόπος που έλαβε χώρα το φαινόμενο μπορεί να αξιοποιηθεί ως δείκτης για τον έλεγχο της αποτελεσματικότητας των μέτρων πρόληψης σε πειραματικό επίπεδο. Τα επίπεδα θνησιμότητας που σχετίζονται με τα ακραία πλημμυρικά φαινόμενα, αφορούν την επιλεγμένη κατά περίπτωση χωρική κλίμακα (Vinet et al., 2019).

Το ποσοστό θνησιμότητας από τα ακραία πλημμυρικά φαινόμενα αναλύεται μέσω διαφορετικών χωρικών κλιμάκων, ώστε να αντληθούν τα κύρια χαρακτηριστικά της θνησιμότητας που προκαλούνται από τα δεδομένα φαινόμενα στη λεκάνη της Μεσογείου. Το ποσοστό θνησιμότητας συνδέεται άμεσα με δυνητικούς παράγοντες, όπως το ανάγλυφο της περιοχής ή ο κίνδυνος έντονης βροχοπτώσης από παλαιότερα δεδομένα (Vinet et al., 2019).

Η μείωση του αριθμού των θυμάτων, που προκαλούνται από τα ακραία καιρικά φαινόμενα, αποτελεί βασικό σκοπό σε εθνικό αλλά και διεθνές επίπεδο. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει ένα ευρύτερο πλαίσιο οδηγιών για τα κράτη μέλη. Μια οδηγία που εκδόθηκε το 2007 αναφέρει "Οι πλημμύρες δύναται να προκαλούν θανάτους, μετεγκαταστάσεις πληθυσμών και βλάβες στο περιβάλλον" (Vinet et al., 2019).

1.4 Στοιχεία ακραίων καιρικών φαινομένων

Βάσει του ορισμού της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος, οι τύποι ακραίων φαινομένων διαχωρίζονται σε γεωφυσικά φαινόμενα (σεισμοί, τσουνάμι, ηφαιστειακές εκρήξεις κ.α.), μετεωρολογικά φαινόμενα (καταιγίδες κ.α.), υδρολογικά φαινόμενα (πλημμύρες, μαζικές μετακινήσεις υδάτων κ.α.), κλιματολογικά φαινόμενα (ψυχρά κύματα, ξηρασίες, δασικές πυρκαγιές κ.α.) και κλιματολογικές εκδηλώσεις (θερμικά κύματα) (EEA, 2012). Το αστικό περιβάλλον τίθεται υπό αμφισβήτηση όταν εξετάζονται τα ζητήματα της κλιματικής αλλαγής στις πόλεις. Η αξιολόγηση αυτών των άμεσων

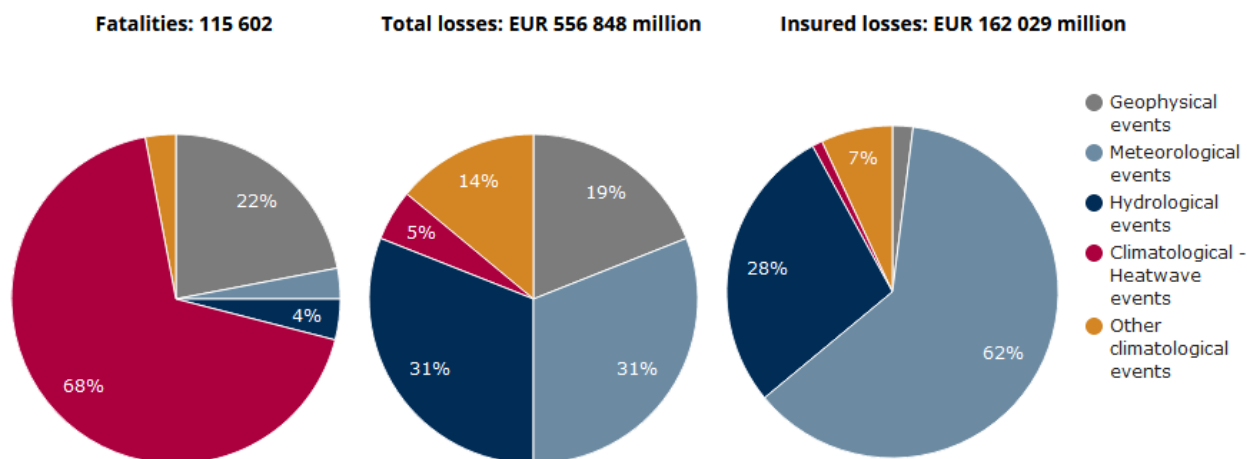
επιπτώσεων μπορεί στη συνέχεια να χρησιμεύσει ως συνεισφορά στις μελλοντικές ευρύτερες αξιολογήσεις, σε δευτερογενείς και τριτογενείς επιπτώσεις στην οικονομία, την κοινωνία, την ισότητα και την ποιότητα ζωής στις πόλεις, στα κράτη και στην Ευρώπη ευρύτερα. Οι έμμεσες επιπτώσεις, από τα συγκεκριμένα ακραία καιρικά φαινόμενα είναι εξαιρετικά σημαντικά. Η ανάλυση τους είναι περίπλοκη καθώς απαιτεί διαφορετικά δεδομένα αλλά και μοντέλα που κυρίως χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της αλλαγής του κλίματος (EEA, 2012). Ένας σημαντικός περιορισμός της χρήσης της εποχικότητας των πλημμυρών σε ένα σύστημα συγκέντρωσης είναι ότι μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε συγκεκριμένες τοποθεσίες. Παρόλο που έχουν γίνει μερικές προσπάθειες να ληφθούν υπόψη στο σχέδιο συγκέντρωσης υδάτων από τις βροχοπτώσεις τα στοιχεία των συστημάτων εποχικότητας ως υποσύνολο του συστήματος της εποχιακής ροής των υδάτων, ο συγκεκριμένος περιορισμός δεν έχει μελετηθεί ποτέ από προηγούμενες μελέτες (Formetta et al., 2018).

Η εποχικότητα των πλημμυρών μπορεί να περιγραφεί αποτελεσματικά με όρους κατεύθυνσης ή με στατιστικά στοιχεία προσανατολισμού (Fisher, 1993). Τα ακραία καιρικά φαινόμενα δεν αντιμετωπίζονται, αλλά μέσω των εκτιμήσεων, παρέχεται η δυνατότητα να προβλεφθούν με σκοπό τον περιορισμό των απωλειών σε ανθρώπινες ζωές, των οικονομικών και κοινωνικών επιπτώσεων τους (EEA, 2012).

1.4.1 Ευρώπη

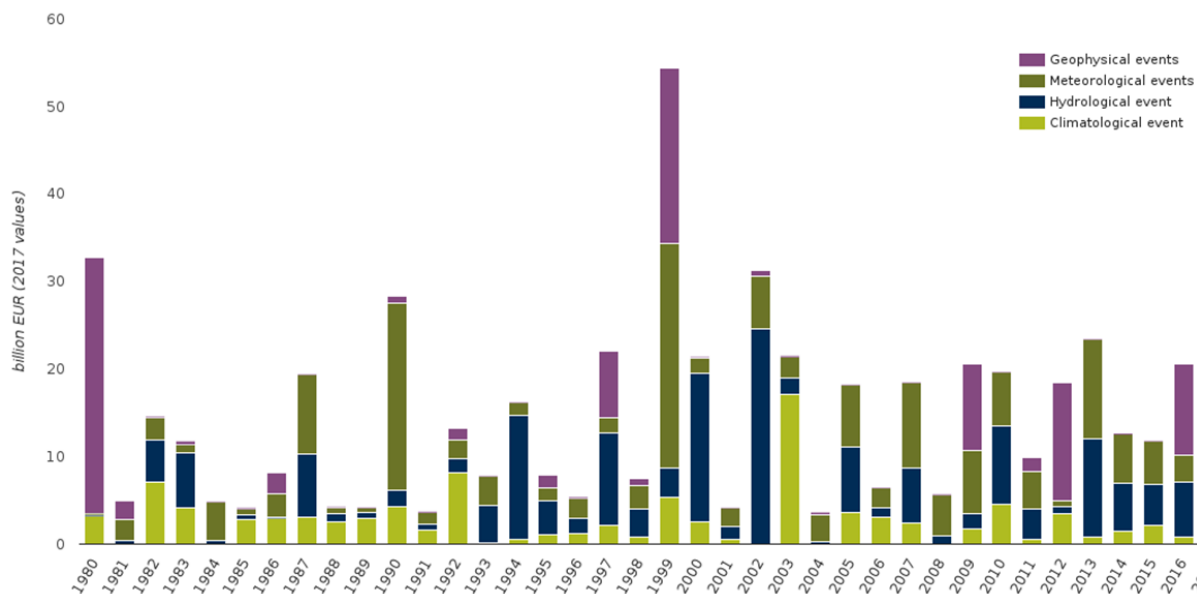
Η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος έχει πλέον ορίσει, τα είδη των ακραίων καιρικών φαινομένων σε πέντε κατηγορίες (πλημμυρικά φαινόμενα, περίοδοι λειψυδρίας - ξηρασίας, κύματα θερμότητας, κρύο/χιόνι και καταγίδες) (EEA, 2012).

Στις χώρες μέλη του Ευρωπαϊκού Οικονομικού Χώρου (EOX-33), το σύνολο των άμεσων οικονομικών ζημιών που καταγράφονται ως συνέπεια από την εμφάνιση των ακραίων καιρικών φαινομένων κατά την περίοδο 1980-2017 ανήλθαν σε περίπου 453 δισεκατομμύρια ευρώ. Βάσει των διαγραμμάτων οι συνολικοί θάνατοι για την περίοδο των 38 ετών ξεπέρασαν τις 115 χιλιάδες, από τους οποίους το μεγαλύτερο ποσοστό οφείλονταν σε κύματα θερμότητας (περισσότεροι από 78.500). Επίσης, οι συνολικές οικονομικές απώλειες ξεπέρασαν τα 550 δισεκατομμύρια ευρώ, από τα οποία τα 345 δισεκατομμύρια οφείλονταν σε υδρολογικά και μετεωρολογικά γεγονότα, κατανεμημένα ισόποσα. Επιπλέον, οι ασφαλισμένες ζημιές που αποκαταστάθηκαν, αφορούσαν κατά το μεγαλύτερο ποσοστό ζημιές που προκλήθηκαν από μετεωρολογικά γεγονότα (100 δισεκατομμύρια ευρώ) (EEA, 2019).



Εικόνα 2 Φυσικοί κίνδυνοι που προκάλεσαν οικονομικές ζημιές στα κράτη μέλη του ΕΟΧ-33 (1980-2017)

Αναλύοντας τα στοιχεία από τις καταγραφές των οικονομικών ζημιών μεταξύ των τριάντα οκτώ ετών, παρατηρούμε ότι την πρώτη δεκαετία (1980-1989) οι μέσες ετήσιες οικονομικές απώλειες ανέρχονται στα 7,4 δισεκατομμύρια ευρώ, την δεύτερη δεκαετία (1990-1999) οι μέσες ετήσιες οικονομικές απώλειες ανέρχονται στα 13,4 δισεκατομμύρια ευρώ, την τρίτη δεκαετία (2000-2009) οι μέσες ετήσιες οικονομικές απώλειες ανέρχονται στα 14,0 δισεκατομμύρια και την περίοδο μεταξύ 2010 και 2017 οι μέσες ετήσιες απώλειες ήταν περίπου 13,0 δισεκατομμύρια ευρώ στις χώρες μέλη του ΕΟΧ (υπολογιζόμενες οικονομικές αξίες για το έτος 2017) Εικόνα 2. Όπως είναι ευδιάκριτο από τα παραπάνω στοιχεία, η υψηλή μεταβλητότητα καθιστά την ανάλυση των ιστορικών τάσεων σε μια δύσκολη διαδικασία, καθώς η επιλογή των ετών επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το αποτέλεσμα της κάθε τάσης. Οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις στις αναφερόμενες οικονομικές απώλειες με την πάροδο του χρόνου είναι δύσκολο να ερμηνευτούν, δεδομένου ότι ένα μεγάλο μερίδιο των συνολικών αποπληθωρισμένων ζημιών έχει προκληθεί από ένα μικρό αριθμό ακραίων καιρικών συμβάντων. Πιο συγκεκριμένα, λιγότερο από το 3% των μοναδικά καταγεγραμμένων ακραίων καιρικών συμβάντων προκάλεσε περισσότερο από το 70% των οικονομικών ζημιών στα μέλη του ΕΟΧ-33 (ΕΕΑ, 2019).



Εικόνα 3 Το ύψος των καταστροφών που προκλήθηκαν από ακραία καιρικά φαινόμενα εκφρασμένα σε δισεκατομμύρια ευρώ όσον αφορά τις 33 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (1980-2017). Πηγή: (EEA, 2019)

Οι εκδηλώσεις των καιρικών φαινομένων μπορεί να λαμβάνουν χώρα σε τοπικό επίπεδο αλλά μπορεί και σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Μερικά από τα ακραία καιρικά συμβάντα που έλαβαν χώρα σε έκταση πέρα από τα σύνορα μιας χώρας, προκάλεσαν εκτενείς καταστροφές σε υποδομές αλλά και απώλειες ανθρώπινων ζωών (EEA, 2019). Ο κίνδυνος πλημμύρας μπορεί να οριστεί ως η πιθανότητα να προκληθούν πλημμυρικά φαινόμενα δεδομένης έντασης και απώλειών σε μια συγκεκριμένη περιοχή, εντός καθορισμένης χρονικής περιόδου (Merz et al., 2007). Οι πλημμύρες που έλαβαν χώρα από τις 6 έως 8 και μεταξύ 11 και 13 Αυγούστου του 2002 (Grazzini and der Grijn, 2003) στην Κεντρική Ευρώπη υπολογίζονται ότι προκάλεσαν οικονομικές καταστροφές σε υποδομές αστικές αλλά και γεωργικές που ανέρχονται σε πάνω από 21 δισεκατομμύρια ευρώ (EEA, 2019). Οι κατά τόπους πλημμύρες που λαμβάνουν χώρα κυρίως στα όρη Erz, προκαλούν αστραπιαίες πλημμύρες. Τα μικρά ποτάμια, μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες υδάτων σε μεγαλύτερα, όπως είναι ο Δούναβης, με αποτέλεσμα να προκαλούνται σοβαρά πλημμυρικά φαινόμενα. Οι απώλειες που καταγράφονται ανέρχονται σε 100 θανάτους και η οικονομική ζημία για την Γερμανία ξεπέρασε τα 9 δισεκατομμύρια ευρώ (βάσει εκτιμήσεων του γερμανικού κράτους), ενώ άλλες εκτιμήσεις τις υπολόγισαν στα 3 δισεκατομμύρια ευρώ για την Αυστρία (Boyle, 2002) και στα 2,5 δισεκατομμύρια ευρώ για την Τσεχική Δημοκρατία (Ulbrich et al., 2003).

Οι πλημμύρες είναι ένας από τους πιο σημαντικούς τύπους καταστροφών στη νότια Ευρώπη, καταγράφοντας πολλά θύματα και εκτεταμένες ζημιές τον τελευταίο αιώνα. Η αυξημένη τάση για

επέκταση των πόλεων σε συνδυασμό με την υψηλή πυκνότητα του πληθυσμού έχει αυξήσει τις πιθανότητες πρόκλησης τόσο ζημιών, όσο και τους πιθανούς κινδύνους για αποκλεισμό περιοχών ή απώλεια ανθρώπινων ζωών (Diakakis et al., 2012). Το πρόβλημα των πλημμυρικών φαινομένων στην περιοχή της Μεσογείου, γίνεται όλο και πιο σοβαρό, καθώς με την ανάπτυξη των αστικών κέντρων, μεγάλο πλήθος πολιτών κατοικούν πλέον σε περιοχές κοντά σε δέλτα ποταμών και παράκτιες ζώνες, οι οποίες πλήττονται από κατακλυσμιαία φαινόμενα τα οποία προκαλούνται από έντονη βροχόπτωση που λαμβάνει χώρα στην ευρύτερη περιοχή ή από υπερχειλίσσεις μικρών ποταμών ή ορεινών χειμάρρων. Η Ελλάδα δεν αποτελεί εξαίρεση, στη δεδομένη τάση καθώς εδώ και δεκάδες χρόνια καταγράφονται ρεκόρ πλημμυρικών φαινομένων. Τα πλημμυρικά φαινόμενα που καταγράφονται τα τελευταία 130 χρόνια στην Ελλάδα, ξεπερνούν τα 545 συμβάντα, προκαλώντας το θάνατο σε 686 άτομα και εκτεταμένες ζημιές σε ολόκληρη τη χώρα, βάσει πολυάριθμων πηγών (Diakakis et al., 2012).

1.4.2 Περιοχή της Μεσογείου

Η Μεσόγειος είναι μια ημι-κλειστή θάλασσα που περιβάλλεται από την Ευρώπη στα βόρεια, την Ασία στα ανατολικά και την Αφρική στα νότια. Καλύπτει μια έκταση περίπου 2,5 εκατομμυρίων km². Το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από ζεστά έως ζεστά ξηρά καλοκαίρια και ήπιους υγρούς χειμώνες. Οι αλληλεπιδράσεις που συμβαίνουν μεταξύ πολύπλοκων παραγόντων οδηγούν σε μια σύνθετη εικόνα με κάποια σχετικά φαινόμενα που χαρακτηρίζουν την περιοχή της Μεσογείου, όπως κύματα θερμότητας και ξηρασίες, εισβολές σκόνης από τη Σαχάρα ή συγκεκριμένους τύπους κυκλογένεσης. Οι προβλέψεις για τα κλιματικά μοντέλα συμφωνούν γενικά να χαρακτηρίσουν την περιοχή ως επίκεντρο κλιματικής αλλαγής, δεδομένου ότι είναι μία από τις περιοχές του πλανήτη που ενδέχεται να υποστεί έντονες κλιματικές αλλαγές. Οι ανθρωπογενείς επιρροές δεν είναι νέες, καθώς η περιοχή είναι πυκνοκατοικημένη, στην οποία έχουν αναπτυχθεί μερικοί από τους αρχαιότερους πολιτισμούς. Αυτό έχει προκαλέσει πολλαπλές και συνεχείς τροποποιήσεις στην κάλυψη της γης, με μετρήσιμες επιπτώσεις στο κλίμα που μπορούν να εντοπιστούν από τα πλούσια διαθέσιμα αποδεικτικά στοιχεία και τους φυσικούς διακομιστές υψηλής ανάλυσης (García-Herrera and Barriopedro, 2018).

Κατά τα τελευταία 30 χρόνια, αυξάνεται τόσο η ένταση των φαινομένων βροχόπτωσης, όσο και τα συμβάντα που λαμβάνουν χώρα στις παράκτιες αστικές περιοχές, σε αντίθεση με τον όγκο της ποσότητας των βροχοπτώσεων που μειώνεται (Tichavský et al., 2020). Οι πλημμύρες σε περιοχές της Μεσογείου θεωρούνται ότι εγκυμονούν πολύ σοβαρούς φυσικούς κινδύνους, με αποτέλεσμα σημαντικές οικονομικές απώλειες κάθε χρόνο (Llasat et al., 2010). Η έντασή και η διάρκεια τους επηρεάζεται κυρίως από την κυκλογένεση πάνω από τη Μεσόγειο Θάλασσα (Godart et al., 2011). Στην περιοχή της Μεσογείου, οι περισσότερες από τις πλημμύρες προκαλούνται από αστραπιαίες πλημμύρες, που λαμβάνουν χώρα σε

σύντομο χρονικό διάστημα (Diakakis et al., 2020; Martini and Loat, 2007) καθιστώντας τις, τον πιο συνηθισμένο τύπο πλημμύρας. Ο συγκεκριμένος τύπος πλημμύρας προκαλεί ένα μεγάλο ποσοστό ζημιών και θανάτων κυρίως σε αγροτικές περιοχές, λεκάνες απορροής επιρρεπείς σε πλημμύρες, οι οποίες είναι ιδιαίτερα κοινές σε όλη τη Μεσόγειο και συχνά φιλοξενούν αστικές περιοχές με μεγάλη συγκέντρωση πληθυσμού. Οι υφιστάμενες μελέτες προσπαθώντας να ποσοτικοποιήσουν τον αντίκτυπο των πλημμυρών, επικεντρώνονται κυρίως στις αστικές περιοχές (Suarez et al., 2005). Οι επιπτώσεις από τα ακραία καιρικά φαινόμενα και τους κινδύνους περιλαμβάνουν άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις σε διάφορες υποδομές (αστικές, αγροτικές, παράκτιες κ.α.) και στις μεταφορικές δραστηριότητες (Stamos et al., 2016) ακόμη και πέρα από την πλημμυρισμένη περιοχή (Diakakis et al., 2019).

Ανά τον κόσμο υπάρχουν βάσεις δεδομένων τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο όπως η EM-DAT, όσο και σε τοπικό, οι οποίες όμως δεν είναι διασυνδεδεμένες τόσο μεταξύ τους. Η δυσκολία στη μεταξύ τους σύνδεση προκαλεί τόσο προβλήματα στην πρόβλεψη πιθανών ακραίων φαινομένων όσο και κατά την διαχείριση των κρίσεων μετά την εμφάνιση τους. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, μη διασύνδεσης βάσεων δεδομένων, αφορά τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όπου περιμετρικά της λεκάνης της Μεσογείου, κάθε χώρα κατέχει μια εθνική αυτόνομη βάση δεδομένων με τα στοιχεία από τα ακραία καιρικά φαινόμενα που συμβαίνουν στην επικράτεια της και δεν τα αποστέλλει προς την Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων. Μόλις πρόσφατα, κατόπιν πρωτοβουλιών όπως η βάση δεδομένων “Mediterranean Flood Fatalities” (MEFF DB), συγκεντρώνονται δεδομένα θνησιμότητας από διαφορετικές χώρες και οργανισμούς. Η Ελλάδα απέστειλε στοιχεία το 2016, ενώ η Τουρκία το 2018 (Vinet et al., 2019). Η βάση δεδομένων MEFF έχει δύο κύριου βασικούς στόχους. Ο πρώτος είναι η συλλογή δεδομένων σχετικά με τη θνησιμότητα λόγω ακραίων πλημμυρικών φαινομένων και την βελτίωση των υποδομών πρόληψης τους. Ο δεύτερος είναι ο υπολογισμός των καταστροφικών επιπτώσεων που θα προκληθούν από το φαινόμενο μέσα από την ανάλυση του πλήθους των απωλειών σε ανθρώπινες ζωές ως δείκτη έντασης του φαινομένου αλλά και αποτελεσματικότητας της πρόληψης. Η απώλεια ανθρώπινης ζωής, χρησιμοποιείται ως δείκτης καθώς δεν μεταβάλλεται η «αξία» της στο πέρασμα των ετών (Vinet et al., 2019). Το δεδομένο πρόβλημα, παρουσιάζεται με την εκτίμηση των οικονομικών απωλειών καθώς η αξία του χρήματος μεταβάλλεται στο χρόνο.

1.4.3 Ελλάδα

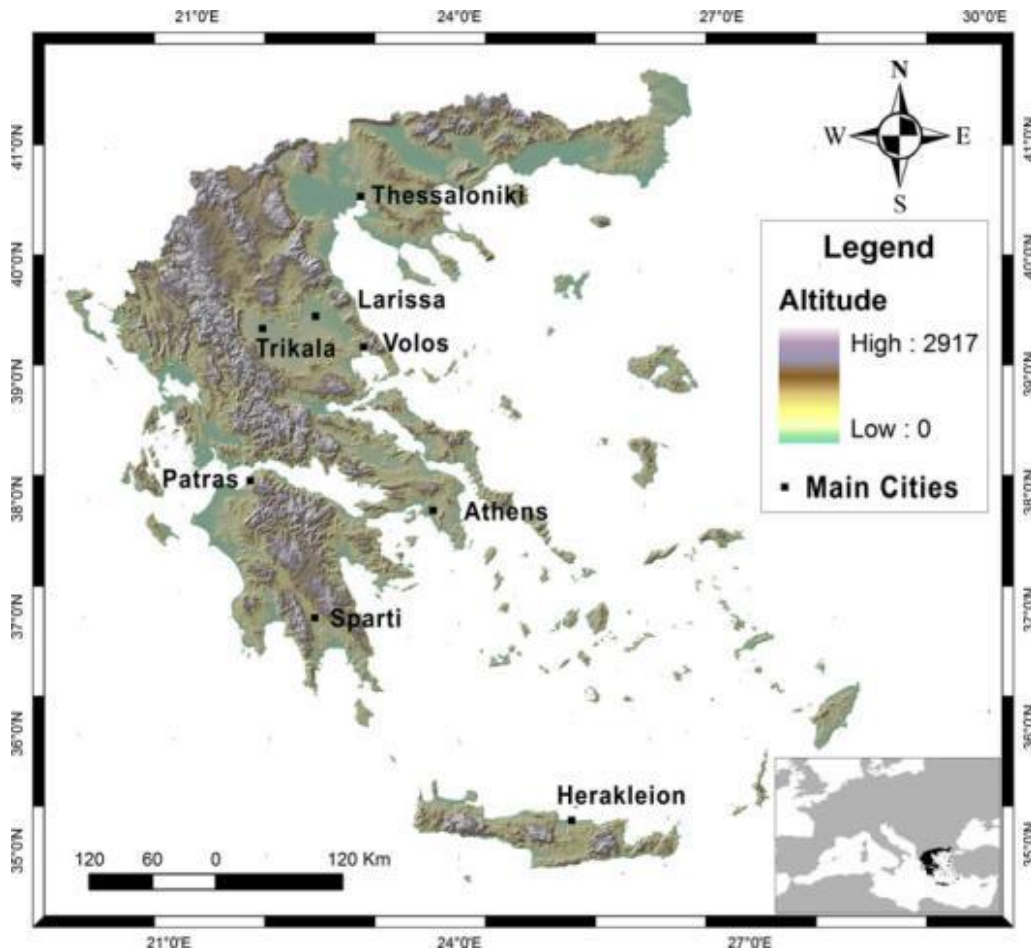
Η Ελλάδα, βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της Ευρώπης στο νοτιότερο άκρο της Βαλκανικής χερσονήσου. Συνορεύει στα βορειοδυτικά με την Αλβανία, στα βόρεια με τη Βόρεια Μακεδονία και τη Βουλγαρία και στα βορειοανατολικά με την Τουρκία. Έχει ακτές στην Ανατολική Μεσόγειο και βρέχεται ανατολικά από το Αιγαίο, δυτικά από το Ιόνιο και νότια από το Λιβυκό (Νότιο Κρητικό Πέλαγος). Η

Ελλάδα έχει ακτογραμμή 13.676 χιλιομέτρων (“Greece Map (Physical) - Worldometer,” 2020). Η έκταση της Ελλάδας είναι 128.900km² (“Greece Population (2018) - Worldometers,” 2020) και γεωγραφικά διαιρείται σε 9 διαμερίσματα, τα οποία χωρίζονται σε 51 νομούς (“Greece Map (Physical) - Worldometer,” 2020). Σύμφωνα με επίσημες εκτιμήσεις, ο πληθυσμός της χώρας την 26 Απριλίου 2020 εκτιμάται ότι είναι 10.431.930. Η πρωτεύουσα και μεγαλύτερη πόλη της, είναι η Αθήνα. Το 84,9% του συνολικού πληθυσμού της χώρας διαμένει σε αστικές περιοχές (8.850.409) (“Greece Population (2018) - Worldometers,” 2020).

Η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από το μεσογειακό τύπο της εύκρατης ζώνης και έχει ήπιους υγρούς χειμώνες και ζεστά ξηρά καλοκαίρια (“Greece climate: average weather, temperature, precipitation, best time,” 2020). Το κλίμα της χώρας μπορεί να διαιρεθεί σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

- υγρό μεσογειακό (δυτική Ελλάδα, δυτική Πελοπόννησος, πεδινά και ημιορεινά της Ηπείρου).
- ξηρό μεσογειακό (Κυκλάδες, παραλιακή Κρήτη, Δωδεκάνησα, ανατολική Πελοπόννησος, Αττική, πεδινές περιοχές Ανατολικής Στερεάς).
- ηπειρωτικό (δυτική Μακεδονία, εσωτερικά υψίπεδα ηπειρωτικής Ελλάδας, βόρειος Έβρος).
- ορεινό (ορεινές περιοχές με υψόμετρο περίπου >1500 m στη Βόρεια Ελλάδα >1800 m στην Κεντρική Ελλάδα >2000 m στην Κρήτη) καλοκαίρια (“Greece climate: average weather, temperature, precipitation, best time,” 2020)

Η χερσόνησος των Βαλκανίων γνώρισε μια περίπλοκη γεωτεκτονική εξέλιξη, που οδηγεί στην ανάπτυξη μιας ποικιλίας φυσιογραφικών στοιχείων στην περιοχή της Ελλάδας. Ένα μεγάλο μέρος της μορφολογίας του εδάφους της χώρας είναι ορεινό, αλλά η ανάπτυξη των μεγάλων πόλεων βρίσκεται σε πεδινές περιοχές. Ο πληθυσμός συγκεντρώνεται σε αστικά κέντρα με τα μεγαλύτερα να είναι η Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα και Ηράκλειο. Ένα μεγάλο μέρος των υδάτων απορροής από τους ορεινούς όγκους της χώρας διοχετεύεται μέσω χειμάρρων σε μικρές η μεσαίου μεγέθους υδρολογικές λεκάνες κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους (Diakakis et al., 2012).



Εικόνα 4 Κύρια φυσιογραφικά στοιχεία της Ελλάδας. Πηγή: (Diakakis et al., 2012)

Η παρελθούσα γεωμορφολογική δραστηριότητα των αστραπιαίων πλημμυρικών φαινομένων που παρατηρήθηκαν στην Ανατολική Μεσόγειο δεν έχει γίνει πλήρως κατανοητή. Παρά την αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και τη μείωση των ετήσιων συνολικών βροχοπτώσεων, έντονες βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια ισχυρής κυκλογένεσης αναμένονται ακόμη υπό ένα μεταβαλλόμενο κλίμα (Tichavský et al., 2020). Παρά τη γενικά φθίνουσα τάση των συνολικών ποσοτήτων ετήσιας βροχόπτωσης και της αυξημένης ξηρασίας από τη δεκαετία του 1960, οι βροχοπτώσεις που λαμβάνουν χώρα το χειμώνα και οι δείκτες ακραίων κλιματικών συνθηκών (π.χ. ημερήσιος δείκτης έντασης βροχόπτωσης, ημέρες με πολύ υψηλή υγρασία κ.α.) παρουσιάζουν ραγδαία αύξηση, που σημαίνει υψηλότερο κίνδυνο έντασης της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της υγρότερης περιόδου του έτους, ειδικά στο δυτικό τμήμα της Κρήτης (Grillakis and Koutroulis, 2018; Mathbout et al., 2018; Tsanis et al., 2011). Η γνώση των καιρικών μοντέλων σχετίζεται με τις αστραπιαίες πλημμύρες. Επιπροσθέτως, γεγονότα απορροής μπορούν να χρησιμεύσουν ως αξιόπιστο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης πλημμυρών και μη διαρθρωτικής προσέγγισης για τον μετριασμό τους.

Ειδικά για την περίπτωση εκδήλωσης συμβάντων με πολύ γρήγορο ρυθμό όπως οι αστραπιαίες πλημμύρες, που είναι σπάνια προβλέψιμα και έχουν σοβαρές συνέπειες (απώλεια ανθρώπινων ζώων, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις), η κατανόηση τόσο του χώρου όσο και του χρόνου εκδήλωσης των φαινομένων είναι απαραίτητη για την ενημέρωση της πολιτικής προστασίας με σκοπό να λάβει τα προβλεπόμενα μέσα για τον μετριασμό των αρνητικών συνεπειών (Koutroulis et al., 2010).

Η χρονική περίοδος των δεδομένων στοιχείων που επεξεργάστηκαν περιλάμβανε μια περίοδο 11 ετών από το 2009 έως και το 2019. Η μελέτη των στοιχείων κατέδειξε, ότι έως το 2011, σε πανελλαδικό επίπεδο, το πλήθος των ακραίων φαινομένων δεν ξεπερνούσε τα δεκαπέντε κατ' έτος. Εντός της επόμενης τριετίας, το αντίστοιχο πλήθος ξεπερνούσε σταθερά τα δεκαπέντε φαινόμενα στην επικράτεια με μέσο όρο άνω των 20 κατ' έτος (ESWD, 2021).

Πίνακας 1 Καταγεγραμμένες καταστροφές ανά περιοχή καταγραφής 10ετίας στην Ελλάδα (ESWD, 2021).

Έτος	Πλήθος Φαινομένων	Περιοχές εμφάνισης	Καταγεγραμμένες καταστροφές
2009	13	Πιερία, Χαλκιδική, Δωδεκάνησα, Μαγνησία	Ισχυρές βροχές προκάλεσαν τοπικά πλημμυρικά φαινόμενα, γέφυρες κατέρρευσαν και αυτοκίνητα παρασύρθηκαν.
2010	12	Ηράκλειο, Μαγνησία, Πιερία, Ήπειρος	Ισχυρές βροχές προκάλεσαν τοπικά πλημμυρικά φαινόμενα, σπίτια πλημμύρισαν, εγκλωβισμένοι πολίτες σώθηκαν, ένας θάνατος από πνιγμό, Ο ρυθμός βροχής έφτασε τα 205,8 mm ³ /h.
2011	9	Χανιά, Εύβοια, Ημαθία, Θεσπρωτία, Δωδεκάνησα	Τοπικά κατακρήμνισμα προκάλεσε φθορές σε οικίες, παρέσυρε αυτοκίνητα και ζώα πνίγηκαν από τα πλημμυρικά φαινόμενα.
2012	27	Ρέθυμνο, Μαγνησία, Αττική, Δωδεκάνησα, Καρδίτσα, Εύβοια	Ισχυρά κατακλυσμιαία φαινόμενα προκάλεσαν πνιγμούς ανθρώπων, καταστροφές σε σπίτια και καταστήματα και καταστράφηκε μια γέφυρα στον Ωρωπό. Ο ρυθμός βροχόπτωσης πλησίασε τα 270 mm ³ /h.
2013	23	Χανιά, Ηράκλειο, Δωδεκάνησα, Κόρινθος, Αττική	Ισχυρά κατακλυσμιαία φαινόμενα προκάλεσαν πνιγμούς ανθρώπων. Ο ρυθμός βροχής έφτασε τα 100 mm ³ /h.

Έτος	Πλήθος Φαινομένων	Περιοχές εμφάνισης	Καταγεγραμμένες καταστροφές
2014	15	Αττική, Κόρινθος, Μακεδονία, Δωδεκάνησα, Θράκη,	Ισχυρά κατακλυσμιαία φαινόμενα προκάλεσαν καταστροφές σε σπίτια και καταστήματα.
2015	101	Λέσβος, Κρήτη, Δωδεκάνησα, Μαγνησία, Ιωάννινα, Αττική, Σέρρες, Θεσσαλονίκη	Αστραπιαίες πλημμύρες καταγράφονται σε πολλές περιοχές της χώρας, καθώς και ισχυρές χαλαζοπτώσεις που προκαλούν πλημμυρικά φαινόμενα. Μετά από αναζήτηση ανθρώπων στις πληγείσες περιοχές καταγράφονται απώλειες ανθρώπινων ζώων από τα ορμητικά ύδατα.
2016	98	Ηράκλειο, Χανιά, Ρέθυμνο, Ιωάννινα, Αττική, Μεσσηνία, Μαγνησία, Επτάνησα	Πολλαπλές καταγραφές αναφέρονται λόγω ισχυρών ανέμων (άνω των 90km/h) σε αγροτικές περιοχές. Επιπροσθέτως, προκλήθηκαν ισχυρές χαλαζοπτώσεις και κατακρημνίσματα στην κεντρική και στην βόρεια Ελλάδα που έθεσαν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές.
2017	74	Κρήτη, Δωδεκάνησα, Θεσπρωτία, Αιτωλοακαρνανία, Κυκλάδες, Κοζάνη, Εύβοια	Πολλαπλές καταγραφές αναφέρονται για εμφάνιση τυφώνων εντός της θάλασσας στο νοτιοανατολικό άκρο της χώρας. Επίσης, προκλήθηκαν ισχυρές χαλαζοπτώσεις στην κεντρική και στην βόρεια Ελλάδα.
2018	32	Χανιά, Μαγνησία, Αττική, Εύβοια, Ημαθία	Ισχυρά κατακλυσμιαία φαινόμενα και χαλαζόπτωση προκάλεσαν σοβαρές καταστροφές σε υποδομές και οδικούς άξονες. Καταγράφονται πολλές χαλαζοπτώσεις με μικρό μέγεθος χαλαζιού αλλά σε πολλές περιοχές, καθώς επίσης και φαινόμενα ανεμοστρόβιλων εντός της θαλάσσιας περιοχής αλλά και παράκτια.
2019	19	Ηράκλειο, Αρκαδία, Καρδίτσα, Ηλεία, Χαλκιδική	Ισχυρά κατακλυσμιαία φαινόμενα και χαλαζόπτωση προκάλεσαν σοβαρές καταστροφές σε υποδομές και οδικούς άξονες με συνέπεια τον τραυματισμών πολιτών

Έτος	Πλήθος Φαινομένων	Περιοχές εμφάνισης	Καταγεγραμμένες καταστροφές
			και την απώλεια ανθρώπινων ζωών. Καταγράφονται πάνω από 30 περιπτώσεις πολύ ισχυρής χαλαζόπτωσης που κατέστρεψαν καλλιέργειες. Από τεκμηριωμένες πηγές καταγράφονται αρκετοί ανεμοστρόβιλοι κυρίως εντός της θάλασσας.

1.4.4 Στοιχεία βροχοπτώσεων σε αστικά κέντρα

Η εκτίμηση των ποσοστών πλημμύρας για δεδομένο χρονικό διάστημα αλλά και φαινόμενα επανάληψης του φαινομένου (T – περίοδος επανεμφάνισης της πλημμύρας) είναι ένας καθοριστικός παράγοντας σε θέματα διαχείρισης των κινδύνων που προκαλούνται από πλημμυρικά φαινόμενα. Απαιτείται όχι μόνο για τον σχεδιασμό κατάλληλων υδραυλικών υποδομών όπως γέφυρες, δεξαμενές και συστήματα απορροής όμβριων υδάτων (αποστραγγιστικά έργα), αλλά και στον σχεδιασμό και την αξιολόγηση των αντιπλημμυρικών υποδομών (Formetta et al., 2018), κυρίως σε αστικά κέντρα που από τα μέσα του 20ού αιώνα γνώρισαν ταχεία αστικοποίηση (Burns et al., 2012). Η ταχύτατη επέκταση των αστικών κέντρων προκάλεσε μεγάλες αλλαγές στο τοπίο, κυρίως ως προς την αύξηση της επιφάνειας της γης από άλλα υλικά με χαμηλή ή καθόλου δυνατότητα διείσδυσης προς το έδαφος (π.χ. ασφαλική στρώση δρόμων) (Burns et al., 2012). Ως επακόλουθο της ταχύτατης επέκτασης των αστικών κέντρων, αυξήθηκε ο κίνδυνος πρόκλησης πλημμυρικών φαινομένων και ο αστικός πληθυσμός θεώρησε το σύστημα διαχείρισης των όμβριων υδάτων ως «όχληση». Για να διαχειριστούν αυτόν τον κίνδυνο και να περιορίσουν τις αντιδράσεις από τον πληθυσμό, οι μηχανικοί εφάρμοσαν συστήματα αποστράγγισης ικανά να διοχετεύουν αποτελεσματικά την απορροή των όμβριων υδάτων εκτός του αστικού ιστού (Brown et al., 2009). Ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο πλαίσιο για την εκτίμηση της T - περιόδου επανεμφάνισης πλημμύρας σε ένα έτος, είναι η περιφερειακή ανάλυση της συχνότητας πλημμυρών, όπου μέσα από συγκεκριμένο πλαίσιο υπολογισμού δεδομένων και για συγκεκριμένες τοποθεσίες καταγράφονται μετρήσεις (Formetta et al., 2018).

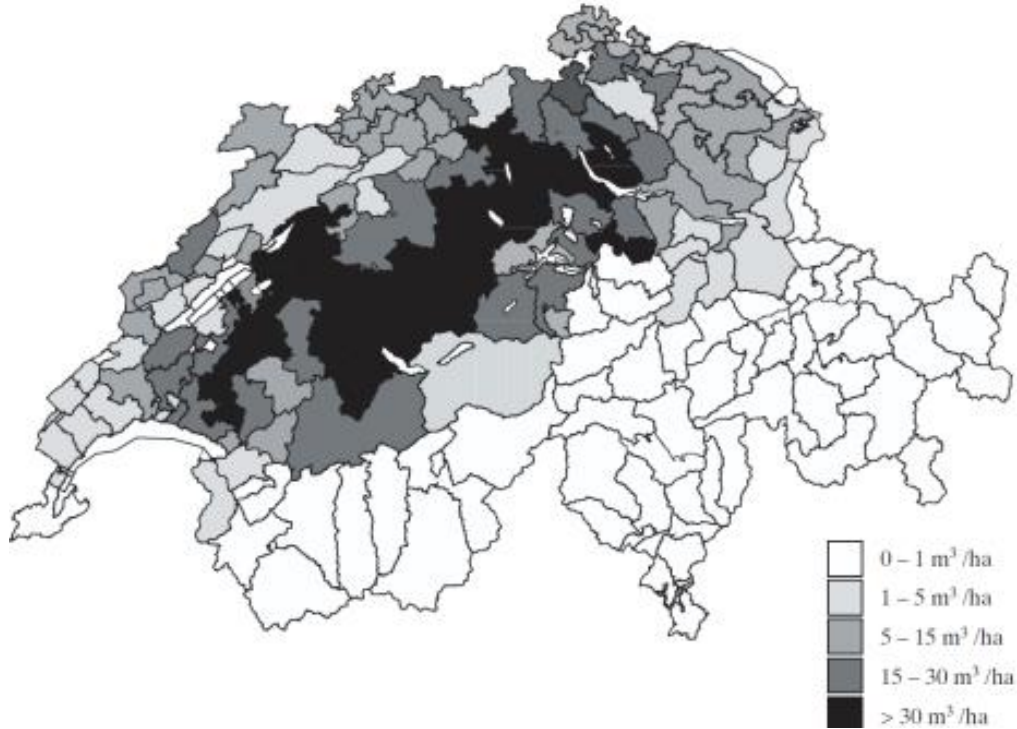
Ένα από τα πιο κοινά προβλήματα που αντιμετωπίζουν τόσο οι υδρολόγοι όσο και οι μηχανικοί κατά τον σχεδιασμό των υδραυλικών δομών σε ένα αστικό περιβάλλον είναι η εκτίμηση της μέγιστης απορροής των ποσοτήτων των υδάτων. Από το δέκατο έβδομο αιώνα, η υδρολογία ως επιστήμη, εφαρμόζοντας μεθοδολογίες προσπαθεί να προβλέπει την απορροή σε υδρολογικές λεκάνες χωρίς να υπάρχουν αντίστοιχες καταγραφές βροχοπτώσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, υφίστανται καταγραφές του ύψους των

βροχοπτώσεων, σε άλλες περιπτώσεις οι συγκεκριμένες πληροφορίες δεν είναι διαθέσιμες ή κοντά στον τόπο ενδιαφέροντος με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η εξαγωγή αξιόπιστων και τεκμηριωμένων εκτιμήσεων για τη μέγιστη απορροή (Kropp and Schellnhuber, 2011).

1.5 Καταγραφή ακραίων καιρικών φαινομένων στην Ελλάδα

Η τακτική καταγραφή των πλημμυρών από οργανισμούς πολιτικής προστασίας στην Ελλάδα, ξεκίνησε σχετικά πρόσφατα, περιορίζοντας τα συστηματικά επίσημα αρχεία στις τελευταίες δύο δεκαετίες. Από την άλλη πλευρά, οι περιφερειακές αρχές, οι οργανισμοί αποζημίωσης ζημιών και ο Τύπος τεκμηριώνουν τα συμβάντα των καταστροφών σε επίσημες εκθέσεις ή σε ανέκδοτη μορφή, διατηρώντας αρχεία με εκτενή όγκο δεδομένων με υψηλής ακρίβειας πληροφορίες που δεν είχαν αξιολογηθεί συστηματικά στο σύνολο τους μέχρι τώρα. Παλαιότερες μελέτες και έρευνες, κατέδειξαν ότι η εξέταση των ιστορικών καταγραφών που αφορούν τα πλημμυρικά φαινόμενα αποτελούν μια σημαντική βάση πληροφοριών σχετικά με την εκτίμηση της επικινδυνότητας μιας πλημμύρας (Benito et al., 2004; Diakakis et al., 2011; Salvati et al., 2010). Βάσει μελετών, οι εκδηλώσεις των ακραίων καιρικών φαινομένων λαμβάνουν χώρα κυρίως το μήνα Νοέμβριο και τα αστικά περιβάλλοντα τείνουν να παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά υποτροπής πλημμυρών στις ορεινές αλλά και αγροτικές περιοχές (Diakakis et al., 2012). Σε πρόσφατες μελέτες καταγράφεται μια αυξανόμενη τάση εμφάνισης των πλημμυρικών φαινομένων που αναφέρονται σε συγγράμματα των τελευταίων δεκαετιών. Αντιθέτως, ο αριθμός των ανθρώπινων θυμάτων παραμένει σχετικά σταθερός κατά για τη δεδομένη περίοδο των 130 ετών. Με βάση τις μετρήσεις βροχόπτωσης που έχουν καταγραφεί, σχεδιάζονται χωρικά μοτίβα, τα οποία επισημαίνουν περιοχές, οι οποίες παρουσιάζουν αυξημένη τάση υποτροπής σε πλημμυρικά φαινόμενα σε σχέση με την υπόλοιπη χώρα (Diakakis et al., 2012).

Στις 26 Δεκεμβρίου του 1999 η καταιγίδα Lothar πλήττει τρεις χώρες (Γαλλία, νότια Γερμανία και Ελβετία) (Ulbrich et al., 2001), ακολουθούμενη από την καταιγίδα Martin κατά τη διάρκεια της νύχτας μεταξύ 27 και 28 Δεκεμβρίου. Οι υψηλές ταχύτητες και οι έντονες ριπές ανέμων ήταν χαρακτηριστικά και των δύο καταιγίδων, οι οποίες προκάλεσαν μεγάλες ζημιές στα δάση, τα κτίρια και τις υποδομές. Κατά τη διάρκεια της καταιγίδας σκοτώθηκαν 14 πολίτες, οι θάνατοι των οποίων οφείλονταν σε πτώσεις δέντρων και παράσυρσης φερτών υλικών. Μετά την καταιγίδα, έχασαν τη ζωή τους επιπλέον 15 άτομα κατά τη διάρκεια των εργασιών καθαρισμού του δάσους. Η υλοτομία, αποτελεί μια από τις κυριότερες πηγές εσόδων της Ελβετίας και η καταιγίδα προκάλεσε εκτεταμένες ζημιές σε πολλά δάση (Bründl and Rickli, 2002; Ulbrich et al., 2001).



Εικόνα 5 Οι περιοχές που προκλήθηκαν ζημιές ανάλογα την ποσότητα όγκου ξυλείας m³/ha στην Ελβετία. Πηγή (Bründl and Rickli, 2002)

Οι ζημιές που προκλήθηκαν, δεν περιορίστηκαν στις δασικές περιοχές αλλά και σε κτίρια και ακίνητα, όπως τελεφερίκ και ski lift, υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών, σε σκάφη και αεροσκάφη, καταστράφηκαν 80 σιδηροδρομικές γραμμές κ.α. Επίσης επηρεάστηκε το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Οι συνολικές μετρήσιμες ζημιές, συμπεριλαμβανομένων των δασών (περισσότερα από 12 εκατομμύρια m³ ξυλείας υπέστησαν ζημιές) (Bründl and Rickli, 2002), των κτιρίων, των υποδομών κ.λπ. εκτιμάται ότι έφτασαν άνω των 10 δισεκατομμυρίων ευρώ (Etienne and Beniston, 2012). Με βάση τα καταγεγραμμένα στοιχεία από το Meteoswiss, η περίοδος επανεμφάνισης μιας καταιγίδας τύπου Lothar, εκτιμάται μεταξύ 40 και 50 ετών (Ceppi et al., 2008).

Μεταξύ 13 και 16 Οκτωβρίου του 2000, σφοδρά πλημμυρικά φαινόμενα σημειώθηκαν στην περιφέρεια του Piemonte (Ιταλία) λόγω ισχυρών βροχοπτώσεων (Cassardo et al., 2001). Τα πλημμυρικά φαινόμενα έπληξαν πάνω από 80 km² αγροτικών και οικιστικών περιοχών μεταξύ των ποταμών Sesia και Po, στη βόρεια Ιταλία (Fugazza et al., 2008). Οι έντονες βροχοπτώσεις στις βορειοδυτικές ιταλικές Άλπεις προκάλεσαν τεράστιες πλημμύρες και κατολισθήσεις με σημαντικές ζημιές σε σπίτια και υποδομές και πολλές απώλειες ανθρώπινων ζώων (Ratto et al., 2003). Τον ίδιο μήνα, σημειώθηκαν μεγάλες πλημμύρες στο βόρειο τμήμα της Γαλλίας, του Βελγίου και το νότιο τμήμα του Ηνωμένου Βασιλείου, κυρίως σε

κοιλιάδες. Σε πολλές από αυτές τις περιοχές, καταγράφεται απότομη άνοδος της στάθμης των υπόγειων υδάτων, λίγο πριν από τις πλημμύρες. Ένα ακόμα κοινό χαρακτηριστικό ήταν η μεγάλη διάρκεια των πλημμυρών που διήρκεσαν εβδομάδες ή και μήνες (Adams et al., 2008). Τα δυο αυτά ακραία καιρικά φαινόμενα που σημειώθηκαν τον Οκτώβριο 2000, οι πλημμύρες στην Ιταλία και στη Γαλλία στοίχισαν συνολικά 13 δισεκατομμύρια ευρώ (EEA, 2019) βάσει καταγεγραμμένων ζημιών (σε τιμές 2017) σε ακίνητα, γεωργικές καλλιέργειες, οδικές υποδομές, δίκτυα μεταφοράς ρεύματος κ.α. (Adams et al., 2008; Fugazza et al., 2008).

Το συνολικό κόστος από τις άμεσες οικονομικές απώλειες που προκλήθηκαν από εκδηλώσεις ακραίων καιρικών φαινομένων που σχετίζονται με τα καιρικά φαινόμενα και την κλιματική αλλαγή στον EOX-33, πλησιάζουν σε οικονομικά στοιχεία τα 453 δισεκατομμύρια ευρώ έως το 2017. Επιπροσθέτως το συνολικό κόστος απωλειών ξεπερνάει το 1 τρισεκατομμύριο ευρώ με αποτίμηση της αξίας του 2017. Η συνολική απώλεια κατά κεφαλήν εισοδήματος από τα ακραία καιρικά φαινόμενα ξεπέρασε συνολικά τα 811 ευρώ κατ' έτος, ενώ ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο όπου έλαβε χώρα ακραίο καιρικό φαινόμενο, οι άμεσες απώλειες ξεπέρασαν τις 79 χιλιάδες ευρώ κατ' έτος. Επιπροσθέτως, σε καταγεγραμμένα στοιχεία 38 ετών, τα ακραία συμβάντα στοίχισαν τη ζωή σε περισσότερους από 90 χιλιάδες πολίτες. Τα 39 συμβάντα που έπληξαν πιο σφοδρά την Ευρώπη, προκάλεσαν περίπου τις μισές από τις καταγεγραμμένες απώλειες. Η ανθρώπινη ζωή, η πολιτιστική κληρονομιά ή οι υπηρεσίες του οικοσυστήματος δεν αποτελούν μέρος της εκτίμησης, ούτε και μπορούν να αποτιμηθούν με κάποιο οικονομικό μέγεθος (EEA, 2019).

Η μέση άμεση απώλεια ανά χώρα εκτιμάται κοντά στα 14 δισεκατομμύρια ευρώ και η μέση κατά κεφαλήν απώλεια εισοδήματος στα 740 ευρώ. Οι χώρες που είχαν τις μεγαλύτερες άμεσες οικονομικές απώλειες από τις χώρες που ανήκουν στον EOX-33 είναι Γερμανία (96,494 δισεκατομμύρια €), η Ιταλία (64,673 δισεκατομμύρια €) και η Γαλλία (62,059 δισεκατομμύρια €), ενώ τις μικρότερες άμεσες οικονομικές απώλειες καταγράφουν το Λιχτενστάιν (6 εκατομμύρια €), η Μάλτα (63 εκατομμύρια €) και η Ισλανδία (88 εκατομμύρια €). Όσον αφορά τις απώλειες από τα ακραία καιρικά φαινόμενα κατά κεφαλήν, τις μεγαλύτερες τις καταγράφουν η Ελβετία (2.609 €), η Δανία (1.936 €) και η Αυστρία (1.681 €), ενώ στον αντίποδα βρίσκονται η Τουρκία (70 €), η Εσθονία (76 €) και η Λετονία (163 €). Σχετικά με τις απώλειες ανθρώπινων ζωών που καταγράφονται από τον EOX-33, τις μεγαλύτερες καταμετρούν η Γαλλία (23.415), η Ιταλία (20.657) και η Ισπανία (14.611), ενώ τις ελάχιστες το Λιχτενστάιν (κανένας θάνατος), η Φινλανδία (4) και η Μάλτα (7) (EEA, 2019).

Πίνακας 2. Οι οικονομικές επιπτώσεις των ακραίων καιρικών και κλιματικών γεγονότων στις χώρες μέλη του ΕΟΧ (1980-2017)

Πηγή: (ΕΕΑ, 2019)

Χώρα	Ζημίες (Μ€)	Κατά Κεφαλήν Ζημίες (€)	Ζημίες ανά επιφάνεια (€/km ²)	Ασφαλισμένες Ζημίες (Μ€)	Ασφαλισμένες Ζημίες (%)	Θάνατοι
Αυστρία	13.489	1.681	160.818	4.156	31	595
Βέλγιο	4.308	415	141.125	2.531	59	2.168
Βουλγαρία	2.452	302	22.217	129	5	205
Κροατία	3.014	674	53.256	74	2	722
Κύπρος	386	565	41.760	8	2	77
Τσεχία	10.533	1.018	133.551	3.554	34	220
Δανία	10.336	1.936	24.838	6.307	61	42
Εσθονία	108	76	2.387	33	31	9
Φινλανδία	1.959	380	5.789	397	20	4
Γαλλία	62.059	1.026	98.011	30.967	50	23.415
Γερμανία	96.494	1.271	270.008	45.188	47	9.856
Ελλάδα	7.319	693	55.424	1.133	2	2.431
Ουγγαρία	6.035	588	64.881	137	2	703
Ισλανδία	88	312	850	43	50	52
Ιρλανδία	4.014	1.017	57.515	2.059	51	69
Ιταλία	64.673	1.120	214.099	2.918	5	20.657
Λετονία	412	175	6.380	49	12	103
Λιχτενστάιν	6	182	36.212	3	58	0
Λιθουανία	976	288	14.943	7	1	69
Λουξεμβούργο	718	1.627	277.817	424	59	130
Μάλτα	63	163	197.984	26	41	7
Ολλανδία	8.111	517	195.240	3.771	46	1.729
Νορβηγία	3.597	794	11.110	1.977	55	40
Πολωνία	15.057	397	48.155	1.027	7	1.217
Πορτογαλία	6.869	672	74.475	584	9	3.108
Ρουμανία	11.065	508	46.414	60	1	1.310
Σλοβακία	1.669	314	34.045	106	6	112
Σλοβενία	1.690	846	83.368	203	12	241
Ισπανία	37.106	889	73.341	4.508	12	14.611
Σουηδία	4.272	479	9.741	1.165	27	46
Ελβετία	18.805	2.609	455.431	9.621	51	1.460
Τουρκία	4.405	70	5.622	635	14	1.682
Ηνωμένο Βασίλειο	50.504	848	203.208	35.106	70	3.535

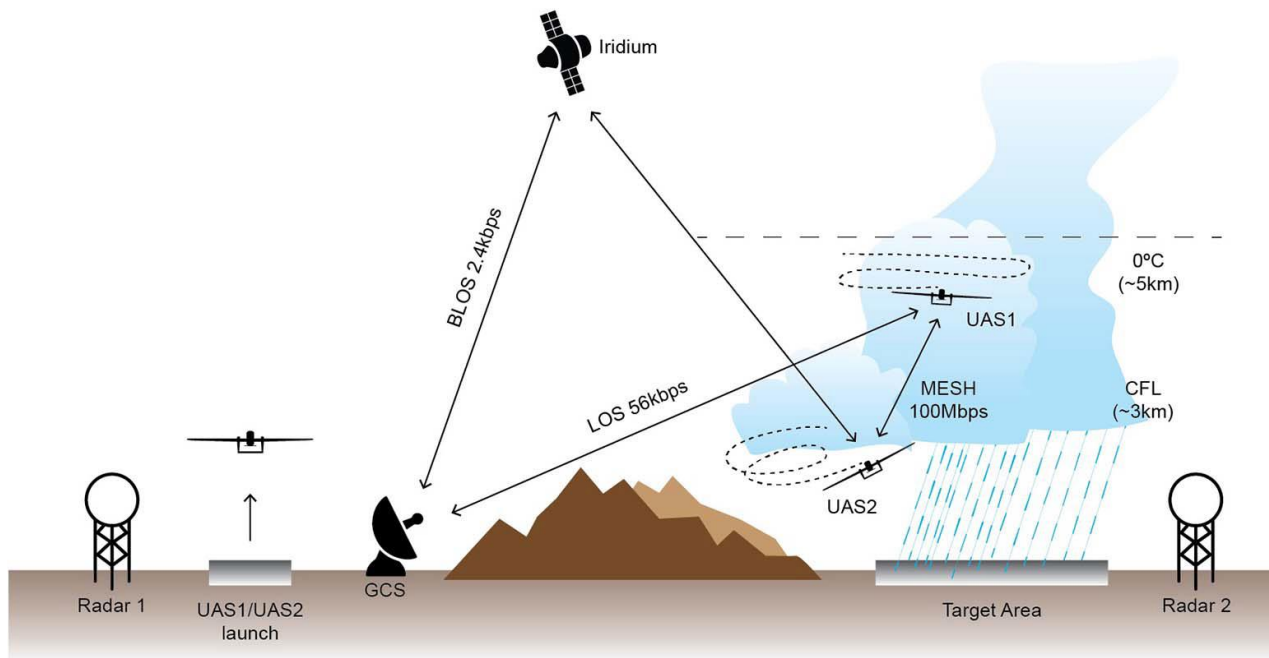
Αναφορικά με την Ελλάδα, καταγράφονται άμεσες οικονομικές απώλειες 7,3 δις € εντός της περιόδου των 38 ετών, με τη μέση απώλεια του κατά κεφαλήν εισοδήματος να υπολογίζεται στα 693 ευρώ ανά πολίτη. Επιπροσθέτως, οι οικονομικές απώλειες για την Ελλάδα ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο υπολογίζονται περίπου στις 55.000 €, ενώ έχασαν την ζωή τους 2.431 πολίτες. Από τα παραπάνω στοιχεία, εξάγεται το συμπέρασμα ότι η νοτιοανατολική Ευρώπη και πιο συγκεκριμένα η Ελλάδα, πλήττεται έντονα από τα ακραία καιρικά φαινόμενα.

1.6 Τροποποίηση καιρικών φαινομένων

Οι μελέτες που ξεκίνησαν από την δεκαετία του 1950 συνεχίστηκαν στις επόμενες δεκαετίες 1970 και 1980 και παρόλο που παρείχαν απaráμιλλης αξίας ερευνητικά και πειραματικά αποτελέσματα σχετικά με την κατανόηση της φυσικής των νεφών, απέτυχαν στον τελικό τους στόχο, δηλαδή να προκαλέσουν τεχνητή βροχόπτωση. Στην πραγματικότητα, οι βελτιώσεις στην κατακρήμνιση που αποδίδονται αναμφίβολα στη σπορά νεφών ήταν σχεδόν αδύνατες να εφαρμοστούν πειραματικά (Garstang et al., 2003; Reynolds, 2015). Οι σημερινές τεχνολογίες τροποποίησης του καιρού βασίζονται σε επιστημονική έρευνα, η οποία εξελικτικά ξεκίνησε από την δεκαετία του 1950 και κορυφώθηκε από τα τέλη της δεκαετίας του 1990, στις αρχές της δεκαετίας του 2000 (DeFelice and Axisa, 2017). Οι τεχνολογικές εξελίξεις που σχετίζονται άμεσα με την τροποποίηση του καιρού ήταν κατά κύριο λόγο στην υποστήριξη αποφάσεων και την αξιολόγηση βάσει λογισμικού και μοντέλων. Ωστόσο, υπήρξαν κάποιες τεχνολογικές εξελίξεις σε άλλα πεδία που θα μπορούσαν τώρα να προχωρήσουν αρκετά ώστε να αρχίσουν να εξετάζουν τη χρησιμότητά τους για τη βελτίωση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας και της ακρίβειας της τροποποίησης του καιρού. Τα ΣμηΕΑ στην τροποποίηση καιρού

Τα τελευταία χρόνια, λόγω του χαμηλού κόστους όλο και μεγαλύτερο πλήθος ΣμηΕΑ μικρού και μεσαίου μεγέθους (μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα), χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς, όπως επιθεώρηση μεγάλων υποδομών, επιτήρηση, περιβαλλοντική παρακολούθηση, γεωργία ακριβείας, επιχειρήσεις διάσωσης, ειδήσεις και μεταφορά φορτίων σε όλο και μεγαλύτερη κλίμακα (Bandala et al., 2019; Holton et al., 2015; Kang et al., 2017; Laliberte, 2009; Norouzi Ghazbi et al., 2016; Pajares, 2015). Πλέον διατίθενται μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα τόσο σε ηλεκτρονικά καταστήματα όσο και σε φυσικά καταστήματα, ικανά να ικανοποιήσουν τις ανάγκες των επαγγελματιών, των επιστημόνων και των αρχών, καθώς και των ερασιτεχνών. Είναι σαφές ότι οι τεχνικές προδιαγραφές των ΣμηΕΑ διαφέρουν ανάλογα με τους σκοπούς που προορίζονται προς χρήση. Για παράδειγμα, οι φωτογράφοι και οι δημιουργοί βίντεο έχουν την ανάγκη να τραβήξουν αεροφωτογραφίες υψηλής ευκρίνειας με την υψηλότερη δυνατή σταθερότητα και πολύ περιορισμένες δονήσεις. Μια άλλη πτυχή, που πρέπει να ληφθεί υπόψη, σχετίζεται με κατασκευαστές που θέλουν να κατασκευάσουν τα δικά τους αεροδυναμικά μοντέλα αγοράζοντας και

συνδυάζοντας διαφορετικά εξαρτήματα του ΣμηΕΑ με σκοπό να επιτύχουν την υψηλότερη απόδοση με τις χαμηλότερες καταναλώσεις ισχύος και την μέγιστη αυτονομία σε χρόνο πτήσης (Adamo et al., 2017). Όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα για την πτήση του ΣμηΕΑ απαιτείται πολλαπλή πληροφόρηση από δορυφόρους, ραντάρ κ.α. Επιπροσθέτως για την εφαρμογή της σποράς του νέφους απαιτείται καλή γνώση της περιοχής αλλά και πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο από τους αισθητήρες του ΣμηΕΑ. Συνεπώς, βάσει πληροφοριών που συλλέγονται στο κέντρο ελέγχου του ΣμηΕΑ και αξιοποιώντας τις τεχνολογίες BI (Business Intelligence), λαμβάνονται τόσο οι αποφάσεις για πτήση του ΣμηΕΑ όσο και για την πιθανή μετακίνηση ή όχι του ραντάρ με σκοπό της ορθότερη κάλυψη της περιοχής, όπως αναφέρεται και παρακάτω στην παρούσα εργασία.



Εικόνα 6 Απεικόνιση τεχνολογιών για την τροποποίηση καιρού. Πηγή: (DeFelice and Axisa, 2017)

1.7 Σκοπός της εργασίας

Οι εκδηλώσεις των ακραίων καιρικών φαινομένων λαμβάνουν χώρα στην ευρωπαϊκή ήπειρο και ιδιαίτερα στις χώρες της μεσογειακής λεκάνης ολόένα και συχνότερα. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα προκαλούν καταστροφές σε δημόσιες υποδομές, ιδιωτικές περιουσίες (οικονομικές ζημιές) καθώς επίσης στοιχίζουν σε ανθρώπινες ζωές. Παρατηρώντας τα δεδομένα, θέλουμε να εξετάσουμε την εφαρμογή συγκεκριμένων υλικών σποράς νεφών με σκοπό την τροποποίηση των καιρικών συνθηκών σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Παρακάτω αναλύονται τόσο οι μέθοδοι σποράς των νεφών όσο και τα υλικά που

χρησιμοποιούνται. Επιπροσθέτως, αναλύεται ως μελέτη περίπτωσης η περιοχή των Χανίων σχετικά με τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η ανάπτυξη των επιμέρους τμημάτων του ΣμηΕΑ, αναφέρονται οι μέθοδοι καθώς και τα υλικά για την σπορά των νεφών. Τέλος, αναλύονται βάσει οικονομικών δεδομένων η συγκριτική απεικόνιση μεταξύ των οικονομικών καταστροφών από τα ακραία καιρικά φαινόμενα για τη δεδομένη γεωγραφική περιοχή σε σχέση με το κόστος ανάπτυξης-εγκατάστασης του συστήματος για τον πρώτο χρόνο αλλά και συντήρησης για τα επόμενα χρόνια.

2 Τεχνολογίες τροποποίησης καιρικών φαινομένων

Το νερό είναι ένας πολύτιμος πόρος που επηρεάζει σχεδόν όλες τις πτυχές της ζωής στη γη και οι ποσότητες του είναι πεπερασμένες. Ο άνθρωπος, στην προσπάθειά του να διασφαλίσει ότι η προσφορά θα είναι μεγαλύτερη από την ζήτηση έχει καταφύγει σε πολλές μεθόδους (French and Tessendorf, 2018; Xue et al., 2013) και τεχνικές είτε για την αφαλάτωση του θαλάσσιου νερού (Kumar and Suzuki, 2019; Redondo, 2020), είτε για την στοχευμένη αποταμίευση υδάτων σε ταμιευτήρες (π.χ. φράγματα σε ποτάμια, ταμιευτήρες κ.α.). Σε περιοχές του πλανήτη που χαρακτηρίζονται ως άνυδρες ή ημι-άνυδρες, χρησιμοποιούνται οι τεχνικές με σκοπό να εμπλουτιστεί η περιοχή με νερό (French and Tessendorf, 2018; Tessendorf et al., 2019).

Η σπορά των νεφών είναι ένα σύγχρονο εργαλείο τροποποίηση των καιρικών συνθηκών και συχνά γίνεται με αεροσκάφη ή ΣμηΕΑ που πετούν πριν ή και κατά την διάρκεια επικίνδυνων καταιγίδων (Zolfagharifard, 2016). Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα πειράματα που έλαβαν χώρα στην Μπουρκίνα Φάσο και στη Σαουδική Αραβία. Ένα διαφορετικό παράδειγμα χρήσης της τεχνολογίας «σποράς νεφών» λαμβάνει χώρα στην Νότιο Κορέα, με σκοπό τον περιορισμό της μόλυνσης του αέρα μέσω της πρόκλησης τεχνητής βροχόπτωσης (Lai, 2019; Nield, 2019). Η σπορά των νεφών παρέχει την δυνατότητα συλλογής νερού σε μια συγκεκριμένη περιοχή, πολύ καλής ποιότητας σε οργανικά στοιχεία. Σε περιοχές όπως στην Μπουρκίνα Φάσο ή στη Σαουδική Αραβία που οι ανάγκες παροχής ύδατος τόσο για ύδρευση όσο και για άρδευση είναι αυξημένες, χρησιμοποιούνται τεχνολογίες αφαλάτωσης, οι οποίες παρέχουν χαμηλότερης ποιότητας σε οργανικά στοιχεία νερό (Rauber et al., 2019).

Η Μπουρκίνα Φάσο άρχισε να χρησιμοποιεί ελαφριά αεροσκάφη για να προκαλέσει συμπύκνωση των νεφών από το 1998 και τα θετικά αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποίησε, λειτούργησαν καταλυτικά στο να πειστούν οι αρχηγοί των κρατών της CILSS, ώστε να αναζητήσουν τρόπους χρήσης αυτής της τεχνολογίας για να αυξήσουν τις βροχοπτώσεις σε ολόκληρη την περιοχή όταν συναντήθηκαν στην πρωτεύουσα Μαυριτανίας Νουακτσότ τον Ιανουάριο του 2004. Η κυβέρνηση της Μπουρκίνα Φάσο εκτιμά ότι τα κέρδη από τη γεωργία αυξήθηκαν από 10 έως 15% από τότε που ξεκίνησε το πρόγραμμα cloud view πριν από οκτώ χρόνια που αφορούσε την συμπύκνωση των νεφών. Οι πρόσθετες βροχοπτώσεις που δημιουργήθηκαν βοήθησαν στην πλήρωση δεξαμενών, επιτρέποντας την άρδευση της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της ξηρασίας σε πολλές περιοχές που στο παρελθόν ήταν σε θέση να καλλιεργήσουν μόνο μια καλλιέργεια ετησίως κατά τη διάρκεια της περιόδου βροχών (Humanitarian, 2004), αλλά και να αυξήσουν τις αποδόσεις των υφιστάμενων καλλιεργειών μέσω της χρήσης πλεονάζοντος νερού (Bangsund and Hodur, 2019). Η παραγωγή επομένως αυξήθηκε και οι εισαγωγές, ιδίως των σιτηρών, μειώθηκαν. Σε

ορισμένα μέρη της Μπουρκίνα Φάσο, νωπές ντομάτες είναι τώρα διαθέσιμες όλο το χρόνο, ως αποτέλεσμα της τεχνητής βροχής (“The New Humanitarian | Cloud seeding could be expanded across the Sahel” 2004).

Το Βασίλειο της Σαουδικής Αραβίας, ένα από τα πιο άνυδρα μέρη σε ολόκληρο τον πλανήτη, επιδιώκει να αυξήσει τις βροχοπτώσεις στην επικράτειά του, χάρη στην τεχνολογική καινοτομία και το σχεδιασμό που βασίζεται στη «σπορά σύννεφων». Αυτή η τεχνική έχει μελετηθεί από την κυβέρνηση μετά την εφαρμογή της σε διάφορα μέρη του κόσμου και μετά την εφαρμογή της σε περιοχές της Σαουδικής Αραβίας. Ο στόχος εφαρμογής της συγκεκριμένης τεχνικής ήταν η αύξηση των βροχοπτώσεων κατά 20% σε συγκεκριμένες περιοχές της χώρας. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Υδάτων και Γεωργίας του Βασιλείου, έχει αναπτύξει αυτή τη στρατηγική για να βελτιώσει τις ποσότητες βροχοπτώσεων στη χώρα και να βελτιώσει την κατανομή των υδάτων (Rauber et al., 2019). Ένα σχέδιο έχει ήδη εγκριθεί από τις αρχές του βασιλείου της Σαουδικής Αραβίας αφού μια υπουργική ομάδα μελέτησε την εφαρμογή αυτής της πρακτικής σε άλλες χώρες. Η Σαουδική Αραβία είναι μία από τις πιο έρημες χώρες στον κόσμο και καταγράφει μια πολύ μεγάλη έλλειψη του πολύτιμου υγρού στοιχείου. Η έλλειψη υδάτινων πόρων υπήρξε σταθερή στο Βασίλειο κατά τα προηγούμενα έτη, ενώ η προσδοκία είναι η σπορά των νεφών να θέσει τέρμα σε αυτό το μείζον ζήτημα που απασχολεί τη χώρα εδώ και αιώνες (Redondo, 2020). Αποτελεί επίσης μια λύση σχετικά με την επιδείνωση του φαινομένου της ξηρασίας που παρουσιάζεται στη χώρα τα τελευταία έτη, καθώς η εκθετική αύξηση τόσο του πληθυσμού, όσο και η ανάπτυξη διαφόρων βιομηχανικών και οικονομικών τομέων τα τελευταία χρόνια αύξησε τη ζήτηση των ποσοτήτων από τους υδάτινους πόρους που απαιτούνται, η ζήτηση των οποίων είναι τώρα σχεδόν 24.000 Mm³ ετησίως (Rauber et al., 2019; Redondo, 2020).

Τα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, μέσω του Εθνικού Κέντρου Μετεωρολογίας χρησιμοποιούν επίγειες γεννήτριες σποράς νεφών, με σκοπό την πρόκληση τεχνητών βροχοπτώσεων από τον Μάρτιο του 2019. Η νέα αυτή μέθοδος χρησιμοποιεί φιλικές ουσίες προς το περιβάλλον και εναλλακτικές τεχνικές, συμπληρώνοντας την παραδοσιακή μέθοδο σποράς νεφών, η οποία πραγματοποιείται μέσω ειδικών αεροσκαφών που φέρουν φωτοβολίδες ή γεννήτριες με σκοπό την παραγωγή πυρήνων συμπύκνωσης. Το κέντρο, μέσα από πειραματικές εφαρμογές προσπαθεί να εξασφαλίσει την επάρκεια των αναγκαίων ποσοτήτων των υδάτων της χώρας και έχει πραγματοποιήσει περισσότερες από 150 επιχειρήσεις με αεροσκάφη σποράς νεφών το 2019 (Writer, 2019), ενώ το 2020 έχουν πραγματοποιηθεί περισσότερες από 200 (National, 2020). Ο επικεφαλής του τμήματος για την σπορά των νεφών του κέντρου, Khalid Alobeidli έχει δηλώσει ότι η πειραματική εφαρμογή των επίγειων γεννητριών σποράς κατά την σπορά νεφών είναι νέα τεχνολογία για τη χώρα. Οι συγκεκριμένες γεννήτριες είναι εξοπλισμένες με 48 ειδικές φωτοβολίδες που περιέχουν κρυστάλλους αλατιού και εκτοξεύονται προς θερμά ρεύματα αέρα, καθώς λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας, τα συγκεκριμένα ρεύματα μεταφέρουν τους πυρήνες συμπύκνωσης προς τα νέφη.

Το αποτέλεσμα είναι οι πυρήνες να ανέρχονται σε μεγάλο υψόμετρο όπου προσελκύουν τα σταγονίδια της υγρασίας και επιταχύνουν τη διαδικασία της συμπύκνωσης, με αποτέλεσμα την πρόκληση βροχόπτωσης ή χιονόπτωσης ανάλογα την θερμοκρασία του νέφους (Nield, 2019). Το κέντρο μελετάει τα αποτελέσματα της τεχνικής με σκοπό την εξαγωγή συγκεκριμένων συμπερασμάτων. Ένα από τα συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί από την πειραματική εφαρμογή είναι η βελτίωση του ύψους των τεχνητών βροχοπτώσεων έναντι των φυσικών που ξεπερνάει το 25 τοις εκατό σε ορισμένες περιπτώσεις. Τα ΗΑΕ, έχοντας επενδύσει τόσο σε νέες τεχνολογίες αλλά και ενισχύοντας μέσα από το ερευνητικό πρόγραμμα τους νέες γνώσεις είναι σε θέση να πρωτοπορήσουν και να αναπτύξουν νέες τεχνολογίες. Μέσω των νέων τεχνολογιών και των καινοτομιών, τα ΗΑΕ στοχεύουν να βελτιώσουν τη διαβίωση των ανθρώπων σε τις συγκεκριμένες περιοχές, όπου λόγω της αύξησης των βροχοπτώσεων θα αυξηθούν τα υδατικά αποθέματα. Το πρόγραμμα θα συνεχίσει να ερευνά νέες καινοτόμες λύσεις που συμβάλλουν στην ενίσχυση της ασφάλειας των υδάτων μέσω της εκτεταμένης ερευνητικής ατζέντας του, που βασίζεται σε έργα που χρηματοδοτούνται μέσα από συνεργασίες με διεθνή ιδρύματα και από πρακτικές εφαρμογές σύγχρονων επιστημονικών και τεχνολογικών καινοτομιών (Hazem et al., 2019).

Το Εθνικό Ινστιτούτο Μετεωρολογικών Επιστημών της Κορέας, έχει πραγματοποιήσει περισσότερες από 54 πειραματικές εφαρμογές σποράς νεφών με ιωδιούχο άργυρο (AgI) και χλωριούχο ασβέστιο χρησιμοποιώντας αεροσκάφη από το 2008 έως το 2018. Ο στόχος των πειραμάτων που πραγματοποιούνται, είναι η βελτίωση των τεχνικών πρόκλησης τεχνητού νετού στην Κορέα. Τα πειράματα σποράς νέφους με χρήση ιωδιούχου αργύρου ήταν 36, ενώ με τη χρήση του χλωριούχου ασβεστίου ήταν 18 μεταξύ 2008 και 2018 (Cha et al., 2019). Τα τελευταία έτη, αντιμετωπίζει η Κορέα ένα μείζον πρόβλημα αναφορικά με την ατμοσφαιρική ρύπανση με επίκεντρο την πόλη της Σεούλ, την πρωτεύουσα της Νότιας Κορέας. Οι κυβερνητικές αρχές λαμβάνουν δραστικά μέτρα για να προσπαθήσουν να αντιμετωπίσουν την αιθαλομίχλη που εγκαθίσταται στην πόλη (Bicker, 2019). Το σχέδιο του Προέδρου Moon Jae-in είναι να δημιουργήσει τεχνητές βροχοπτώσεις με σκοπό να καθαρίζεται η ατμόσφαιρα από την ρύπανση. Είναι μια στρατηγική που έχουμε δει ξανά στο παρελθόν να εφαρμόζεται, αλλά δεν υπάρχουν ισχυρές αποδείξεις αναφορικά με την αποτελεσματικότητά της. Τα αεροπλάνα θα απελευθερώνουν χημικές ουσίες (πυρήνες συμπύκνωσης νεφών) με σκοπό την επίσπευση της διαδικασίας προσρόφησης των μορίων της υγρασίας από τους πυρήνες. Η βροχή που δημιουργείται στη συνέχεια προσελκύει και τραβάει μολυσμένα σωματίδια αερολύματος από τον ουρανό καθώς κατακρημνίζονται. Τον Ιανουάριο του 2019 η Κορέα προχώρησε σε πειραματική εφαρμογή για τον καθαρισμό του ατμοσφαιρικού αέρα με την σπορά των νεφών αλλά η εφαρμογή απέτυχε. Στις επόμενες πειραματικές εφαρμογές αποδείχτηκε ότι η βροχή μπορεί να καθαρίσει τον αέρα από τα ρυπογόνα σωματίδια, αλλά δεν έχει αποσαφηνιστεί σε ποιο βαθμό και πόσο αποτελεσματική μπορεί να

είναι, κάτι το οποίο ακόμα διερευνάται. Όποια και αν είναι η αποτελεσματικότητα ή όχι της χρήσης τεχνητής βροχής για την απομάκρυνση της ρύπανσης, αυτό που είναι σαφές είναι ότι πρέπει να ληφθούν μέτρα και γρήγορα (Niield, 2019). Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία του ΠΟΥ (Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας) που κυκλοφόρησαν πέρυσι, το 93% των παιδιών παγκοσμίως κάτω των 15 ετών αναπνέουν μολυσμένο αέρα (*More than 90% of the world's children breathe toxic air every day*, 2018).

Μια τέτοια τεχνική είναι η σπορά των νεφών, όπου με την διασπορά σωματιδίων στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας προκαλείτε επιτάχυνση μιας διαδικασίας συμπύκνωσης με σκοπό την πρόκληση βροχόπτωσης ή χιονόπτωσης (Abshaen et al., 2020). Η σπορά των νεφών εφαρμόστηκε για πρώτη φορά από τους επιστήμονες Schaefer (1946) (Britannica, 2020; Xue et al., 2013) και έπειτα από τον Bernard Vonnegut (1947) (French and Tessendorf, 2018; Humanitarian, 2004; Xue et al., 2013). Το 1946 πραγματοποιήθηκε η πρώτη συστηματική σειρά πειραμάτων για τη διερεύνηση της φυσικής της καθίζησης. Από ένα αεροσκάφος πάνω από τη Μασαχουσέτη, απελευθερώθηκαν σφαιρίδια ξηρού πάγου (στερεό διοξείδιο του άνθρακα) και προκλήθηκε χιονόπτωση, ξεκινώντας την επιστήμη της πειραματικής μετεωρολογίας και της τροποποίησης του καιρού. Αργότερα, μελέτες απέδειξαν ότι όταν υπήρχαν επαρκείς αριθμοί σωματιδίων πάγου στα σύννεφα, τότε δεν προσκολλόνταν ο πάγος στην άτρακτο των αεροσκαφών λόγω των επικίνδυνων συνθηκών υπέρψυξης του νερού. Χρησιμοποιώντας ξηρό πάγο, ο Schaefer ανακάλυψε τυχαία πώς να παράγει αυτήν την κατάσταση τεχνητά (Britannica, 2020). Το 1947 στο εργαστήριο του, ο Vonnegut απέδειξε ότι το ιώδιο του αργύρου ήταν ένας αποτελεσματικός πυρήνας που θα μπορούσε να σχηματιστεί πάγος περιμετρικά του πυρήνα, σε θερμοκρασίες πολύ υψηλότερες από τους πυρήνες πάγου που απαντώνται στη φύση (French and Tessendorf, 2018; Humanitarian, 2004). Στις μέρες μας, πολλά κράτη, ιδιωτικές εταιρείες, οργανισμοί κ.α. προσπαθούν να αυξήσουν τις χιονοπτώσεις σε συγκεκριμένες περιοχές βουνών, όπου επιχειρηματικά έχουν δημιουργηθεί εγκαταστάσεις με σκοπό την προσέλκυση τουριστών, μέσω του ελέγχου του ύψους χιονόπτωσης (French and Tessendorf, 2018).



Εικόνα 7 Μια επίγεια γεννήτρια συμπύκνωσης νεφών που λειτουργεί από το Ινστιτούτο Desert Research σε γη που ανήκει στο Denver Water, βόρεια του Winter Park Resort με σκοπό την ενίσχυση της χιονόπτωσης. Πηγή: (Quinton, 2018)

Αρκετές πειραματικές εφαρμογές, απέδειξαν ότι όταν οι συνθήκες είναι κατάλληλες, η σπορά νεφών μπορεί να αυξήσει τα κατακρημνίσματα από 5 έως 15% (Adams, 2018), ενώ άλλες προσδιορίζουν την αύξηση τους μεταξύ 10 και 15% (Zaatari, 2019). Οι αυξημένες χιονοπτώσεις που τεχνικά θα προκληθούν σε συγκεκριμένες περιοχές θα σωρευθούν μεγαλύτερες ποσότητες χιονιού από ότι θα συγκεντρώνονταν και κατά συνέπεια, την άνοιξη με την τήξη του χιονιού θα προκληθούν μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες ποσότητες απορροής. Εφόσον δεν έχουν γίνει μελέτες ομαλής διοχέτευσης των πλεοναζόντων υδάτων, πιθανά θα προκληθούν καταστροφές σε γεωργικές καλλιέργειες και υποδομές από πλημμυρικά φαινόμενα.

2.1 Μέθοδοι σποράς νεφών

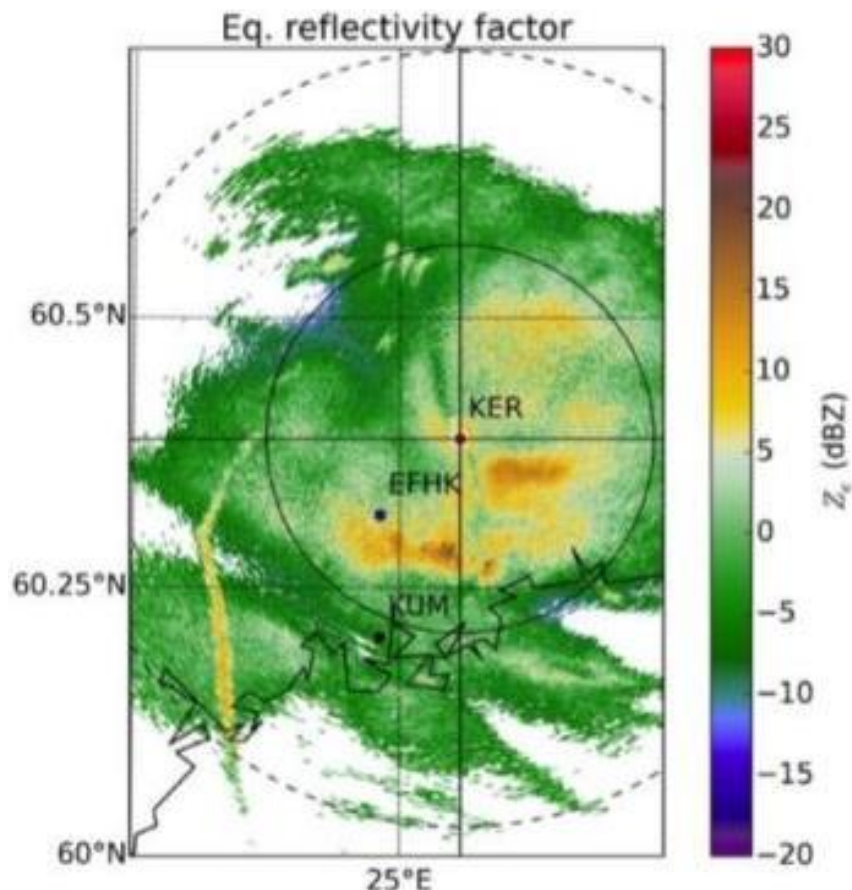
Η σπορά των νεφών χρησιμοποιείται ως τεχνική, σε περισσότερες από 50 χώρες ανά τον κόσμο. Η τεχνική παρέχει την δυνατότητα, εκτός από συμπύκνωση των νεφών με σκοπό την πρόκληση βροχόπτωσης ή χιονόπτωσης, να «διαλύει» την ομίχλη (π.χ. αεροδρόμια), να αυξάνει την συχνότητα αλλά και το ύψος βροχόπτωσης κατά τους θερινούς μήνες και να μειώνει τις ζημιές από τις χαλαζοπτώσεις. Ωστόσο, παρά τις συγκεκριμένες δραστηριότητες, δεν γνωρίζουμε ακόμα το ποσοστό της αποτελεσματικότητας της. Πρόσφατη μελέτη απέδειξε ότι τουλάχιστον υπό ορισμένες συνθήκες, είναι δυνατόν να οδηγήσει σε πρόκληση χιονοπτώσεων που διαφορετικά δεν θα είχαν συμβεί, αλλάζοντας μέσω των τεχνικών την πορεία της συμπύκνωσης των νεφών. Το επόμενο ερώτημα είναι εάν η σπορά σύννεφων μπορεί να είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τους διαχειριστές νερού (French and Tessendorf, 2018).

Τα σύννεφα αποτελούνται από μικροσταγονίδια νερού που είναι πολύ μικρά για να κατακρημνιστούν λόγω του μικρού όγκου τους, μέσω της βαρύτητας. Αυτά τα μικροσταγονίδια συχνά υπερψύχονται σε θερμοκρασίες πολύ κάτω από το σημείο πήξης ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ή και χαμηλότερες). Σε πολλές περιπτώσεις, κρύσταλλοι πάγου πρέπει να βρίσκονται σε ικανοποιητικές ποσότητες και αναλογίες σε ένα σύννεφο για να προκληθεί η συμπύκνωση, σε αντίθετη περίπτωση πολλά από τα σταγονίδια νερού που συνθέτουν το σύννεφο απλώς εξατμίζονται. Η σπορά των νεφών κατά τους χειμερινούς μήνες, βασίζεται σε μια υπόθεση ότι όταν υπάρχει υπερψυγμένο νερό (μικροσταγονίδια) σε ένα σύννεφο, μπορεί να τροποποιηθεί η κατάσταση του, εισάγοντας σωματίδια που δρουν ως τεχνητοί πυρήνες πάγου (French and Tessendorf, 2018; Humanitarian, 2004). Αυτή η διαδικασία δημιουργεί κρυστάλλους πάγου που θα χρησιμοποιήσουν το υπερψυγμένο νερό για να μεγαλώνουν αρκετά σε όγκο και να πέσουν λόγω της βαρύτητας ως χιόνι (French and Tessendorf, 2018).

Τα αεροσκάφη συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές CO_2 . Μια νέα μελέτη διαπίστωσε ότι τα καυσαέρια που εκλύονται από τα αεροπλάνα θα μπορούσαν να αυξήσουν τις βροχοπτώσεις και τις χιονοπτώσεις έως και 10 φορές περισσότερο. Η μελέτη ξεκίνησε από τον ερευνητή του Πανεπιστημίου του Ελσίνκι Dimitri Moisseev, ο οποίος παρατήρησε κάτι περίεργο στα καταγεγραμμένα δεδομένα των ραντάρ. Πολύ στενές, ευθείες γραμμές στα σύννεφα φάνηκαν να παράγουν βροχή ή χιόνι με μεγαλύτερες σε μέγεθος και βάρος σταγόνες από ότι στις περιοχές παραπλεύρως. Συνδυάζοντας τα καταγεγραμμένα δεδομένα πτήσεων των αεροσκαφών σχετικά με τις ευθείες γραμμές στα σύννεφα αλλά και χωρομετρικά στην γύρω περιοχή, συμπέρανε ότι η διαφοροποίηση προκαλούνταν από την κίνηση των αεροσκαφών του αεροδρομίου Ελσίνκι-Βάνταα. Για να επιβεβαιωθούν τα στοιχεία, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των ραντάρ και οι καταγραφές των 11 ετών αναφορικά με το χρονικό διάστημα που μελετήθηκαν τα στοιχεία (2008-2018). Αποδεικνύεται ότι μεταξύ των συγκεκριμένων ετών, υπήρξαν συνολικά 18 ημέρες στις οποίες εμφανίστηκαν οι ευθείες γραμμές που προκαλούσαν την βροχόπτωση ή την χιονόπτωση με μεγαλύτερο μέγεθος και βάρος (Irving, 2016).

Πρόσφατα πραγματοποιήθηκαν δύο πειραματικές εφαρμογές σποράς νεφών, στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα χημείας αναφορικά με το μετασχηματισμό των μορίων της υγρασίας σε χιόνι με σκοπό την ενημέρωση στατιστικών μοντέλων και για την παραμετροποίηση των καιρικών συνθηκών (SNOWIE και WWMP) (Pokharel et al., 2018; Rauber et al., 2019). Τα στατιστικά μοντέλα, χρησιμοποιούνται για να προβλεφθούν τυχόν επιπτώσεις που θα προκληθούν από ένα καιρικό φαινόμενο, καθώς επίσης και σε ποια σημεία του νέφους θα πρέπει να γίνει απελευθέρωση των πυρήνων συμπύκνωσης με σκοπό να προκληθεί βροχόπτωση ή χιονόπτωση (Funk and Stütz, 2018). Η δραστηριότητα του AgI είναι δεδομένη και τεκμηριωμένη με μια σειρά πειραματικών εφαρμογών (Rauber et al., 2019), παρόλα αυτά

παραμένουν σημαντικά στοιχεία μη επιβεβαιωμένα όσον αφορά τα στατιστικά μοντέλα σχετικά με τον τρόπο συμπύκνωσης των νεφών (Rasmussen et al., 2018).



Εικόνα 8 Σε αυτή την απεικόνιση ραντάρ, μια κορδέλα ισχυρότερης βροχόπτωσης εμφανίζεται σαν κίτρινη γραμμή στα αριστερά της εικόνας ακολουθώντας την πορεία πτήσης ενός αεροπλάνου καθώς προσεγγίζει το αεροδρόμιο του Ελσίνκι. Πηγή: (Irving, 2016)

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι συμπύκνωσης νεφών που αναφέρονται στη βιβλιογραφία και ιδιαίτερα σε σύγχρονα συγγράμματα (Shukla et al., 2020). Οι σημερινές τεχνολογίες τροποποίησης του καιρού βασίζονται σε επιστημονική βάση τεχνολογιών που αναπτύχθηκε από τα τέλη της δεκαετίας του 1990 έως τις αρχές της δεκαετίας του 2000. Η τεχνολογική πρόοδος σχετίζεται άμεσα με την τροποποίηση του καιρού, καθώς βασίζεται κατά κύριο λόγο στην υποστήριξη, στη λήψη αποφάσεων και αξιολόγησης βάσει λογισμικών και μοντέλων πρόβλεψης (DeFelice and Axisa, 2017). Το χρονικό διάστημα για τη σπορά σύννεφων και την αύξηση των βροχοπτώσεων, μέσω της επαγωγής τεχνητής βροχόπτωσης βάσει της βιβλιογραφίας, είναι το τέλος της χειμερινής περιόδου μεταξύ Μαρτίου και Απριλίου, όπου οι πιθανότητες σποράς νέφους κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι καλύτερες από ό, τι κατά τη διάρκεια του χειμώνα, επειδή τα καλοκαιρινά σύννεφα έχουν μεγαλύτερο μέγεθος λεπτών σωματιδίων (400-1000 σε cm^3) και

υψηλότερη περιεκτικότητα σε υγρασία (0,4-1,2 gm / cm³) (Rauber et al., 2019). Οι σταγόνες βροχής είναι μεγαλύτερες το καλοκαίρι από το χειμώνα και το περιεχόμενο υγρασίας στο νέφος μπορεί να φτάσει το 100% σε ορισμένες περιοχές. Παρακάτω παρουσιάζονται όλες οι σύγχρονες τεχνολογίες διασποράς μικροσωματιδίων με σκοπό την επιτάχυνση της διαδικασίας συμπύκνωσης των νεφών.

2.2 Σπορά νέφους με την χρήση αεροπλάνου

Τα αεροπλάνα λόγω της δυνατότητας τους να ανέλθουν σε μεγάλα ύψη αλλά και της ακρίβειας των ραντάρ που φέρουν, χρησιμοποιούνται αρκετά χρονιά στην τροποποίηση καιρού. Οι φωτοβολίδες τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις στα πίσω πτερύγια του αεροπλάνου και κατά την ανύψωση του αεροπλάνου αναφλέγονται με σκοπό την απελευθέρωση μικρών σωματιδίων αλατιού, τα οποία θα αποτελέσουν τους πυρήνες για τη συμπύκνωση των νεφών σε σταγόνες βροχής ή πάγου με σκοπό την τροποποίηση του καιρού που στοχεύει στην αύξηση της βροχόπτωσης μεταβάλλοντας τη σύνθεση των νεφών (Humanitarian, 2004; Rauber et al., 2019; Shukla et al., 2020; “Use Cases for Weather Modification - Cloud Seeding Technologies,” 2020). Αυτή η μέθοδος ξεπερνά τα περισσότερα από τα προβλήματα και τις δυσκολίες που αντιμετωπίζονται κατά τον χειρισμό και τη χρήση υγροσκοπικών υλικών, δυσκολίες που έκαναν τη σπορά με πυρήνες πάγου (AgI) μια πιο ελκυστική επιλογή (Alsharhan and Rizk, 2020; Bruintjes, 1999). Οι φωτοβολίδες είτε είναι εγκατεστημένες για αναφλέξη σε συγκεκριμένη χωρική έκταση (BIP – Burn In Place), με αποτέλεσμα μια συνεχή γραμμή από AgI κατά μήκος της πτήσης (Paper et al., 2011), είτε εκτοξευόμενη (EJ - Ejectable), όπου απελευθερώνεται ανα συγκεκριμένη απόσταση από το αεροσκάφος δημιουργώντας μία νοητή ευθεία γραμμή περίπου 800 μέτρα χαμηλότερα από το αεροσκάφος (French et al., 2018; Quinton, 2018). Οι φωτοβολίδες για την σπορά των νεφών, διαφέρουν μεταξύ δυο διαφορετικών τεχνολογιών, ανάλογα με τον τρόπο απελευθέρωσης των πυρήνων συμπύκνωσης.

Οι γεννήτριες σποράς νεφών που είναι τοποθετημένες στα πτερύγια του αεροσκάφους, εκπέμπουν σωματίδια ιωδιούχου αργύρου και κυρίως χρησιμοποιούνται σε καλοκαιρινά προγράμματα σποράς νεφών και σε μερικά χειμερινά (American and Consultants, 2016). Λειτουργούν είτε ακριβώς κάτω από το νέφος στον άξονα, είτε στο νέφος συνήθως κατά τη χειμερινή περίοδο σε ευνοϊκές συνθήκες (Roach, 2020).



Εικόνα 9 Τεχνολογία εκτοξευόμενης φωτοβολίδας (Ejectable Flares) εγκατεστημένη σε περὶγιο αεροσκάφους. Πηγή: (Iceflares, 2020)



Εικόνα 10 Τεχνολογία ανάφλεξης της φωτοβολίδας σε συγκεκριμένη χωρική έκταση (Burn In Place Flares) εγκατεστημένη σε περὶγιο αεροσκάφους. Πηγή (Iceflares, 2021)



Εικόνα 11 Γεννήτρια σποράς νεφών εγκατεστημένη σε περὶμο αεροσκάφους. Πηγή: (NAWMC, 2021)



Εικόνα 12 Γεννήτρια σποράς νεφών εγκατεστημένη σε περὶμο αεροσκάφους κατά την διαδικασία σποράς νεφών, για το πρόγραμμα τροποποίησης καιρού του Δυτικού Κάνσας στις 28 Αυγούστου 2007, κοντά στο Lakin, Kan. Πηγή: (Roach, 2020)

2.2.1 Σπορά νέφους με την χρήση ΣμηΕΑ

Το "Sandoval Silver State Seeder", είναι ένα νέο ΣμηΕΑ που κατασκευάστηκε από το Ινστιτούτο Desert Research ("Cloud Seeding Program - DRI," 2019), στο οποίο τοποθετούνται φωτοβολίδες ιωδιούχου αργύρου με σκοπό όταν απελευθερώσει τα σωματίδια, να προκαλέσει βροχοπτώσεις. Το ΣμηΕΑ σποράς

νέφους πραγματοποίησε πρόσφατα την πρώτη δοκιμαστική πτήση του στη Φλόριντα των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Δεν σχηματίστηκε βροχή αλλά ανέβηκε μόνο στα 400 πόδια (Bryan Clark, 2020). Η σπορά σύννεφων, δεν είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει την εξαρχής παραγωγή νερού αλλά δύναται να συμπυκνώσει σωματίδια του νερού σε πυρήνες με σκοπό να τα μετατρέψει σε σταγόνα ή πάγο. Η συγκεκριμένη τεχνολογία δεν θα επιλύσει μόνιμα το πρόβλημα της ξηρασίας που παρουσιάζεται σε συγκεκριμένες περιοχές του πλανήτη μας (Shukla et al., 2020). Τα ΣμηΕΑ σποράς νεφών μπορούν να φέρουν διαφορετικές τεχνολογίες απελευθέρωσης πυρήνων συμπύκνωσης των νεφών, όπως και τα αεροσκάφη. Μερικές από τις τεχνολογίες που εφαρμόζονται σε πειραματικό επίπεδο με την χρήση των ΣμηΕΑ σταθερής πτέρυγας είναι η χρήση της εκτοξευόμενης φωτοβολίδας (Ejectable Flares), ανάφλεξης της φωτοβολίδας σε συγκεκριμένη χωρική έκταση (Burn In Place Flares) κ.α.



Εικόνα 13 Τεχνολογία εκτοξευόμενης φωτοβολίδας (Ejectable Flares) εγκατεστημένη σε ΣμηΕΑ σταθερής πτέρυγας Πηγή: (America, 2016)



Εικόνα 14 Τεχνολογία ανάφλεξης της φωτοβολίδας σε συγκεκριμένη χωρική έκταση (Burn In Place Flares) εγκατεστημένη σε ΣμηΕΑ σταθερής πτέρυγας. Πηγή: (Haza, 2017)



Εικόνα 15 Φωτογραφία από πειραματική εφαρμογή ΣμηΕΑ στην Νεβάδα, όπου χρησιμοποιήθηκε ένα ΣμηΕΑ με οκτώ κινητήρες και ολοκλήρωσαν επιτυχώς τις δοκιμές ψεκασμού των νεφών με ιωδιούχο άργυρο, Ιανουάριος 2016. Πηγή: (Zolfagharifard, 2016)

2.2.2 Επίγειες γεννήτριες

Είναι γνωστό ότι οι γεννήτριες εδάφους χρησιμοποιούνται ευρέως σε παγκόσμιο επίπεδο για την τροποποίηση του καιρού μέσω της σποράς νέφους με σκοπό την ενίσχυση της βροχόπτωσης και την

καταστολή του χαλαζιού (Rauber et al., 2019). Συγκεκριμένα, στις Ηνωμένες Πολιτείες, στο Μαρόκο, στην Κούβα και σε πολλές χώρες, οι γεννήτριες εδάφους συνηθίζουν να αυξάνουν τις βροχοπτώσεις, ενώ στη Γαλλία, στην Ισπανία και στη Βραζιλία για προστασία καλλιεργειών από τις χαλαζοπτώσεις (Bangsund and Hodur, 2019; Charalampopoulos and Tsiros, 2017; “Use Cases for Weather Modification - Cloud Seeding Technologies,” 2020). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η χρήση επίγειων γεννητριών μερικές φορές επιβαρύνουν τον πλανήτη υποπολλαπλάσια σε σχέση με την χρήση των εναέριων μέσων, όπως το αεροπλάνο ή τους πυραύλους, το 2005 άρχισε ο σχεδιασμός και η παραγωγή τους με σκοπό την εκτόξευση των σωματιδίων προς τα σύννεφα μέσω των γεννητριών (Murakami and JCSEPA research group, 2011).

2.2.2.1 *Ιωδιούχου Αργύρου (AgI)*

Οι γεννήτριες παραγωγής ιωδιούχου αργύρου (AgI), απελευθερώνουν μικροσκοπικά σωματίδια μέσα ή κάτω από το υψόμετρο του νέφους τα οποία δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης σχηματίζοντας σταγόνες βροχόπτωσης, όπου ανάλογα την θερμοκρασία καθιζάνουν είτε σε υγρή, είτε σε στερεή μορφή (πάγος) (French et al., 2018).



Εικόνα 16 Επίγεια γεννήτρια παραγωγής ιωδιούχου αργύρου και απελευθέρωσής του. Πηγή: (NAWMC, 2021)

2.2.2.2 *Ιωδιούχου αργύρου με καύση προπανίου*

Στην πολιτεία του Κολοράντο, έχουν εγκατασταθεί περισσότερες από εκατό γεννήτριες σποράς νέφους σε πλαγιές, χωράφια και λιβάδια. Οι παλαιότερες από αυτές τις γεννήτριες μοιάζουν με ένα μεγάλο δοχείο

κατασκευασμένο από κασσίτερο, τοποθετημένο πάνω στη δεξαμενή προπανίου. Οι νέες γεννήτριες διαθέτουν πολύ πιο σύγχρονο εξοπλισμό και είναι τοποθετημένα το σύνολο των οργάνων μέσα ή γύρω από μεγάλα μεταλλικά κουτιά, τα οποία περιλαμβάνουν ηλιακούς συλλέκτες, αισθητήρες καιρικών συνθηκών, ένα λεπτό ψηλό πύργο για την απελευθέρωση των σωματιδίων κ.α. (Quinton, 2018). Οι επίγειες γεννήτριες προπανίου είναι μια τεχνολογία που πρόσφατά ξεκίνησε να εφαρμόζεται σε πειραματικές εφαρμογές και απαιτείται η καύση προπανίου, ώστε μέσα από την φλόγα να ανέλθουν προς τα νέφη τα αερολύματα όπως ο ιωδιούχος άργυρος αναμεμιγμένο σε ακετόνη (“Cloud seeding is embraced by some water managers,” 2019). Αφού ξεκινήσει η ανάφλεξη του προπανίου στο θάλαμο καύσης, στη συνέχεια ο ιωδιούχος άργυρος (διαλυμένος σε ακετόνη) εγχύεται στη φλόγα του προπανίου. Καθώς το αερόλυμα από τη γεννήτρια ψύχεται, παράγονται κυριολεκτικά τρισεκατομμύρια σωματίδια (πυρήνες συμπύκνωσης) μικροσκοπικού μεγέθους ιωδιούχου αργύρου. Αυτά τα σωματίδια έχουν την ικανότητα να έλκουν τα μόρια της υγρασίας γύρω τους και να προκαλούν σταγόνες νερού μέσα σε νέφη που έχουν χαμηλότερη θερμοκρασία από -5 °C, με αποτέλεσμα να παγώνουν. Το μικροσκοπικό σωματίδιο, αν παραμείνει σε ευνοϊκό περιβάλλον (-5 °C) θα μετατραπεί σε χιονονιφάδα, αν η θερμοκρασία είναι υψηλότερη θα καταβυθιστεί ως βροχόπτωση (Rao, 2006). Η NAWC (North American Weather Consultants) χρησιμοποιεί ένα διάλυμα σποράς νεφών που αποτελείται από ακετόνη, ιωδιούχο άργυρο, ιωδιούχο νάτριο και παραδιχλωροβενζόλιο. Αυτή η λύση έχει αποδειχθεί ότι παράγει πιο αποτελεσματικά σωματίδια σποράς σε θερμότερες θερμοκρασίες (δηλαδή περίπου -10 °C έως -5 °C και παράγει αυτούς τους κρυστάλλους πιο γρήγορα από το καθαρό ιωδιούχο άργυρο (Finnegan, 1999). Η τεχνική χρησιμοποιεί μια γεννήτρια με προπάνιο για να στείλει μικροσκοπικά σωματίδια ιωδιούχου αργύρου στον ουρανό. Οι άνεμοι ανεβάζουν τα σωματίδια στα σύννεφα όπου προσελκύουν υδρατμούς, μεγαλώνουν και πέφτουν σαν νιφάδες χιονιού. Ο ιωδιούχος άργυρος είναι το βιομηχανικό πρότυπο υλικό που χρησιμοποιείται στη σπορά νέφους. Πολλές ανεξάρτητες επιστημονικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι είναι περιβαλλοντικά ασφαλής για χρήση σε εφαρμογές χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Adams, 2018).



Εικόνα 17 Επίγεια γεννήτρια παραγωγής προπανίου και απελευθέρωσης του. Πηγή: (NAWMC, 2021)

2.2.3 Ηλεκτρική τεχνολογία πρόκλησης βροχοπτώσης

Οι υποστηρικτές της τεχνολογίας ιόντων πιστεύουν ότι η ιδέα τους υπερέρχει από την αντίστοιχη για τη σπορά σύννεφων για διάφορους λόγους (Moore K., 2004). Μπορεί να προκαλέσει περισσότερες βροχοπτώσεις και δεν χρειάζεται η ύπαρξη νεφών, αρκεί να βρίσκονται υψηλές συγκεντρώσεις υδρατμών στην ατμόσφαιρα της ευρύτερης περιοχής για να ξεκινήσει η διαδικασία της συμπύκνωσης (Abshaen et al., 2020; Moore K., 2004). Επίσης, είναι οικονομικότερη ως τεχνολογία, καθώς δεν απαιτεί την χρήση εναέριων μέσων για την διάδοση χημικών ουσιών που θα συγκεντρώσουν γύρω τους τα μόρια υγρασίας των σύννεφων. Επιπλέον, θεωρούν οι υποστηρικτές της δεδομένης τεχνολογίας, ότι η αλλαγή της πολικότητας και της ποσότητας των ιόντων θα μπορούσε να μειώσει τις βροχοπτώσεις όπου είναι άφθονες, να αποτρέψει τις χαλαζοπτώσεις και να διαλύει την ομίχλη στα αεροδρόμια (Moore K., 2004).

2.2.4 Σπορά νέφους με χρήση πυραύλων

Τα τελευταία χρόνια, κυβερνητικοί οργανισμοί χωρών όπως η Κίνα, ή εταιρείες που ασχολούνται με την σπορά των νεφών, χρησιμοποιούν ένα καινοτόμο δίκτυο εκτοξευτήρων μικρο-πυραύλων με δυνατότητες τεχνητής νοημοσύνης και λήψης αποφάσεων μέσω ενός καταναμημένου πλέγματος κλιματικών αισθητήρων με σκοπό τη σπορά χημικών ουσιών προς τα νέφη και την πρόκληση βροχοπτώσης ή εκτόνωσης της υψηλής συγκέντρωσης υγρασίας και πιθανά λόγω χαμηλού βαρομετρικού να προκληθούν χαλαζοπτώσεις που θα πλήξουν αγροτικές καλλιέργειες. Ο απώτερος στόχος του καινοτόμου αυτού

δικτύου είναι να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές επιπτώσεις σε περιοχές όπου εμφανίζονται ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως οι έντονες βροχοπτώσεις, χαλαζοπτώσεις, χιονοπτώσεις κ.α., με μεγάλη συχνότητα (Horvat and Lipovscaj, 2009; Shukla et al., 2020). Για δεκαετίες, η περιοχή του Saint John του Καναδά παρουσίαζε αργή αστική ανάπτυξη. Οι περισσότερες μελέτες που έγιναν, παρουσίαζαν ως βασικό λόγω της αργής ανάπτυξης την ύπαρξη στην περιοχή ομίχλης, βροχής, χιονιού και ανέμων. Τα τελευταία έτη, μέσω του προγράμματος «Σπορά Νεφών» της εταιρείας ACAP, η πόλη του Saint John ξεκινά έναν νέο χάρτη πορείας ανάπτυξης. Το πρόγραμμα αναμένεται να εξαφανίσει όλες τις ανησυχίες αναφορικά με τα ακραία καιρικά φαινόμενα που πλήττουν την περιοχή (ACAP, 2017).

Για τα προγράμματα που αφορούν την σπορά των νεφών, η εταιρεία ACAP χρησιμοποιεί πυραύλους τύπου "LOZA" που φέρουν ένα χημικό αντιδραστήριο (Ιωδιούχο άργυρο) με σκοπό να προκληθεί συμπύκνωση των μικροσταγονιδίων που βρίσκονται στα νέφη και να μετατραπούν σε βροχή αντί σε χαλάζι (STROYPROJECT, 2013). Ο στόχος της ανάπτυξης του συγκεκριμένου συστήματος, δεν είναι η εναντίωση του ανθρώπου προς τα φαινόμενα της φύσης αλλά ο έλεγχος των φαινομένων μέσα από την τροποποίηση και τον έλεγχο τους (ACAP, 2017).

Στην τελετή έναρξης των Ολυμπιακών Αγώνων του Πεκίνο το 2008, χρησιμοποιήθηκαν περισσότεροι από 1.100 πύραυλοι που έφεραν στις κεφαλές τους πυρήνες συμπύκνωσης νεφών με σκοπό να αποφευχθεί πιθανή βροχόπτωση κατά την διάρκεια της τελετής (Roach, 2020).

2.2.5 Τεχνολογία Λείζερ

Η τεχνολογία συμπύκνωσης νεφών με λέιζερ, είναι μια σύγχρονη τεχνολογία μέσω της οποίας η δέσμη λέιζερ σχηματίζει πυρήνες από την υγρασία του νέφους, γύρω από τους οποίους και θα συγκεντρωθούν τα μόρια της υγρασίας ανάλογα με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η συγκεκριμένη τεχνολογία θα παρέχει τη δυνατότητα τροποποίησης των καιρικών συνθηκών, χωρίς τη χρήση χημικών ουσιών και με αυτό τον τρόπο καθίσταται ως η φιλικότερη τεχνολογία προς το περιβάλλον (Yoshihara, 2005). Η δεδομένη τεχνολογία θα μπορούσε να προταθεί ως μια πιθανή εναλλακτική επιλογή ως προς τις υφιστάμενες «παραδοσιακές» τεχνολογίες τροποποίησης των καιρικών φαινομένων, όπως η υγροσκοπική (Malik, 2018) και η κρυσταλλική σπορά, λόγω της δυνατότητάς της να προκαλέσει συμπύκνωση σε μη κορεσμένες περιβαλλοντικές συνθήκες (του νέφους). Παρόλο που η συμπύκνωση νεφών με τη χρήση λέιζερ έχει αποδειχθεί ότι συμβαίνει σε τοπική κλίμακα. Η δημιουργία πυρήνων συμπύκνωσης (CCN) (Terry Krauss, 2020) σε υποκορεσμένα σε υγρασία νέφη μέσω της δεδομένης τεχνολογίας, προκαλεί ερωτήματα σχετικά με την αποτελεσματικότητα της όσον αφορά την αύξηση της συμπύκνωσης και την μετατροπή της υγρασίας σε βροχόπτωση ή χιονόπτωση. Οι προσεγγίσεις που αφορούν την τεχνολογία συμπύκνωσης

νεφών με λέιζερ στερούνται επί του παρόντος την επιστημονική βάση της τροποποίησης των καιρικών φαινομένων (DRI, 2020; Lisa M.P. Munoz, 2017).

2.2.6 Ακουστικά Κύματα

Τα αντιχλαζικά ή ακουστικά κανόνια είναι γεννήτριες παραγωγής κρουστικών κυμάτων (Wieringa and Holleman, 2006). Τα συγκεκριμένα κρουστικά κύματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του ήχου προς το νέφος σχηματίζοντας μια διαταραχή στα σωματίδια της υγρασίας την οποία ισχυρίζονται οι κατασκευαστές των συγκεκριμένων κανονιών ότι αυξάνει την συμπύκνωση των μικροσκοπικών σταγονιδίων νερού, παράγοντας έτσι μεγαλύτερες σταγόνες βροχής (Shukla et al., 2020).

Σε πολλές περιοχές του κόσμου, οι παραδοσιακές πηγές και οι ποσότητες των υπόγειων υδάτων, ποταμών και ταμιευτήρων, είτε είναι ανεπαρκείς είτε απειλούνται από τις ολόένα αυξανόμενες απαιτήσεις σε νερό, από αλλαγές στη χρήση γης και από αυξανόμενους πληθυσμούς (Abshaen et al., 2020). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο πληθυσμός των ΗΠΑ που υπερδιπλασιάστηκε από το 1950 μέχρι το 2010 και μετατοπίστηκε από αγροτικές σε αστικές περιοχές (Rauber et al., 2019). Μόνο ένα μικρό μέρος της διαθέσιμης υγρασίας στα σύννεφα μετατρέπεται σε βροχόπτωση που φτάνει στην επιφάνεια (Shukla et al., 2020; “UAE Res. Progr. Rain Enhanc. Sci.,” 2020). Αυτό έκανε τους επιστήμονες και τους μηχανικούς να εφαρμόσουν την ιδέα της σποράς των νεφών και να αυξήσουν την ποσότητα βροχόπτωσης, μέσω της πρόκλησης τεχνητής βροχόπτωσης αφού επιτάχυναν τη διαδικασία της συμπύκνωσης παρέχοντας έναν επιπλέον πυρήνα γύρω από τον οποίο τα σταγονίδια νερού μπορούσαν να συσσωρευτούν και να συμπυκνωθούν (Shukla et al., 2020).

2.3 Υλικά Σποράς Νεφών

Τα υλικά για την συμπύκνωση των μορίων της υγρασίας στα νέφη διαφέρουν ανάλογα τη μέθοδο εφαρμογής. Τα υλικά συμπύκνωσης που χρησιμοποιούνται είναι ο ωδιούχος άργυρος (AgI), ο ξηρός πάγος (CO₂ σε στερεή μορφή) (Mokhov and Krivolutsky, 2019), τα νανοσωματίδια TiO₂ επικαλυμμένα σε κρυστάλλους χλωριούχου νατρίου (NaCl) (Zou, 2017), το χλωριούχο ασβέστιο (CaCl₂) (Cha et al., 2019), το νιτρικό ασβέστιο (Ca(NO₃)₂) (Cziczo et al., 2019) κ.α.. Τα τελευταία έτη, πολλές χώρες και οργανισμοί διενεργούν πειράματα σποράς νεφών με διαφορετικά υλικά στην ατμόσφαιρα για να ανακαλύψουν τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά τους αλλά και να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητά τους κατά την προσρόφιση της υγρασίας στους πυρήνες.

Τα νέφη στην ατμόσφαιρα περιέχουν συμπυκνωμένο νερό σε μορφή μικροσταγονιδίων, αναμεμιγμένα με άλλα σωματίδια. Οι συνθήκες υπερκορεσμού στην ατμόσφαιρα δείχνουν ότι ο σχηματισμός σταγονιδίων νερού συμβαίνει με ετερογενή πυρήνωση, η οποία απαιτεί σωματίδια αερολύματος. Τα σωματίδια

αερολύματος που σχηματίζουν πυρηνικά σταγονίδια υγρού νέφους είναι γνωστά ως πυρήνες συμπύκνωσης νέφους (CCN - Cloud Condensation Nuclei), ενώ σωματίδια που διεγείρουν το σχηματισμό κρυστάλλων πάγου ονομάζονται πυρήνες πάγου (INP - Ice Nuclei Particles). Ένας μηχανισμός αλλαγής μεταξύ υδρατμών και σωματιδίων αερολύματος λαμβάνει χώρα για να μετασχηματιστεί στην κατάσταση του συμπυκνωμένου νερού από την κατάσταση αερίου. Η υδροσκοπική σπορά νέφους χρησιμοποιεί σωματίδια όπως κρυστάλλους αλατιού, τα οποία μπορούν να προσροφήσουν υδρατμούς σε ζεστά σύννεφα. Επομένως, η εξέλιξη της συμπύκνωσης εξαρτάται άμεσα από τα υδρόφιλα ή υδροφοβικά χαρακτηριστικά των σωματιδίων (Zou, 2017).

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες διαφοροποιούνται συνεχώς και ποτέ δεν έχουν ομοιότητα με προηγούμενες, γι' αυτό το λόγο γίνονται μετρήσεις ή παρατηρήσεις τόσο στο πεδίο όσο και απομακρυσμένα σε κάθε πείραμα με σκοπό να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα ακρίβειας για διαφορετικά χρονικά διαστήματα και κλίμακες. Μερικά προβλήματα, όπως τα χαρακτηριστικά του νέφους και του υετού σε δυναμικές και θερμοδυναμικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, η μικροφυσική σύνθεση στοιχείων σύννεφων, το πλήθος και οι ιδιότητες των πυρήνων συμπύκνωσης, κ.λπ. μπορούν να επιλυθούν εν μέρει με μαθηματική μοντελοποίηση (Mokhov and Krivolutsky, 2019). Με την σπορά των κρυσταλλικών πυρήνων στο νέφος βασίζεται στην παραδοχή ότι, βάσει δεδομένων μετεωρολογικών συνθηκών, η προσθήκη ενός παράγοντα (πυρήνες συμπύκνωσης) σε ένα νέφος που τα μόρια υγρασίας του είναι υπερψυγμένα θα εκκινήσει την αντίδραση μετατροπής των μορίων υγρασίας του νέφους σε μορφές με μεγαλύτερο μοριακό βάρος, αναγκάζοντας τις τη βαρύτητα να καταβυθιστούν (French et al., 2018).

Η τεχνολογία σποράς των νεφών, θεωρείται μια από τις πιο προηγμένες τεχνολογίες που αναπτύσσονται την σημερινή εποχή, καθώς συνδυάζει πολλά διαφορετικά επιστημονικά υπόβαθρα. Μια από τις επιμέρους έρευνες που αφορούν την τεχνολογία σποράς των νεφών που διεξάγονται είναι η δημιουργία μεγάλου πλήθους σωματιδίων ιωδιούχου αργύρου (AgI), με σκοπό την πρόκληση τεχνητής βροχόπτωσης ή χιονόπτωσης μετά από συμπύκνωση των μορίων της υγρασίας. Η θερμοκρασία του κάθε νέφους όταν είναι χαμηλή, τότε τα μόρια της υγρασίας έχουν μεγαλύτερο βάρος και καθώς έχουν συμπυκνωθεί στους πυρήνες, καταβυθίζονται προς την επιφάνεια της γης. Τα σύννεφα μπορούν να ψύχονται τεχνητά με διάφορες τεχνολογίες, όπως με την απελευθέρωση σφαιριδίων ξηρού πάγου ή πιδάκων υγρού αέρα, υγρού προπανίου κ.α. Υπάρχουν πολλές χημικές ουσίες εκτός από τον Ιωδιούχο Άργυρο (AgI), οι οποίες δρουν ως τεχνητοί πυρήνες συγκέντρωσης μορίων νερού, όπως ανόργανα άλατα (π.χ. θειούχο χαλκό και ιωδιούχο μόλυβδο) και πολλές οργανικές ενώσεις (π.χ. η μεταλλιδεΐδη) (Xue et al., 2013).

Τα τελευταία έτη, όλο και περισσότερες πειραματικές εφαρμογές έχουν εστιαστεί στη δημιουργία νέων υλικών με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά με σκοπό την αύξηση της αποτελεσματικότητας τους κατά την διαδικασία συμπύκνωσης. Μερικά από αυτά τα υλικά είναι ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), το θεικό ασβέστιο (CaSO_4) και το νιτρικό ασβέστιο ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), όπου σε χαμηλή περιεκτικότητα υγρασίας όταν απελευθερωθούν στο νέφος προκαλούν με διαφορετικό δυναμικό την πρόκληση βροχόπτωσης. (Cziczo et al., 2019). Τα προτεινόμενα υλικά σποράς βάσει παλαιότερων μελετών ήταν το CaCO_3 καθώς επίσης και οι άνυδρες και ένυδρες μορφές του CaSO_4 . Σε πιο πρόσφατες μελέτες αποδείχτηκε ότι συμπυκνώνουν τα μόρια της υγρασίας με μέτρια αποτελεσματικότητα. Επίσης, οι μελέτες αυτές, απέδειξαν ότι χαρακτηρίζεται λανθασμένα το νιτρικό ασβέστιο ως άνυδρο άλας (Keith et al., 2016), το οποίο έχει αποδεδειγμένα χαρακτηριστεί από μέτρια αποτελεσματικότητα συμπύκνωσης πυρήνων πάγου INP (Ice Nucleation Particles).

2.3.1 Ιωδιούχος Άργυρος (AgI)

Οι περισσότερες χημικές ουσίες σποράς νεφών, πλην του Ιωδιούχου Αργύρου (AgI), έχουν εφαρμοστεί κυρίως σε πειραματική κλίμακα και παρουσιάζουν επιστημονικό ενδιαφέρον. Ο AgI, παραμένει η πιο διαδεδομένη χημική ουσία που εφαρμόζεται στη σπορά των νεφών με εμπορική αξιοποίηση, ενώ οι άλλες χημικές ουσίες βρίσκουν εφαρμογή σε ειδικές περιπτώσεις εφαρμογής (Rauber et al., 2019; Xue et al., 2013). Μετά από έρευνες και πειράματα, έχει πλέον αποδειχθεί ότι το ιώδιο του αργύρου (AgI) μπορεί να δράσει αποτελεσματικά ως πυρήνας συμπύκνωσης των μορίων της υγρασίας (French et al., 2018; Pokharel et al., 2018)..

2.3.2 Ξηρός πάγος (CO_2 σε στερεή μορφή)

Έπειτα από μια σειρά πειραματικών εφαρμογών που πραγματοποιήθηκαν, ο ιωδιούχος άργυρος (AgI) μπορεί να δράσει ως αποτελεσματικό υλικό για την συμπύκνωση των μορίων της υγρασίας. Ένα ακόμα υλικό με παραπλήσιες ιδιοτητες είναι ο ξηρός πάγος (CO_2), που μέσα από πειράματα, αποδείχτηκε ότι έχει παραπλήσιες ιδιοτητες με τον ιωδιούχο άργυρο (AgI). Έχουν λάβει χώρα αρκετά πειράματα, όπου χρησιμοποιήθηκε ο ξηρός πάγος ως πυρήνα συμπύκνωσης για πολλές δεκαετίες με σκοπο να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα του ως υλικό συμπύκνωσης των μορίων της υγρασίας μετά την εναπόθεση του πάνω ή μέσα στο νέφος με σκοπο την βελτίωση του ρυθμού καταβύθισης (French et al., 2018). Ο ξηρός πάγος δρα διαφορετικά από τον ιωδιούχο άργυρο καθώς τα μόρια της υγρασίας προσκολλώνται στους πυρήνες συμπύκνωσης και ταυτόχρονα ψύχονται λόγω της εξαιρετικά χαμηλής θερμοκρασίας του, με αποτέλεσμα τα υπερψυγμένα σταγονίδια λόγω βάρους να καταβυθίζονται (NAWMC, 2021). Έπειτα από πολλές δεκαετίες αποτυχημένων πειραματικών εφαρμογών, πλέον πολλές μελέτες έχουν παράξει τοσο ισχυρά συμπεράσματα μέσω στατιστικών στοιχείων που επιβεβαιώνουν ότι η σπορά νεφών με τον ξηρό

πάγο δήνεται να προκαλέσει συμπύκνωση μορίων υγρασίας. Ωστόσο, αυτές οι μελέτες δεν κατάφεραν να τεκμηριώσουν σε πραγματικό χρόνο τη δυνατότητα σχηματισμού των κρυστάλλων συμπύκνωσης και παρακολούθησης της εξελικτικής διαδικασίας με αποτέλεσμα την βροχόπτωση ή την χιονόπτωση (French et al., 2018), αλλά μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και μέσω καταγραφών από επήγεια ή εναέρια ρανταρ. Με την σπορά κρυσταλλικών πυρήνων ξηρού πάγου σε ένα υπερψυγμένο νέφος μπορεί να δημιουργηθούν κρύσταλλοι πάγου που θα καθιζάνουν προς την γη ως ή χαλάζι. Επιπροσθέτως, πολλά ερευνητικά προγράμματα έχουν μελετήσει για πολλές δεκαετίες και αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα της σποράς νέφους για τη βελτίωση της καθίζησης των κρυστάλλων εντός τους νέφους (French et al., 2018; Rauber et al., 2019). Τα σφαιρίδια ξηρού πάγου χρησιμοποιούνται σε αρκετά ερευνητικά προγράμματα σποράς νεφών, τα οποία τα απελευθερώνουν τα αεροσκάφη τόσο πάνω όσο και μέσα από τα σύννεφα κατά τη διάρκεια των θερινών προγραμμάτων σποράς για να προκαλέσουν σχηματισμό βροχής ή πάγου νωρίτερα από ό,τι θα συνέβαινε, χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση (Rauber et al., 2019)

Μάλιστα, ο ιοδιούχος άργυρος και ο ξηρός πάγος τεκμηριώνονται εδώ και περισσότερα από 40 έτη, ως υλικά συμπύκνωσης των μορίων της υγρασίας. Τα συγκεκριμένα υλικά είναι τα πλέον διαδεδομένα κατά την εφαρμογή της τροποποίησης των καιρικών συνθηκών σε ολοκληρο τον κόσμο (Bruitjes, 1999).

2.3.3 Νανοδομημένα TiO_2 επικαλυμμένα σε κρυστάλλους χλωριούχου νατρίου (NaCl)

Τα νανοδομημένα διαδραματίζουν ένα πολύ σημαντικό ρόλο κατά τον σχηματισμό σταγονιδίων νερού στην ατμόσφαιρα, καθώς οι υδρατμοί υπάρχουν ήδη σε μεγάλη συγκέντρωση στα νέφη. Οι υψηλές τους συγκεντρώσεις προσφέρουν τη δυνατότητα της ενεργοποίησης του μηχανισμού συμπύκνωσης με αποτέλεσμα την αλλαγή της φυσικής κατάστασης του νερού από την αέρια στην υγρή μορφή. Στην πραγματικότητα, τα εξαιρετικά λεπτά σωματίδια (πυρήνες συμπύκνωσης) που διασκορπίζονται στον αέρα σε συστάδες, επειδή θα προσελκύσουν πλήθος σταγονιδίων, είναι το κλειδί για την πραγματοποίηση αυτής της κρίσιμης μετάβασης. Πιστεύουμε ότι η τρέχουσα πρακτική βελτίωσης της βροχής δεν έχει ακόμη επιτύχει την ιδανική αποτελεσματικότητα και υπάρχει αρκετός χώρος για τροποποίηση και βελτίωση (Zou, 2017). Η Dr Linda Zou, ολοκλήρωσε ένα πρωτοποριακό έργο που διερευνά τη δυνατότητα αύξησης της βροχόπτωσης μέσω μοναδικών νανοδομημένων που θα εφαρμόζονται στη σπορά νεφών. Η μεγάλη επιτυχία των νανοδομημένων έχει ήδη αποδειχθεί με την κατάθεση δύο προσωρινών διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας με το γραφείο διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας και εμπορικών σημάτων των Ηνωμένων Πολιτειών (USPTO) (“The UAE Research Program for Rain Enhancement Science is leading the global drive for new water sources,” 2019).

Τα νανοσωματίδια TiO_2 είναι επικαλυμμένα με κρυστάλλους χλωριούχου νατρίου (NaCl). Το συνεργιστικό αποτέλεσμα του υδρόφιλου κελύφους των νανοσωματιδίων TiO_2 και του υγροσκοπικού πυρήνα των κρυστάλλων νατρίου (NaCl) θα ενισχύσουν το σχηματισμό και την ανάπτυξη της συμύκνωσης και σταγονιδίων νερού. Ο σχεδιασμός και κατασκευή των νανοδομημένων σωματιδίων μέσω του μηχανισμού της βαθμίδωσης που βασίζεται στη βιοενέμπνευση των πυρήνων συμύκνωσης νέφους (Zou, 2017). Η χρήση ενός διαφορετικού είδους υγροσκοπικού μηχανισμού, όπου μέσω της μικροδομής του πυρήνα, του κελύφους του χλωριούχου νατρίου (NaCl) και σε συνδυασμό με τα νανοσωματίδια TiO_2 (Core/Shell NaCl/TiO_2 - CSNT) στοχεύει στην προσρόφηση μεγαλύτερου πλήθους υδρατμών από το αναμενόμενο υγροσκοπικό σημείο του χλωριούχου νατρίου (NaCl) (Zou, 2017). Τα επικαλυμμένα νανοσωματίδια TiO_2 σχηματίζουν ένα υδρόφιλο κέλυφος με σκοπό να προσροφήσουν και να συμυκνώσουν τα μόρια των υδρατμών και να δημιουργήσουν ένα στρώμα ενυδάτωσης με υψηλότερη τοπική τιμή RH από εκείνη του αέρα και συμβάλουν στην επακόλουθη ταχύτερη απορρόφηση. Αυτή η μικροδομή πυρήνα/κελύφους προώθησε ένα συνεργιστικό αποτέλεσμα για να σχηματίσει πολύ μεγαλύτερα σταγονίδια νερού σε χαμηλότερο εύρος τάσης ατμών. Ωστόσο, το συγκεκριμένο πλεονέκτημα απουσιάζει εντελώς στην περίπτωση που εφαρμοστεί αυτούσιο χλωριούχο νάτριο (NaCl). Η βιο-εμπνευσμένη νανοδομή αναμένεται να κάνει τους μικροκρυστάλλους να προσροφούν σωματίδια υγρασίας σε χαμηλότερο RH, σχηματίζοντας ένα μεγαλύτερο σταγονίδιο νερού. (Zou, 2017).

2.3.4 Χλωριούχο Ασβέστιο (CaCl_2)

Το χλωριούχο ασβέστιο, ως υγροσκοπικός παράγοντας δεν είναι διαδεδομένος ευρέως. Το συγκεκριμένο υλικό συμύκνωσης, αναπτύχθηκε από τον Shannxi Zhongtian και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε πειραματική εφαρμογή μέσω της φωτοβολίδας ZY-1NY για την πρόκληση βροχόπτωσης. Μετά την ανάφλεξη της φωτοβολίδας, το προϊόν της καύσης αποτελείται από χλωριούχο κάλιο (KCl) και χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2), το οποίο προκαλεί τον σχηματισμό υγροσκοπικών αερολυμάτων συμύκνωσης σε μορφή αδρανών αλάτων (Wang et al., 2019). Το CaCl_2 , έχει δοκιμαστεί και σε πειραματικές εφαρμογές στον Άρη, με σκοπό την πρόκληση βροχόπτωσης (Cziczko et al., 2019).

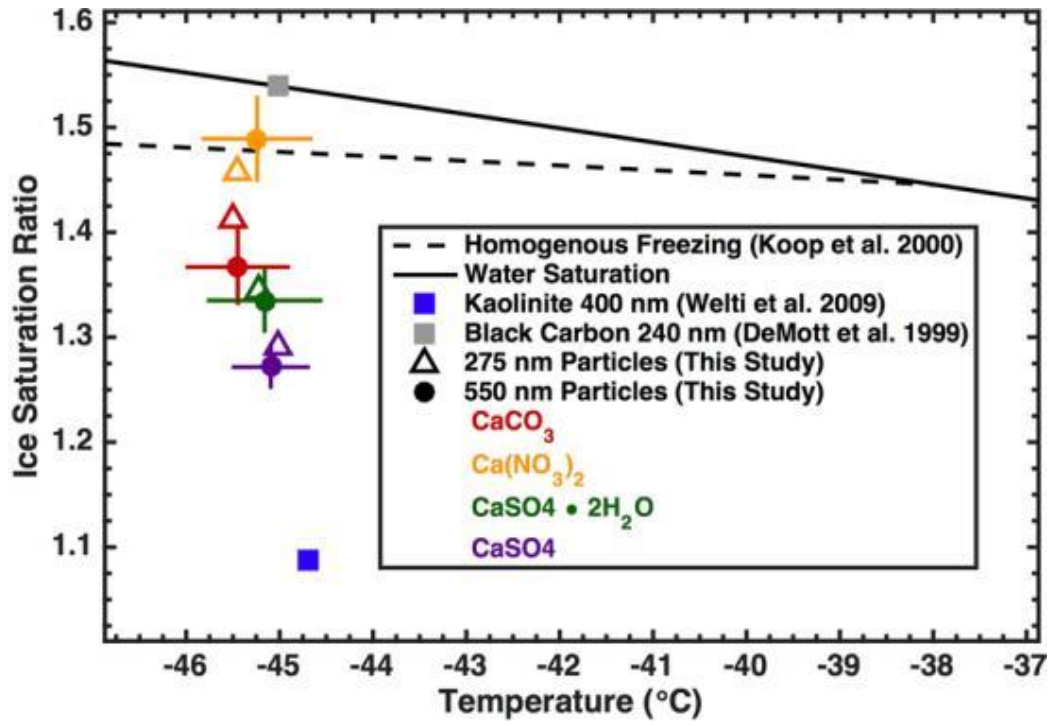
Σε πειράματα πρόκλησης βροχόπτωσης ή χιονόπτωσης, που χρησιμοποιούνται ειδικά ατμοσφαιρικά αεροσκάφη, το υλικό σποράς εξυπηρετεί ως τεχνητός πυρήνας συμύκνωσης των μορίων της υγρασίας του νέφους. Η διαδικασία ανάπτυξης υετού ποικίλλει ανάλογα με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση κ.α. Η θερμοκρασία του νέφους είναι ο κρισιμότερος παράγοντας που πρέπει να μελετηθεί κατά την διαδικασία της σποράς των νεφών, καθώς ανάλογα το ύψος της εφαρμογής, θα χρησιμοποιηθούν διαφορετικά υλικά συμύκνωσης με σκοπό την βελτιστοποίηση του αποτελέσματος της σποράς (Guo and Zheng, 2009). Όσον αφορά τα νέφη με χαμηλή θερμοκρασία, χρησιμοποιείται ο

Ιωδιούχος Άργυρος (AgI). Από την άλλη, όσον αφορά τα νέφη με υψηλότερη θερμοκρασία, χρησιμοποιούνται κυρίως το Χλωριούχο Ασβέστιο (CaCl_2) και το Χλωριούχο Νάτριο (NaCl) (Rosenfeld et al., 2010).

Η ικανότητα ενός κλάσματος των εγχυθέντων σωματιδίων προς το νέφος, μετά την σπορά του νέφους, να δράσουν ως INPs είναι σημαντική και σε δύο κατηγορίες ανάλογα το τελικό αποτέλεσμα μετά την διαδικασία της σποράς. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα νέφη πρόκλησης πάγου, ενώ η δεύτερη κατηγορία τα νέφη πρόκλησης βροχής (Choi et al., 2007; Cziczo et al., 2019). Ενδέχεται να παρουσιαστεί μια μικτή κατάσταση του νέφους, δηλαδή ένα μέρος από το νέφος να παρουσιάσει χαρακτηριστικά και να ταξινομηθεί ως κατηγορίας πάγου, εάν το CTT (Cloud Top Temperature) είναι μικρότερο από $-5\text{ }^\circ\text{C}$, ενώ ταξινομείται ως φάση νεφελώδους υετού εάν το CTT είναι $-5\text{ }^\circ\text{C}$ ή υψηλότερο (Kim et al., 2020).

2.3.5 Νιτρικό ασβέστιο ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$)

Το Νιτρικό ασβέστιο ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), θεωρείται ως ένυδρο άλας, υψηλότερης τάξης και σε διάλυμα υπό συγκεκριμένες συνθήκες, παρατηρείται μόνο συμπύκνωση μορίων πάγου ομοιογενώς. Το συγκεκριμένο εύρημα ενισχύει επίσης την δραστηριότητα του ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) αναφορικά με αντιδράσεις που καταστρέφουν το όζον. Συνεπώς η ανεξέλεγκτη εφαρμογή χημικών υλικών πυρήνωση των μορίων της υγρασίας που προκαλούν καταστροφή του όζοντος ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), πιθανά να προκαλεί ανεξέλεγκτη καταστροφή σε στρατοσφαιρικά ύψη, τα οποία δεν έχουν γίνει επαρκείς μελέτες για την έκταση της μεταβολής (Cziczo et al., 2019).



Εικόνα 18 Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία που απαιτούνται για την πυρήνωση του πάγου από τα σωματίδια, ανάλογα το υλικό σποράς των νεφών. Πηγή: (Cziczo et al., 2019)

3 Μεθοδολογία

3.1 Ανάλυση Εξωτερικού και Εσωτερικού Περιβάλλοντος (SWOT)

Το εγχείρημα του σχεδιασμού ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης των ακραίων καιρικών φαινομένων με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών και μετεωρολογικού Ραντάρ, είναι πλήρως εναρμονισμένο στους κανόνες που ορίζει το σύγχρονο management. Μετά το σχεδιασμό του συστήματος, η ομάδα εργασίας θα προβεί στην πλήρη καταγραφή και αποσαφήνιση όλων των υπάρχοντων δεδομένων που συγκροτούν το εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον του εγχειρήματος. Το σύνολο των δυνατών και αδύνατων σημείων της ίδιας της επένδυσης διαμορφώνουν το εσωτερικό περιβάλλον, ενώ οι προκύπτουσες ευκαιρίες και απειλές, οι οποίες πηγάζουν από παράγοντες εκτός του εγχειρήματος, αποτελούν το εξωτερικό περιβάλλον. Η διάγνωση και εκτίμηση των δυνατών και αδύνατων σημείων ενός εγχειρήματος καθώς και των ευκαιριών που δύναται να εκμεταλλευτεί ή των απειλών που δέχεται, ονομάζεται SWOT analysis (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats). Η ανάλυση SWOT συμβάλει στη «σωστή» δόμηση ενός αποτελεσματικού στρατηγικού σχεδιασμού και στη διαμόρφωση ενός ικανού πλαισίου λήψης αποφάσεων.

	Χρήσιμα για την επίτευξη του στόχου	Επιβλαβή για την επίτευξη του στόχου
Εσωτερικό Περιβάλλον	Δυνάμεις (Strengths)	Αδυναμίες (Weaknesses)
Εξωτερικό Περιβάλλον	Ευκαιρίες (Opportunities)	Απειλές (Threats)

3.1.1 Δυνατά Σημεία (Strengths)

Ξεκινώντας με το εσωτερικό περιβάλλον και τα δυνατά σημεία του εγχειρήματος για το σχεδιασμό του ολοκληρωμένου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης των ακραίων καιρικών φαινομένων, διαπιστώνουμε ότι επανδρώνεται από στελέχη υψηλής εξειδίκευσης, το καθένα στον τομέα του, κατέχοντας ταυτόχρονα μακρόχρονη επαγγελματική εμπειρία. Επιπροσθέτως, το προσωπικό που υλοποιεί το ΣμηΕΑ είναι πλήρως καταρτισμένο και αξιοποιώντας την αιχμή της τεχνολογίας υλοποιεί το ολοκληρωμένο σύστημα με σκοπό την προστασία περιοχών από ακραία καιρικά φαινόμενα. Ένα επιπλέον δυνατό σημείο του εν λόγω εγχειρήματος είναι η γνώση της περιοχής που γίνεται η εφαρμογή αλλά και η εμπειρία των στελεχών από την συγκεκριμένη περιοχή που γίνεται η εγκατάσταση του ολοκληρωμένου συστήματος. Τέλος, το πιο δυνατό σημείο του εγχειρήματος είναι ο τρόπος εφαρμογής των υλικών συμπίκνωσης νεφών, δηλαδή η δυνατότητα του ΣμηΕΑ να αιωρείται σταθερό σε συγκεκριμένο χωρικό σημείο και με δυνατότητα κίνησης προς οποιοδήποτε άλλο σημείο.

3.1.2 Αδυναμίες (Weaknesses)

Στον αντίποδα, το εσωτερικό περιβάλλον του εγχειρήματος συμπληρώνεται με τις αδυναμίες, όπως αυτές διαμορφώνονται κατόπιν εκτίμησης των στελεχών του. Στη δεδομένη περίπτωση λοιπόν ως αδύνατα σημεία, μπορούν να θεωρηθούν η δυσκολία αναφορικά με την παρεχόμενη τεχνική υποστήριξη του εγχειρήματος, λόγω της υψηλής τεχνολογικής εξειδίκευσης που απαιτείται σε συνδυασμό με την περιοχής εγκαθίδρυσης της, η οποία είναι στην ευρύτερη περιοχή των Χανίων. Εξίσου, σοβαρή αδυναμία για το εγχείρημα αποτελεί η διασύνδεση των επιμέρους τμημάτων και η απόδοσή της λειτουργίας τους, καθώς αποτελούν πρότυπο και δεν υπάρχει τεκμηριωμένη διασύνδεση μεταξύ τους. Μια ακόμα αδυναμία είναι η έγκαιρη παραλαβή των ανταλλακτικών και των αναλωσίμων για το εγχείρημα καθώς τόσο το αεροδρόμιο όσο και το λιμάνι των Χανίων, εξυπηρετούν μικρότερο πλήθος αεροσκαφών ή πλοίων σε σχέση με τα αντίστοιχα του Ηρακλείου.

3.1.3 Ευκαιρίες (Opportunities)

Αναφορικά με το εξωτερικό περιβάλλον, οι διαμορφωθείσες ευκαιρίες για την εν λόγω επένδυση σχετίζονται με τους ακόλουθους παράγοντες. Αρχικά, η εγκατάσταση του εν λόγω εγχειρήματος θα λάβει χώρα σε περιοχή που για πρώτη φορά θα εγκατασταθεί τέτοιου μεγέθους σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης από ακραία καιρικά φαινόμενα. Εν συνεχεία, το συγκεκριμένο εγχείρημα ξεκινάει την υλοποίησή του σε μια κομβική περίοδο, όπου όλο και περισσότεροι μεσογειακοί κυκλώνες παρατηρούνται, καταγράφοντας συνεχώς καταστροφές σε υλικοτεχνικές υποδομές, ιδιωτικές περιουσίες και απώλειες ανθρώπινων ζωών. Τέλος, το γεγονός ότι τα κόστη για τα επιμέρους τμήματα κατασκευής του ΣμηΕΑ αλλά και των επιμέρους συστημάτων (απομακρυσμένης διαχείρισης, απομακρυσμένου ελέγχου ραντάρ κ.α.)

έχουν μειωθεί σε σχέση με το παρελθόν, παρέχεται η δυνατότητα κατασκευής ενός ολοκληρωμένου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης με χαμηλό κόστος, το οποίο πιθανά θα μπορεί να καλύψει ένας μεσαίου μεγέθους δήμος ή/και περιφέρεια.

3.1.4 Απειλές (Threats)

Τέλος, το εξωτερικό περιβάλλον για το συγκεκριμένο εγχείρημα συνδιαμορφώνεται, παράλληλα με τις ευκαιρίες και με μια σειρά απειλών. Τέτοιου είδους απειλές, οι οποίες ειδικά τα τελευταία χρόνια, ταλανίζουν όλο το φάσμα της ερευνητικής δραστηριότητας, καθώς και τις σύγχρονες τεχνολογίες στην χώρα μας, είναι η οικονομική αβεβαιότητα, η οποία με την σειρά της μπορεί να οδηγήσει στην πολιτική αστάθεια, κυρίως σε περιφερειακό επίπεδο καθώς και η άρνηση της τοπικής κοινωνίας προς τις νέες τεχνολογίες. Το σύνολο των απειλών για το εν λόγω εγχείρημα ολοκληρώνεται με την προσμέτρηση του ανταγωνισμού, όπου μια διαφορετικού τύπου εφαρμογή (π.χ. ΣμηΕΑ σταθερής πτέρυγας) να παρέχουν υψηλότερα ποσοστά αποτελεσματικότητας λόγω της μεγαλύτερης έκτασης που θα καλύπτουν. Καταληκτικά, μια ακόμα απειλή μπορεί να αποτελέσει, ο αστάθμητος παράγοντας που σχετίζεται με την όποια καθυστέρηση κατά την παραλαβή τυχόν ανταλλακτικών προϊόντων ή υπηρεσιών υποστήριξης του ολοκληρωμένου συστήματος, καθώς η μη έγκαιρη παραλαβή τους μπορεί δυνητικά να το βγάλει εκτός λειτουργίας.

3.2 Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επενδύσεων

Ο βασικός στόχος κάθε επένδυσης, είναι η εξακρίβωση σχετικά με το αν τα μελλοντικά οφέλη από την επένδυση θα καταστήσουν το αρχικό έξοδο άξιο λόγου. Το ποσοστό απόδοσης του επενδυμένου κεφαλαίου είναι μια κεντρική ιδέα της χρηματοοικονομικής ανάλυσης. Ο σκοπός του υπολογισμού του ποσοστού απόδοσης μιας επένδυσης γενικά είναι η μέτρηση της χρηματοοικονομικής απόδοσης της, για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την αποτίμηση της επένδυσης (Feenstra and Wang, 2000).

Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι ένα επενδυτικό εγχείρημα είναι μία σειρά από χρηματικές εισροές και εκροές, οι οποίες συνήθως ξεκινάνε με μία χρηματική εκροή (το αρχικό έξοδο δαπάνης) η οποία ακολουθείται από χρηματικές εισροές και/ ή χρηματικές εκροές σε μεταγενέστερες περιόδους (έτη). Σε αυτό το σημείο είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε ότι τα επενδυτικά σχέδια συχνά έχουν σημαντικές επιδράσεις, άλλες ανήκουν σε αυτές που είναι εύκολα μετρήσιμες στις χρηματικές μονάδες και άλλες όχι τόσο.

Το συγκεκριμένο εγχείρημα, δεν παρουσιάζει μετρήσιμες χρηματικές μονάδες, ως κέρδος από την επένδυση, αλλά μέσω της ορθής λειτουργίας του, ο σκοπός είναι η μείωση τόσο των οικονομικών ζημιών προς την δημόσια περιουσία (κτηριακές υποδομές, οδικοί άξονες κυκλοφορίας, γέφυρες κ.α.), όσο και προς

την ιδιωτική περιουσία (αγροτεμάχια, κτηριακές υποδομές, καταστήματα, ζώντα ζώα κ.α.). Επιπροσθέτως, η απώλεια ανθρώπινων ζών δεν είναι δυνατό να κοστολογηθεί βάσει αξίας χρήματος, συνεπώς και κρίνεται ως βασικότερος παράγοντας η προστασία της σε σχέση με την προστασία υλικοτεχνικών υποδομών.

Το συγκεκριμένο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης ακραίων καιρικών φαινομένων με χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών και μετεωρολογικών ραντάρ, έχει σημαντικό κόστος κατασκευής καθώς περιλαμβάνει πρωτότυπα τμήματα, τα οποία αναπτύχθηκαν βάσει των ειδικών απαιτήσεων της εφαρμογής. Σε προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκαν λεπτομερώς τα επιμέρους τμήματα που θα χρειαστεί να αγοραστούν με σκοπό την κατασκευή του πρωτότυπου ΣμηΕΑ., συνεπώς παράλληλα με το τεχνικό τμήμα του σχεδιασμού του ολοκληρωμένου συστήματος, η παρούσα εργασία δίνει έμφαση και στο οικονομικό μέρος του έργου. Μια πρώτη προσέγγιση αναφορικά με την χρηματοοικονομική αξιολόγηση της επένδυσης, αφορά το μέγεθος της, καθώς όσο μεγαλύτερο είναι τόσο μεγαλύτερη βαρύτητα έχουν οι στρατηγικές επιλογές που θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν. Η χρηματοοικονομική αξιολόγηση αναγκαστικά βασίζεται σε πάρα πολλές οικονομικές, εμπορικές και παραγωγικές παραδοχές ενώ τα συμπεράσματά της πρέπει με τη σειρά τους να δικαιολογούν με χρηματοοικονομικούς όρους τη σκοπιμότητα της επένδυσης. Περιλαμβάνει τις εξής δύο βασικές διαδικασίες με σκοπό την αξιολόγηση της επένδυσης:

1. Τον εντοπισμό όλων των εσόδων (εισροών) και εξόδων (εκροών), που σχετίζονται με τη σχεδιαζόμενη επένδυση (Cash Flow Analysis).
2. Τη χρήση μεθόδων και κριτηρίων, με βάση τα οποία οι παραπάνω εισροές και εκροές να μπορούν να αξιολογούνται (Capital Budgeting Decision Methods).

Η πρώτη διαδικασία, του εντοπισμού των αναμενόμενων εσόδων και εξόδων της επένδυσης, είναι ασφαλώς η πιο δύσκολη, αυτή που εμπεριέχει τη μεγαλύτερη αβεβαιότητα για τα συμπεράσματα της αξιολόγησης, καθώς δύναται να προκύψουν αστοχίες αναφορικά τόσο με τις εισροές αλλά και με τις εκροές βάσει της ρευστότητας του εσωτερικού ή εξωτερικού περιβάλλοντος του εγχειρήματος. Στη διαδικασία αυτή καταρτίζονται όλες οι παραδοχές της επένδυσης, πράγμα ιδιαίτερα δύσκολο και με μεγάλη αβεβαιότητα, λόγω της ρευστότητας του περιβάλλοντος που θα υλοποιηθεί η εκάστοτε επένδυση. Στη φάση αυτή εμπλέκονται άτομα ποικίλων εξειδικεύσεων, προκειμένου να σχεδιαστούν με το μεγαλύτερο δυνατό ρεαλισμό οι απαραίτητες «υποθέσεις εργασίας» της εξεταζόμενης επένδυσης, οι οποίες μπορεί να αφορούν επιπτώσεις στο κόστος παραγωγής του ΣμηΕΑ ή και διασύνδεσης των επιμέρους τμημάτων, στους δυνητικούς πελάτες του συγκεκριμένου εγχειρήματος, στην ποιότητα κατασκευής του ΣμηΕΑ κ.α.

Η δεύτερη διαδικασία έχει ένα μεθοδολογικό - αναλυτικό χαρακτήρα που σκοπό έχει την επεξεργασία τόσο των δεδομένων, όσο και των παραδοχών της πρώτης φάσης με αποτέλεσμα την λήψη αποφάσεων, βασιζόμενη ανάμεσα στα άλλα, σε διάφανους και εύληπτους δείκτες. Η μόνη βασική παραδοχή στη διαδικασία υπολογισμού των κριτηρίων και των δεικτών αυτών είναι η εξέλιξη του κόστους κεφαλαίου (Cost of Capital) μέσα στη διάρκεια του χρόνου. Κατά τα άλλα ο υπολογισμός των δεικτών είναι μια απλή, κατά βάση, υπόθεση, ενώ τα συμπεράσματα, στα οποία αυτοί οδηγούν, είναι τελικά τόσο αξιόπιστα και ακριβή όσο και οι υποθέσεις που καταρτίστηκαν στην πρώτη φάση της ανάλυσης (Kaliabakos and Damigos, 2008; Σακκάς, 2002).

Ιστορικά έχουν αναπτυχθεί πέντε μέθοδοι για την επεξεργασία των δεδομένων από τις ταμειακές ροές. **Αξιοσημείωτο είναι ότι οι μέθοδοι αυτοί οδηγούν σε διαφορετικά συμπεράσματα.** Δεν πρόκειται δηλαδή για εναλλακτικές προσεγγίσεις του ίδιου τελικά δείκτη. Αυτό θα φανεί καλύτερα στη συνέχεια, μέσα από τα παραδείγματα που παρατίθενται.

Οι πέντε μέθοδοι και τα αντίστοιχα κριτήρια συνοπτικά είναι τα εξής:

- Η περίοδος αποπληρωμής (Payback Period - PP).
- Ο λογιστικός ρυθμός απόδοσης χρημάτων (Accounting Rate of Return - ARR).
- Η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value - NPV).
- Ο εσωτερικός ρυθμός απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR).
- Ο δείκτης κερδοφορίας (Profitability Index - PI) (Σακκάς, 2002).

3.2.1 Η περίοδος αποπληρωμής (Payback Period - PP)

Η μέθοδος της περιόδου αποπληρωμής (Payback Period - PP) αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που απαιτείται για την ανάκτηση του κόστους μιας επένδυσης. Με απλά λόγια, η περίοδος αποπληρωμής είναι το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μια επένδυση φτάνει σε ένα νεκρό σημείο, δηλαδή τα υπενδεδυμένα χρήματα έχουν επιστραφεί προς τον επενδυτή. Η επιθυμία του επενδυτή για μια επένδυση σχετίζεται άμεσα με την περίοδο αποπληρωμής της, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η περίοδος τόσο λιγότερο θελκτική θεωρείται η επένδυση. Οι μικρότερες χρονικές περίοδοι σημαίνουν πιο ελκυστικές επενδύσεις, καθώς σε συντομότερο χρονικό διάστημα ο εκάστοτε επενδυτής λαμβάνει το ποσό της αρχικής του επένδυσης. Αν και ο υπολογισμός της περιόδου απόσβεσης είναι χρήσιμος στον προϋπολογισμό χρηματοδότησης και κεφαλαίου, αυτή η μέτρηση έχει εφαρμογές σε άλλους κλάδους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάθε πιθανό επενδυτή για τον υπολογισμό της απόδοσης των επιμέρους τμημάτων της επένδυσης που δύναται

να πραγματοποιήσει. Η περίοδος αποπληρωμής υπολογίζεται από τον παρακάτω μαθηματικό τύπο. Η συγκεκριμένη μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψιν της την αξία του χρήματος ως προς το χρόνο (Kagan, 2020).

$$PP = \frac{\text{Αξία επένδυσης}}{\text{Εξοικονομούμενο ποσό κατ'έτος}}$$

3.2.2 Ο λογιστικός ρυθμός απόδοσης χρημάτων (Accounting Rate of Return - ARR)

Η μέθοδος του λογιστικού ρυθμού απόδοσης χρημάτων (ARR) χρησιμοποιείται ως μέθοδος αποτίμησης και υπολογισμού της κερδοφορίας μιας επένδυσης. Οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν το ARR κυρίως για να συγκρίνουν πολλαπλά έργα για να καθορίσουν το αναμενόμενο ποσοστό απόδοσης κάθε έργου ή για να βοηθήσουν να αποφασίσουν για μια επένδυση ή μια απόκτηση. Η απόσβεση είναι μια χρήσιμη λογιστική σύμβαση σύμφωνα με την οποία το κόστος ενός παγίου περιουσιακού στοιχείου κατανέμεται ή εξοδολογείται ετησίως κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του περιουσιακού στοιχείου. Αυτό επιτρέπει στην εταιρεία να κερδίσει αμέσως κέρδος από το περιουσιακό στοιχείο, ακόμη και κατά το πρώτο έτος υπηρεσίας. Η συγκεκριμένη μέθοδος δεν λαμβάνει υπόψιν της την αξία του χρήματος ως προς το χρόνο (Murphy, 2020).

$$ARR = \frac{\text{Μέσο ετήσιο κέρδος}}{\text{Ποσό της αρχικής επένδυσης}}$$

3.2.3 Η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value - NPV)

Η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας (NPV) είναι η διαφορά μεταξύ της παρούσας αξίας των ταμιακών εισροών και της παρούσας αξίας των ταμειακών εκροών για μια δεδομένη χρονική περίοδο. Το NPV χρησιμοποιείται στον προϋπολογισμό κεφαλαίου και στον προγραμματισμό επενδύσεων για την ανάλυση της κερδοφορίας μιας προβλεπόμενης επένδυσης ή έργου. Όταν η καθαρή παρούσα αξία έχει θετική τιμή, τότε τα προβλεπόμενα κέρδη που δημιουργούνται από μια επένδυση υπερβαίνουν το αναμενόμενο κόστος. Οι περισσότεροι επενδυτές επιλέγουν επενδύσεις με θετική NPV, αναμένοντας η επένδυση τους να είναι κερδοφόρα. Αυτή η ιδέα είναι η βάση για τον κανόνα καθαρής παρουσίας αξίας, ο οποίος υπαγορεύει ότι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μόνο οι επενδύσεις με θετικές τιμές NPV (Kenton, 2020).

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t}$$

R_t = Καθαρή ταμειακή εκροή κατά τη διάρκεια περιόδου t

i = Ποσοστό απόδοσης που θα μπορούσε να αποκτηθεί από εναλλακτικές επενδύσεις

t = Πλήθος χρονικών περιόδων

3.2.4 Ο εσωτερικός ρυθμός απόδοσης (Internal Rate of Return - IRR).

Η μέθοδος του εσωτερικού ποσοστού απόδοσης χρησιμοποιείται στην οικονομική ανάλυση για την εκτίμηση της κερδοφορίας των πιθανών επενδύσεων. Το εσωτερικό ποσοστό απόδοσης είναι ένα προεξοφλητικό επιτόκιο που καθιστά την καθαρή παρούσα αξία (NPV) όλων των ταμειακών ροών ίση με το μηδέν σε μια ανάλυση προεξοφλημένων ταμειακών ροών. Οι υπολογισμοί IRR βασίζονται στον ίδιο τύπο όπως και ο NPV. Για τον υπολογισμό του IRR χρησιμοποιώντας τον τύπο, κάποιος θα ορίσει το NPV ίσο με το μηδέν και θα λύσει το προεξοφλητικό επιτόκιο, το οποίο είναι το IRR. Ωστόσο, λόγω της φύσης του τύπου, το IRR δεν μπορεί εύκολα να υπολογιστεί αναλυτικά και ως εκ τούτου πρέπει να υπολογιστεί είτε μέσω δοκιμής-σφάλματος είτε μέσω λογισμικού που έχει προγραμματιστεί για τον υπολογισμό του IRR (Hayes, 2020).

Σε γενικές γραμμές, όσο υψηλότερο είναι το εσωτερικό ποσοστό απόδοσης, τόσο πιο επιθυμητή είναι η επένδυση. Το IRR είναι ομοιόμορφο για επενδύσεις διαφόρων τύπων και, ως εκ τούτου, το IRR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατάταξη πολλαπλών πιθανών επενδύσεων ή έργων σε σχετικά ομοιόμορφη βάση. Σε γενικές γραμμές, όταν συγκρίνουμε επενδυτικές επιλογές των οποίων τα άλλα χαρακτηριστικά είναι παρόμοια, η επένδυση με το υψηλότερο IRR θα ήταν πιθανώς η καλύτερη (Hayes, 2020).

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+IRR)^t} - C_0$$

C_t = Καθαρή εισροή μετρητών κατά την περίοδο t

C_0 = Συνολικό αρχικό κόστος επένδυσης

IRR = Ο εσωτερικός ρυθμός απόδοσης

T = Πλήθος χρονικών περιόδων

3.2.5 Ο δείκτης κερδοφορίας (Profitability Index – PI)

Ο δείκτης κερδοφορίας (PI), εναλλακτικά αναφέρεται ως λόγος επενδυτικής αξίας (VIR) ή λόγος επένδυσης κέρδους (PIR), περιγράφει έναν δείκτη που αντιπροσωπεύει τη σχέση μεταξύ κόστους και οφέλους ενός προτεινόμενου έργου. Υπολογίζεται ως ο λόγος μεταξύ της παρούσας αξίας των μελλοντικών αναμενόμενων ταμειακών ροών και του αρχικού ποσού που επενδύθηκε στο έργο. Ένα υψηλότερο PI σημαίνει ότι ένα έργο θεωρείται πιο ελκυστικό.

Το PI είναι χρήσιμο στην κατάταξη διαφόρων έργων, διότι επιτρέπει στους επενδυτές να ποσοτικοποιήσουν την αξία που δημιουργείται ανά κάθε επενδυτική μονάδα. Ένας δείκτης κερδοφορίας 1,0 είναι λογικά το χαμηλότερο αποδεκτό μέτρο στον δείκτη, καθώς οποιαδήποτε τιμή χαμηλότερη από αυτόν τον αριθμό θα

έδειχνε ότι η παρούσα αξία του έργου (PV) είναι μικρότερη από την αρχική επένδυση. Καθώς η αξία του δείκτη κερδοφορίας αυξάνεται, το ίδιο αυξάνει και η οικονομική ελκυστικότητα του προτεινόμενου έργου.

Ο δείκτης κερδοφορίας είναι μια τεχνική εκτίμησης που εφαρμόζεται σε πιθανές δαπάνες κεφαλαίου. Η μέθοδος διαιρεί την προβλεπόμενη εισροή κεφαλαίου με την προβλεπόμενη εκροή κεφαλαίου για τον προσδιορισμό της κερδοφορίας ενός έργου. Όπως υποδεικνύεται από τον παρακάτω τύπο, ο δείκτης κερδοφορίας χρησιμοποιεί την παρούσα αξία των μελλοντικών ταμειακών ροών και την αρχική επένδυση για να αντιπροσωπεύσει τις προαναφερθείσες μεταβλητές. Η παρούσα αξία των μελλοντικών ταμειακών ροών απαιτεί την εφαρμογή υπολογισμών χρονικής αξίας χρημάτων (Chen, 2020).

$$PI = \frac{\text{Παρούσα αξία για μελλοντικές ταμειακές ροές}}{\text{Αρχική επένδυση}}$$

3.3 Αποσβέσεις παγίων

Η απόσβεση είναι η λογιστική απεικόνιση και ο καταλογισμός σε κάθε χρήση της σταδιακής μείωσης της αξίας κάποιων περιουσιακών στοιχείων (κυρίως πάγιων), που είναι αποσβέσιμα. (Στον όρο πάγια συμπεριλαμβάνονται και τα έξοδα ίδρυσης και πρώτης εγκατάστασης).

Σύμφωνα με το Ελληνικό Γενικό Λογιστικό Σχέδιο (Ε.Γ.Λ.Σ) είναι η χρονική κατανομή της αποσβεστέας αξίας του πάγιου στοιχείου και υπολογίζεται με βάση την ωφέλιμη διάρκεια ζωής του. Οι αποσβέσεις κάθε χρήσης βαρύνουν το λειτουργικό κόστος και αντιπροσωπεύουν τη μείωση της αξίας του πάγιου περιουσιακού στοιχείου.

Από λογιστική άποψη η απόσβεση είναι η διαδικασία κατανομής του κόστους απόκτησης του πάγιου στοιχείου στη χρονική περίοδο της ωφέλιμης ζωής του. Αποτελεί έξοδο για το εγχείρημα, που δε συνεπάγεται εκροή μετρητών αλλά επηρεάζει τη ροή μετρητών (Cash Flow).

Αποσβέσιμο είναι το πάγιο περιουσιακό στοιχείο που αποκτάται από την οικονομική μονάδα για διαρκή παραγωγική χρήση και έχει ωφέλιμη διάρκεια ζωής μεγαλύτερη του έτους. Αποσβέσιμα θεωρούνται ακόμη τα έξοδα εγκατάστασης. Τα πάγια περιουσιακά στοιχεία με την πάροδο του χρόνου υφίστανται μείωση της αξίας τους. Οι παράγοντες που προκαλούν μείωση της αξίας τους είναι:

- απαξίωση λόγω ξεπερασμένης τεχνολογίας ή λόγω αλλαγής της παραγωγικής κατεύθυνσης σε άλλους τομείς,
- φυσιολογική λειτουργική φθορά από την παραγωγική χρήση του πάγιου,
- έκτακτη λειτουργική φθορά λόγω βλάβης, ατυχήματος κτλ. και

- χρονική φθορά.

3.4 Νεκρό σημείο

Η ανάλυση νεκρού σημείου (break-even point) αποτελεί μια μέθοδο αξιολόγησης της κερδοφορίας μιας επένδυσης. Επιπλέον, μέσω αυτής της μεθόδου είναι δυνατή η αξιολόγηση της κερδοφορίας για μεταβολές στην τιμή πώλησης του προϊόντος (Spathes, 1999). Η μέθοδος ουσιαστικά προσδιορίζει το νεκρό σημείο, δηλαδή το ύψος της παραγωγής στο οποίο η συνολική πρόσοδος καλύπτει το σύνολο των δαπανών και ισχύει η εξίσωση (2):

$$Q_{NS} \times P_{BE} = C_{σταθ} + Q_{NS} \times C_{μεταβ} \quad (2)$$

όπου Q_{NS} το ύψος της παραγωγής που αντιστοιχεί στο νεκρό σημείο, P η τιμή πώλησης του προϊόντος, $C_{σταθ}$ οι συνολικές σταθερές δαπάνες και $C_{μεταβ}$ οι μεταβλητές δαπάνες ανά μονάδα προϊόντος. Η τιμή νεκρού σημείου P_{BE} (break-even price) είναι η τιμή στην οποία πρέπει να πωληθεί το προϊόν, ώστε τα έσοδα των πωλήσεων να καλύπτουν το σύνολο των δαπανών.

$$P_{BE} = \frac{C_{σταθ} + Q_{NS} \times C_{μεταβ}}{Q_{NS}} \quad (3)$$

Ο υπολογισμός της τιμής του νεκρού σημείου, έχει σκοπό την εξαγωγή της τιμής στην οποία θα πρέπει κατ' ελάχιστο να προσφέρεται ένα προϊόν ή μια υπηρεσία με σκοπό τα έσοδα των πωλήσεων του προϊόντος να καλύπτουν το σύνολο των δαπανών που αφορούν αυτό. Το σύνολο των δαπανών αναφέρεται τόσο σε ενέργειες που πραγματοποιήθηκαν πριν την μαζική παραγωγή του προϊόντος, όσο και μετά. Το συγκεκριμένο εγχείρημα έχει ως στόχο την παροχή υπηρεσιών πρόληψης και προστασίας κοινής ωφελείας και ο υπολογισμός του νεκρού σημείου της υπηρεσίας θα μας οδηγούσε σε αυθαίρετα αποτελέσματα. Επιπροσθέτως, η εύρεση του νεκρού σημείου της παρεχόμενης υπηρεσίας, δεν θα μπορούσε να υπολογιστεί και να ερμηνευτεί σωστά, καθώς οι παράμετροι εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων δεν μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια. Το πλήθος των εφαρμογών μέσω του ΣμηΕΑ, δεν είναι προκαθορισμένο και κατά συνέπεια το μεταβαλλόμενο κόστος υπολογίζεται βάσει ενός μέσου όρου εφαρμογών ανά έτος.

3.5 Καθορισμός Στόχων

Ο καθορισμός στόχων ή αλλιώς στοχοθέτηση αποτελεί έναν από τους πιο βασικούς πυλώνες του στρατηγικού management μίας επιχείρησης. Οι στόχοι αποτελούν την κατάληξη του οράματος και της αποστολής της επιχείρησης και πρέπει να είναι έξυπνοι (S.M.A.R.T.). Πιο συγκεκριμένα, οι στόχοι κάθε επιχείρησης ενδείκνυται να είναι συγκεκριμένοι (Specific), μετρήσιμοι (Measurable), εφικτοί (Achievable), ρεαλιστικοί (Realistic) και χρονικά δεσμευτικοί (time bound). Τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται πρέπει να είναι συγκεκριμένα, να υλοποιούνται μέσα σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα

και αποτελούν δεσμεύσεις των στελεχών ως προς την επιχείρηση. Σκοπός των στόχων συνεπώς, είναι η εστίαση της προσοχής της επιχείρησης στο τι ακριβώς πρέπει να επιτευχθεί και μέχρι πότε.

Η στοχοθέτηση απαιτείται να πραγματοποιείται για κάθε σημαντική δραστηριότητα της επιχείρησης. Οι στόχοι που ορίζονται δεν αφορούν μόνο για την επιχείρηση ως ολότητα αλλά αναφέρονται επίσης στα διαφορετικά διοικητικά επίπεδα, τμήματα της επιχείρησης και στις λειτουργίες της. Οι στόχοι είναι εκείνοι που καθορίζουν τις ενέργειες που πρέπει να επιτελεστούν αλλά και τα αναμενόμενα αποτελέσματα προς επίτευξη.

3.5.1 Παραγωγικοί Στόχοι

Οι παραγωγικοί στόχοι αναφέρονται στις βασικές δραστηριότητες της επιχείρησης που εντάσσονται στην οικονομική της δραστηριότητα. Οι συγκεκριμένοι στόχοι έχουν ως σκοπό την επέκταση των δραστηριοτήτων της επιχείρησης σε νέα γεωγραφικά διαμερίσματα και αγορές.

3.5.2 Οικονομικοί Στόχοι

Οι οικονομικοί στόχοι πρέπει να αναφέρονται στις χρήσεις των κυκλικών οικονομικών περιόδων προκειμένου να καθοριστούν εάν υπάρχουν τρόποι να τιμολογηθούν οι απολογισμοί, οι οποίοι θα πρέπει να είναι αποδεκτοί με έναν πιο ομοιόμορφα κατανομημένο τρόπο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ο προϋπολογισμός πρέπει να παρακολουθείται κάθε μήνα, τα αποτελέσματα να παραδίδονται σε μορφή μελέτης, να εντοπίζονται οι αποκλίσεις, να ακολουθούν άμεσες διορθωτικές ενέργειες ώστε η επιχείρηση να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή που βρίσκεται σε σχέση με τον στόχο της, αλλά και με συγκριτικά στοιχεία προηγούμενων χρήσεων.

3.5.3 Κοινωνικοί Στόχοι

Οι κοινωνικοί στόχοι ολοκληρώνουν την κατηγορία των βραχυπρόθεσμων στόχων. Η επιδίωξη των συγκεκριμένων στόχων είναι η επίτευξη μιας σειράς κοινωνικών στόχων, οι οποίοι σχετίζονται τόσο με την αναβάθμιση της περιοχής που δραστηριοποιείται η επιχείρηση, όσο και η ενσωμάτωση της επιχείρησης αλλά και των εργαζομένων της στην τοπική κοινωνία.

3.5.4 Στρατηγικοί Στόχοι

Οι στρατηγικοί στόχοι είναι πολύ σημαντικοί για την επιχείρηση καθώς το αντικείμενό τους έχει να κάνει με τη βελτίωση της ανταγωνιστικής θέσης της επιχείρησης στην αγορά που δραστηριοποιείται μακροπρόθεσμα. Παραδείγματα στρατηγικών στόχων αποτελούν το μερίδιο αγοράς, η μείωση του κόστους σε σχέση με τους ανταγωνιστές, μεγαλύτερη γκάμα προϊόντων, καλύτερη ποιότητα προϊόντων, καλύτερη θέση στην αγορά έναντι του ανταγωνισμού κ.λπ.

3.6 Καθορισμός βέλτιστων σημείων ανάπτυξης του εξοπλισμού

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την υλοποίηση του έργου μπορεί να χωριστεί σε στατικό και κινητό. Ο στατικός εξοπλισμός, που αποτελείται κυρίως από τους μετεωρολογικούς σταθμούς μπορεί να αναπτυχθεί με τρόπο ώστε να πυκνώσει ήδη υπάρχοντα δίκτυα μετεωρολογικών σταθμών. Δεδομένης της δυνατότητας επικοινωνίας των σύγχρονων μετεωρολογικών σταθμών μέσω GPRS, η ανάπτυξή τους σε απομακρυσμένα σημεία δεν αποτελεί ιδιαίτερο πρόβλημα. Σχετικά με τον κινητό εξοπλισμό, αυτός αποτελείται από τα ΣμηΕΑ και το κινητό μετεωρολογικό ραντάρ. Είναι δεδομένο ότι το βέλτιστο σημείο ανάπτυξης των ΣμηΕΑ είναι όσο το δυνατόν εγγύτερα στο μετεωρολογικό φαινόμενο ώστε η απόσταση που θα καλυφθεί να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη. Ταυτόχρονα δεν υπάρχουν ιδιαίτεροι περιορισμοί όσον αφορά την τοπογραφία του σημείου ανάπτυξης καθώς τα ΣμηΕΑ είναι διαθέτουν μεγάλη ευελιξία απογείωσης και προσγείωσης. Στο αντίποδα, το κινητό μετεωρολογικό ραντάρ έχει σημαντικούς περιορισμούς που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη σε κάθε περιοχή μελέτης ξεχωριστά.

Το πρόβλημα του εντοπισμού του βέλτιστου σημείου ανάπτυξης του κινητού μετεωρολογικού ραντάρ αφορά στην ανάλυση της ορατότητας από προσβάσιμα σημεία (λ.χ. σημεία που εξυπηρετούνται από το οδικό δίκτυο) προς σημεία του ορίζοντα από με τη μέγιστη πιθανότητα ανάπτυξης μετεωρολογικών συστημάτων. Τα δεδομένα που απαιτούνται για την ανάλυση ορατότητας είναι:

- Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής ενδιαφέροντος
- Το οδικό δίκτυο της περιοχής ενδιαφέροντος
- Πιθανά σημεία του ορίζοντα στο υψόμετρο ανάπτυξη μετεωρολογικών συστημάτων.

Για τον καθορισμό των βέλτιστων σημείων ανάπτυξης του εξοπλισμού χρησιμοποιήθηκε το Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π./GIS) ανοιχτού κώδικα QGIS (QGIS.org, 2021).

4 Περιοχή μελέτης

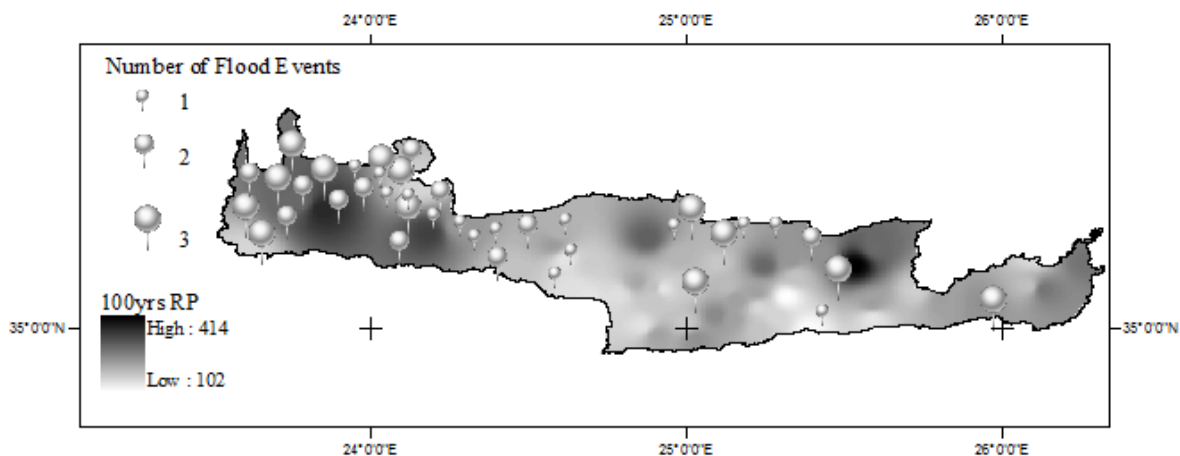
4.1 Περιοδικότητα πλημμυρών στην Κρήτη

Το νησί της Κρήτης βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Ελλάδας με έκταση 8.265 km². Η Κρήτη καλύπτει σχεδόν το 6,3% της εδαφικής έκτασης της Ελλάδας. Το μέσο υψόμετρο είναι στα 482 m, καθώς το χαμηλότερο επίπεδο είναι εκείνο της θάλασσας, ενώ το υψηλότερο βρίσκεται στο όρος Ψηλορείτη στα 2.456 m. Η ιδιομορφία του νησιού έγκειται στις πολλές μικρές λεκάνες απορροής. Το περιβάλλον της Κρήτης, θεωρείται τυπικά Μεσογειακό, καθώς ένα μεγάλο ποσοστό από το πλήθος των ετήσιων βροχοπτώσεων (περίπου 40%) λαμβάνει χώρα κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ παρουσιάζονται αμελητέες βροχοπτώσεις κατά την διάρκεια του καλοκαιριού (Koutroulis et al., 2010). Το νησί είναι μια ημι-άνυδρη περιοχή που ανήκει γεωγραφικά στην Ανατολική Μεσόγειο και χαρακτηρίζεται από πολύ εποχιακά κατακρημνίσματα, τα οποία όταν εκδηλώνονται έχουν την μορφή αστραπιαίων βροχοπτώσεων (Koutroulis et al., 2012).

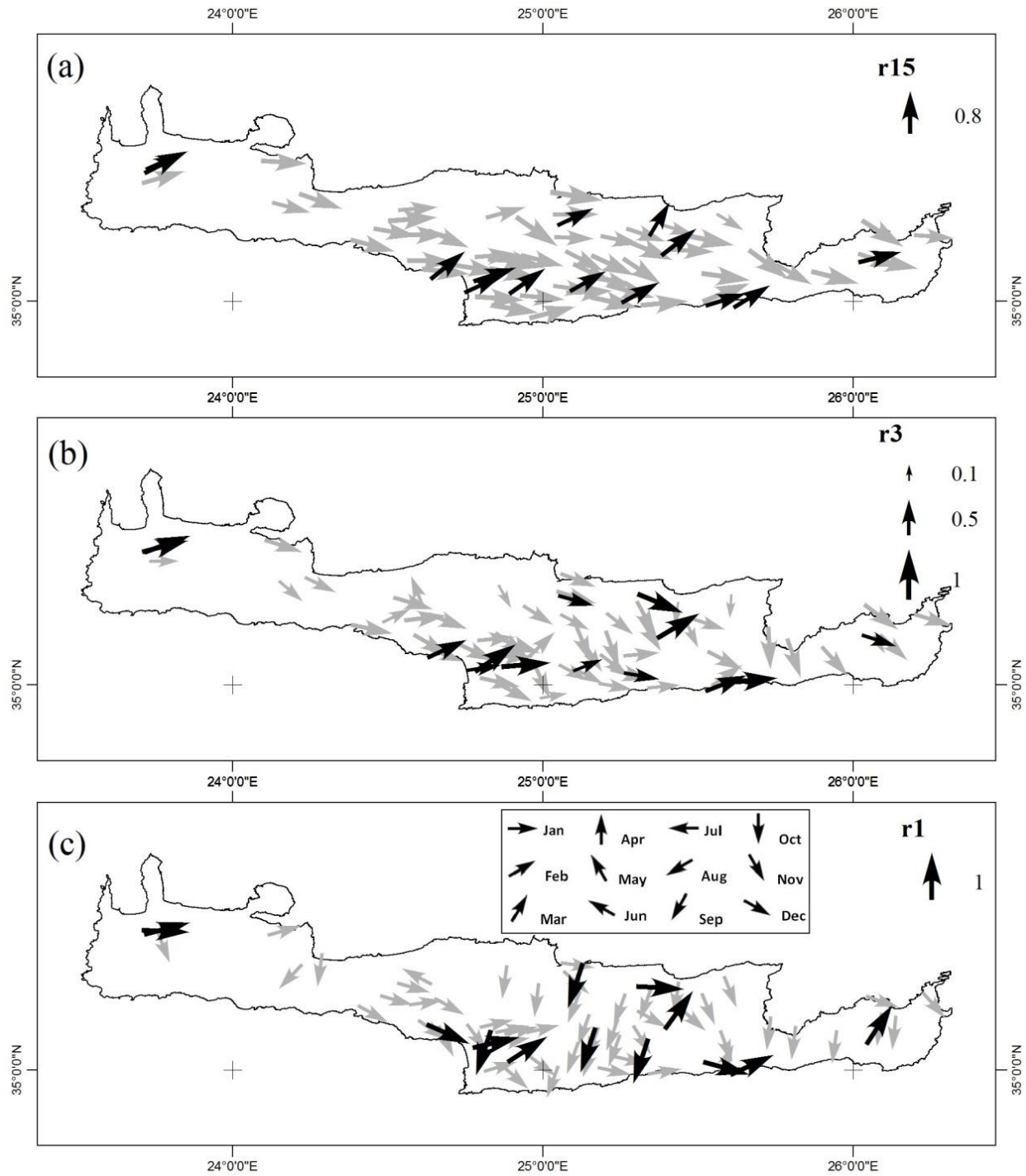
Η πλειονότητα των καταιγίδων που διέρχονται από την Κρήτη κυρίως το φθινόπωρο μέχρι τις αρχές του χειμώνα προέρχονται από νοτιοδυτικά, δυτικά και βορειοδυτικά, παρουσιάζοντας διαφοροποιήσεις σχετικά με το μέγεθος και την ένταση τους. Ένα μέρος από τις καταιγίδες προκαλούν ακραία πλημμυρικά φαινόμενα (Koutroulis et al., 2012). Τα δεδομένα φαινόμενα, θεωρούνται ως ένας από τους σημαντικότερους φυσικούς κινδύνους στην Ευρώπη, ως αιτία σημαντικών οικονομικών ζημιών αλλά και θνησιμότητας (Gaume et al., 2009). Μετά από περιόδους λειψυδρίας - ξηρασίας ή μεγάλων πυρκαγιών που καταστρέφουν δάση, ο κίνδυνος εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων είναι μεγαλύτερος. Στις χώρες που βρίσκονται στη λεκάνη της μεσογείου από το 1990 έως και το 2006, καταγράφηκαν 185 ακραία πλημμυρικά φαινόμενα, που προκάλεσαν οικονομικές ζημιές άνω των 29 εκατομμυρίων Ευρώ και 4.500 θανάτους (Llasat et al., 2010). Η καταγραφή των γεγονότων και η μελέτη τους, παρουσίασε πιθανή συσχέτιση των πλημμυρικών συμβάντων τόσο με την ακολουθία των κεραυνών, όσο και των υψηλών επιπέδων βροχόπτωσης. Από το 2008-2009, καταγράφηκαν δεκαέξι συμβάντα που μόλις 4 οδήγησαν σε πλημμυρικά φαινόμενα (Koutroulis et al., 2012).

Σε αρκετές μελέτες που αφορούν τις βροχοπτώσεις των τελευταίων 30 ετών, καταγράφεται αυξημένη συχνότητα πλημμυρών, κυρίως κατά μήκος των παράκτιων περιοχών και κοντά σε πόλεις. Υπάρχουν ελάχιστες καταγραφές πλημμυρών σχετικά με το νότιο τμήμα της Κρήτης και (Diakakis et al., 2012). Από το 2015 έως και το 2019, το πλήθος των φαινομένων αυξήθηκε δραματικά ξεπερνώντας σε συγκεκριμένα έτη (2015) τα εκατό φαινόμενα. Πιο συγκεκριμένα για την Περιφέρεια της Κρήτης, τα ακραία πλημμυρικά φαινόμενα έπληξαν σταθερά από το 2006 έως το 2019 σε ετήσια βάση με εξαίρεση το έτος 2014. Έως το

2014, τα φαινόμενα που καταγράφηκαν στην περιοχή της Κρήτης ήταν σε περιορισμένη κλίμακα και με μικρό πλήθος. Από το 2015 έως το 2019, το πλήθος εκδήλωσης των ακραίων καιρικών φαινομένων αυξάνεται στην Κρήτη, σε περισσότερους από ένα νομούς (ESWD, 2021). Επομένως, πιο ακριβή δεδομένα σχετικά με τη χωρική εμφάνιση αλλά και τη συχνότητα εμφάνισης των πλημμυρικών φαινομένων κατά το παρελθόν, θα βοηθήσει τελικά τη διαχείριση των κινδύνων των πλημμυρικών φαινομένων έπειτα από έντονα ή αστραπιαία κατακρημνίσματα και στη χαρτογράφηση ακόμη και περιοχών με περιορισμένη ετήσια ποσότητα βροχής, όπως το νότιο τμήμα της Κρήτης (Galía et al., 2018). Τα δεδομένα για τον προσδιορισμό τόσο του χρόνου, όσο και του μεγέθους των πλημμυρικών φαινομένων χρησιμοποιούνται σε τοπικές, εποχιακές και περιφερειακές αναλύσεις συχνότητας των πλημμυρών για την εκτίμηση των επιπτώσεων από τα συγκεκριμένα φαινόμενα (Koutroulis et al., 2010). Επιπλέον, αυξήθηκε το ποσοστό **διάβρωσης** κατά τη διάρκεια έντονης βροχόπτωσης σε ορεινές λεκάνες απορροής. Λόγω της απορροής από τις ορεινές περιοχές προς τις πεδινές, οι ποσότητες των υδάτων παρασύρουν φερτά υλικά προκαλώντας μεγαλύτερες ζημιές. Μια ακόμα παράμετρος που προκαλείται από τις αστραπιαίες βροχοπτώσεις στις ορεινές περιοχές είναι η **εναπόθεση φερτών υλικών**, όπου καθώς το νερό μεταφέρεται σε χαμηλότερες περιοχές, απορροφάται από το υπέδαφος (Galía et al., 2018). Σε μεγαλύτερη χωρική κλίμακα, υδρολογικά χαρακτηριστικά όπως κατακρήμνιση και ροή ύδατος απεικονίζουν τους περιφερειακούς κλιματικούς μηχανισμούς και την εποχικότητα των πλημμυρικών φαινομένων. Τα συγκεκριμένα φαινόμενα συνδέονται στενά με τις ενέργειες που λαμβάνουν χώρα σε κάθε περιοχή για τον μετριασμό της αλλαγής του κλίματος (Koutroulis et al., 2010).



Εικόνα 19 Η χωρική κατανομή και ο αριθμός των πλημμυρικών φαινομένων (1990-2007) για το νησί της Κρήτης και η μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση των 100 ετών. (Οι τιμές βροχόπτωσης της περιόδου επαναφοράς των 100 ετών υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας την κατανομή Log-Pearson Type III και χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος παρεμβολής EDW). Πηγή: (Koutroulis et al., 2010).



Εικόνα 20 Μέγιστη περιοδικότητα ετήσιων πλημμυρικών αιχμών για την περίοδο 1970-2000 σε σχέση με (α) την περιοδικότητα υπολογίστηκε για τα 15 μεγαλύτερα πλημμυρικά γεγονότα, (β) τα 3 μεγαλύτερα πλημμυρικά γεγονότα και (γ) το μεγαλύτερο γεγονός.

Η κατεύθυνση των διανυσμάτων υποδεικνύει τη μέση εμφάνιση ακραίας βροχόπτωσης σε ένα υδρολογικό έτος και το μήκος υποδεικνύει την ισχύ της περιοδικότητας.

Η παραπάνω εικόνα παρουσιάζει ένα πιο ομοιογενές χωρικό μοτίβο σε σύγκριση με εκείνο της ετήσιας μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης. Το συγκεκριμένο μοτίβο παρουσιάζει ομοιότητες αναφορικά με διαδικασίες που επηρεάζουν τη λεκάνη απορροής όπως είναι το λιώσιμο του χιονιού κατά τη διάρκεια έντονης βροχόπτωσης και των ανοιξιάτικων απορροών (Koutroulis et al., 2010).

Βάσει της Εικόνας 20, τα έντονα πλημμυρικά φαινόμενα καταγράφονται μεταξύ των μηνών Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου. Το μέγιστο της απορροής για την περιοχή των Χανίων εντοπίζεται κοντά στις 10 Δεκεμβρίου, ενώ για να εκδηλωθούν πλημμυρικά φαινόμενα στην ευρύτερη περιοχή καταγράφεται μια χρονική υστέρηση περίπου 45 ημερών. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που προκαλούν τα πλημμυρικά φαινόμενα είναι οι σωρευμένοι όγκοι υδάτων τόσο σε υγρή αλλά και σε στερεή μορφή που έχουν αποταμιευθεί σε ορεινούς όγκους του Νομού.

4.2 Κόστος ζημιών πλημμυρικών φαινομένων στην Κρήτη

Αναφορικά με το κόστος των επιπτώσεων των ακραίων καιρικών φαινομένων στην Κρήτη, τα δεδομένα είναι λίγα και έχουν αρχίσει να καταγράφονται πιο συστηματικά μόλις την τελευταία 20ετία. Όμως, ακόμα και σήμερα οι περισσότερες πηγές μπορούν να βρεθούν από τον ημερήσιο τύπο.

Πίνακας 3 Κόστη αποζημιώσεων από πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή των Χανίων μεταξύ 2000-2020.

Διάστημα	Κόστος αποκατάστασης	Περιοχή	Πηγή
20/4/2000	1.467.351,43 €	Σηρικάρι, Πελεκάνος, Ιναχώρι	ΦΕΚ/903/Β/19.7.2000
21/4/2000	8.804.108,58 €	Κισάμου-Σελίνου	Τα Νέα
15-16/1/2001	880,410,86 €	Χανιά, Πλατανιάς, Σούδα, Θέρισο, Νέας Κυδωνίας	ΦΕΚ/478/Β/25.4.2001
6/11/2004	240.000 €	Σκουτέλωνας, Κουνουπιδιανά, Γεράνι, Πλατανιάς, Πλακα, Φαλάσαρνα	Creteweather ΦΕΚ/179/Β/11.2.2005
17/10/2006	1.140.000 €	Αποκόρωνα, Αλμυρίδα, Θέρισο, Γεωργιούπολη	ΦΕΚ/399/Β/22.3.2007 Αγώνας της Κρήτης
3/12/2013	1.200.000 €	Κίσαμος, Πλατανιάς,	
26/10/2017	1.660.000 €	Χανίων- Κισάμου	Χανιώτικα Νέα
2/2019	3.000.000 €	Ταυρωνίτης-Παλαιόχωρα	Ypodomes.com
2/2019	50.000.000 €	Πλατανιά	Παρακρητικά

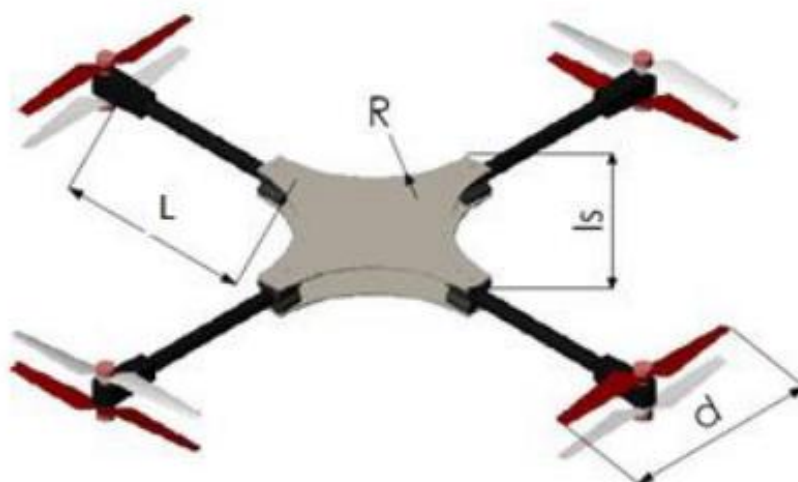
5 Αποτελέσματα μελέτης

5.1 ΣμηΕΑ για τροποποίηση καιρού

Η έρευνα σχετικά με τα ΣμηΕΑ είναι πολυτομεακή και καλύπτει διάφορα θέματα όπως ο έλεγχος (Holton et al., 2015), η διαχείριση αποστολών (Kyristis et al., 2016), η επιστροφή από το σημείο απογείωσης σε περίπτωση αποτυχίας επικοινωνίας (Kang et al., 2017) και η ανάπτυξη αισθητήρων (Sørensen et al., 2017). Η μέτρηση, η αποθήκευση και η διαχείριση της ενέργειας είναι θεμελιώδους σημασίας για την πτήση ΣμηΕΑ (Di Nisio et al., 2016; Sotheara et al., 2014). Είναι ενδιαφέρον ότι οι δονήσεις των ιπτάμενων αεροσκαφών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση της παρουσίας τους και την παρακολούθησή τους σε ανοιχτό πεδίο (Jiang et al., 2016). Λόγω της ποικιλίας των εφαρμογών που χρησιμοποιούνται τα ΣμηΕΑ, παρατηρείται η αναγκαιότητα καταγραφής των χαρακτηριστικών των επιμέρους εξαρτημάτων τους αλλά και ολόκληρων των ΣμηΕΑ, προκειμένου να εκτιμηθεί η καταλληλότητά τους για κάθε δεδομένο σκοπό (Hoffer et al., 2014; Mutlu and Hajiyev, 2015).

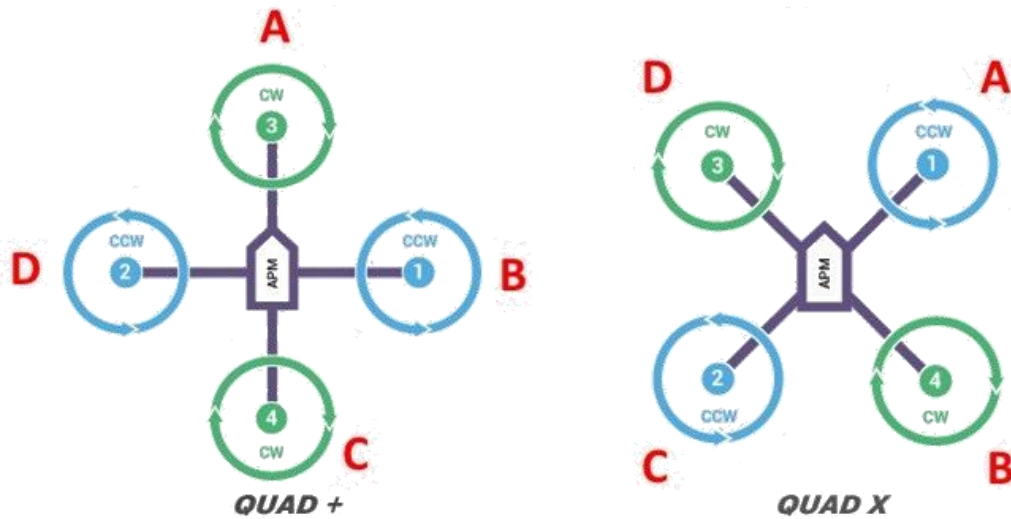
Οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που θα εξαπολύσει την σπορά των νεφών το ΣμηΕΑ είναι μια πολύ κρίσιμη πτυχή που επηρεάζει σε πολύ μεγάλο εύρος τη λειτουργία του αερομεταφερόμενου οχήματος. Ορισμένα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα (ΣμηΕΑ) λόγω του μικρού τους μεγέθους αλλά και της ελαφριάς κατασκευής τους, είναι ιδιαίτερα ευπαθή στις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Λόγω της υψηλής συγκέντρωσης υγρασίας στα σύννεφα, αυξάνεται ο κίνδυνος να δημιουργηθεί πάγος σε σημαντικά μέρη του ΣμηΕΑ, π.χ. έλικες, μπαταρία κ.α., ο οποίος θα μπορούσε να προκαλέσει πιθανά δυσλειτουργία σε αυτά. Επιπροσθέτως, η μεγάλη θερμοκρασιακή διαφοροποίηση μεταξύ των διαφορετικών σημείων εντός του νέφους, πιθανά να προκαλέσει αναταράξεις κατά την διαδικασία της πτήσης του ΣμηΕΑ εντός τους νέφους, κατά την εφαρμογή της σποράς. Η ενδεδειγμένη λύση, για την αποφυγή δυσλειτουργιών του ΣμηΕΑ λόγω της υψηλής συγκέντρωσης της υγρασίας είναι η θωράκιση των επιμέρους ηλεκτρονικών μερών-εξαρτημάτων από αυτή, η οποία είναι αρκετά δαπανηρή (Funk and Stütz, 2018). Τα σύγχρονα ΣμηΕΑ, εκτός από το σύστημα σποράς νεφών, φέρουν αισθητήρες, κάμερες (υπερφασματικές κ.α.), βαρόμετρο, γυροσκόπιο, μαγνητόμετρο κ.α. με σκοπό να παρέχουν ολοκληρωμένη πληροφόρηση προς το κέντρο λήψης δεδομένων αλλά και καλύτερη ανταπόκριση προς την πλοήγηση τους από τον χειριστή. Η λειτουργικότητα των οπτικών μέσων (κάμερες, αισθητήρες κ.α.) μπορεί να επηρεαστεί από την υψηλή συγκέντρωση υγρασίας με αποτέλεσμα οι πληροφορίες που λαμβάνει το ΣμηΕΑ να είναι ελλιπείς. Επομένως, η επίγνωση των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στο νέφος περιμετρικά του ΣμηΕΑ είναι κρίσιμης σημασίας, με σκοπό τον σχεδιασμό και εκτέλεση ασφαλών και αποδοτικά βέλτιστων σχεδίων πτήσεων (Funk and Stütz, 2018).

Τα εμπορικά ΣμηΕΑ μπορούν να φέρουν τέσσερις (Quadcopter), έξι (Hexacopters) ή και οκτώ κινητήρες (Octocopters). Τα Octocopters μπορεί να φέρουν 8 κινητήρες στο ίδιο επίπεδο ή να είναι τοποθετημένοι ανά ζεύγη σε σχήμα σταυρού, δηλαδή οι κινητήρες να βρίσκονται σε 2 διαφορετικά επίπεδα.



Εικόνα 21 Διάταξη οκτακόπτερου με δύο κινητήρες ανά βραχίονα.

Στη συγκεκριμένη διάταξη σε σχήμα σταυρού, τοποθετούνται οι κινητήρες στα τέσσερα άκρα και παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα η φορά περιστροφής του κάθε κινητήρα (Bandala et al., 2019). Λόγω των ειδικών απαιτήσεων σχετικά με την κατασκευή του ΣμηΕΑ, θα πρέπει να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί και δεν υπάρχουν εμπορικά προϊόντα που να καλύπτουν τις συγκεκριμένες απαιτήσεις. Μερικές από τις απαιτήσεις που απαραίτητα θα πρέπει να πληρούνται για την εφαρμογή του στην σπορά των νεφών περιλαμβάνουν την ανύψωση τουλάχιστον τριών χιλιομέτρων από την επιφάνεια της θάλασσα, την ανυψωτική ικανότητα μεταφοράς ωφέλιμου φορτίου τουλάχιστον 10 kg και χρόνο πτήσης που θα υπερβαίνει τα 30 min. Το ΣμηΕΑ είναι ιδιοκατασκευή για την κάλυψη των ειδικών απαιτήσεων που θα παρέχει στις αποστολές του. Επειδή δεν κατασκευάζεται ένα εμπορικό ΣμηΕΑ με τις ιδιαίτερες αυτές απαιτήσεις απαιτείται να δηλωθεί η ιδιοκατασκευή στην ΥΠΙΑ (Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας) λόγω του ότι η μέγιστη μάζα απογείωσης του υπερβαίνει τα 25 kg.



Εικόνα 22 Διάταξη ροτόρων σε σταυρό ή σε X διάταξη Πηγή:(Navio+ Motors Order Sequence for Quadcopter - Navio / Edge / Hardware - Community Forum, 2015)

5.1.1 Μηχανολογικά μέρη ΣμηΕΑ

Τα κύρια συστατικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή είναι το πλαίσιο του ΣμηΕΑ, οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος, οι διάφορων τύπων αισθητήρες και η μπαταρία. Ένα πολύ σημαντικό ακόμα μηχανικό μέρος για την λειτουργία του ΣμηΕΑ είναι ο ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας (ESC), ο οποίος παράγει διαφορετικά σήματα υψηλής συχνότητας. Το ESC ελέγχει τους κινητήρες και τους διατηρεί σε λειτουργία, επιπλέον αυξάνει την ισχύ παροχής ρεύματος στους κινητήρες (Shah, 2018). Ο Meng Joo (Meng et al., 2013) περιέγραψε ότι η διαμόρφωση του σχήματος του ΣμηΕΑ σε σχήμα αστεριού ενός οκτακόπτερου είναι ιδανικό για την μεταφορά ένας μεγάλου ωφέλιμου φορτίου.

Η μηχανική κατασκευή του ΣμηΕΑ, αποτελείται από πλαίσιο και έλικες. Το πλαίσιο είναι το βασικό στοιχείο για κάθε πολυκινητήριο ΣμηΕΑ, επειδή συγκρατεί όλα τα επιμέρους τμήματα μαζί. Σε περίπτωση που παρουσιαστεί δόνηση ή αστάθεια σε ένα από τα μέρη, τότε η πτήση δεν θα ήταν ομαλή. Το πλαίσιο, συγκρατεί απλά τα επιμέρους τμήματα, αλλά εφόσον είναι σωστά σχεδιασμένο, τότε παρέχει σταθερότητα κατά την αιώρηση σε ένα σταθερό σημείο ή και κατά την πτήση. Το πλαίσιο του ΣμηΕΑ, είναι κατασκευασμένο από αλουμίνιο και τα μπράτσα του έχουν μήκος 45 cm. Το αλουμίνιο επιλέγεται λόγω της μεγαλύτερης αντοχής και ανθεκτικότητας του. Τα μπράτσα, που τοποθετούνται οι κινητήρες, συνδέονται με το πλαίσιο με fiberglass. Το συνολικό πλάτος του οκτακόπτερου είναι 120 cm, το ύψος από το έδαφος είναι 30cm και το βάρος του είναι 7 kg, χωρίς φορτίο. Το επόμενο στοιχείο που χρησιμοποιείται είναι ένας αισθητήρας επιταχυνσιόμετρου που μετρά την επιτάχυνση και τη βαρύτητα. Το άλλο συστατικό που χρησιμοποιείται είναι ο αισθητήρας γυροσκοπίου που μετρά την ταχύτητα περιστροφής γύρω από τους

3 άξονες. Ελέγχει επίσης τη συσκευή και διατηρεί την πτητική ικανότητα ΣμηΕΑ ασφαλή, παρέχοντας μιας ομαλή πτητική λειτουργία. Τέλος, συνδέεται μια μπαταρία Li-Po που αποτελείται από 6 διαφορετικά κελιά, εξασφαλίζοντας επαρκή χρόνο για την εκτέλεση της αποστολής του οκτακόπτερου.

5.1.1.1 Πλαίσιο ΣμηΕΑ

Το πλαίσιο ενός οκτακόπτερου πρέπει να είναι άκαμπτο και να έχει την ικανότητα να μειώνει τους κραδασμούς που παράγονται από κινητήρες χωρίς ψήκτρες. Στα οκτακόπτερα, το πλαίσιο είναι συνήθως μεγάλο σε σύγκριση με τα τετρακόπτερα και τα εξακόπτερα καθώς περιλαμβάνουν μεγαλύτερο πλήθος από βραχίονες. Το οκτακόπτερο μπορεί να σχεδιαστεί τόσο σε σχήμα αστεριού με οχτώ βραχίονες, όσο και σε σχέδιο σταυρού με δύο κινητήρες ανά βραχίονα. Ο σχεδιασμός του συγκεκριμένου ΣμηΕΑ που χρησιμοποιείται στην εργασία, αφορά σε σχεδιασμό αστεριού που παρέχει μεγαλύτερη σταθερότητα κατά την πτήση ιδιαίτερα σε ακραίες συνθήκες. Τα μπράτσα του είναι κατασκευασμένα από κράμα αλουμινίου λόγω της μεγαλύτερης αντοχής, του χαμηλότερου κόστους και βάρους σε σχέση με τα ανθρακονήματα (Meng et al., 2013; Shah, 2018).

Ο σχεδιασμός του σκελετού του ΣμηΕΑ είναι πολύ σημαντικός, καθώς μεγιστοποιεί την ώθηση και μειώνει το ρυθμό απώλειας της κινητικής ενέργειας. Η επιλογή του σωστού γεωμετρικού μοντέλου, παρέχει την απαιτούμενη σταθερότητα για την μεταφορά μεγάλων φορτίων (Gouiaa et al., 2017). Η ελαχιστοποίηση του βάρους του πλαισίου του ΣμηΕΑ, του παρέχει την δυνατότητα μεταφοράς περισσότερων αισθητήρων.

Οι Meng, Yan και Wang συγκρίνοντας το αλουμίνιο με τα ανθρακονήματα, ως υλικά κατασκευής για το πλαίσιο του ΣμηΕΑ, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο χάλυβας έχει μικρότερο κόστος αλλά μεγαλύτερο βάρος ενώ τα ανθρακονήματα είναι αρκετά ακριβό υλικό κατασκευής, παρά το χαμηλότερο βάρος τους. Συνεπώς το ιδανικό υλικό βάσει των δυο παραπάνω χαρακτηριστικών (βάρος, κόστος) είναι ένα συγκεκριμένο κράμα αλουμινίου. Το μήκος του κάθε βραχίονα είναι 45 cm. Η συνολική διάμετρος του ανεπτυγμένου οκτακόπτερου είναι 120 cm και το βάρος του είναι 3.000 g περίπου εκτός από τα ηλεκτρονικά του μέρη. Κάθε βραχίονας έχει ίσο μήκος και γωνία 45 μοιρών με έναν άλλο γειτονικό βραχίονα (Meng et al., 2013). Η βάση και το μπράτσο που στηρίζεται ο κινητήρας είναι κατασκευασμένα από υαλόνημα (Fiberglass) λόγω υψηλότερης ακαμψίας και μικρότερου βάρους σε σύγκριση με τα ανθρακονήματα, οι οποίες είναι συγκριτικά ακριβότερες αν και ελαφρύτερες. Η βάση αποτελείται από τη θέση της μπαταρίας, θέση του Arduino και τη βάση στήριξης (Shah, 2018).

5.1.1.2 Έλικες

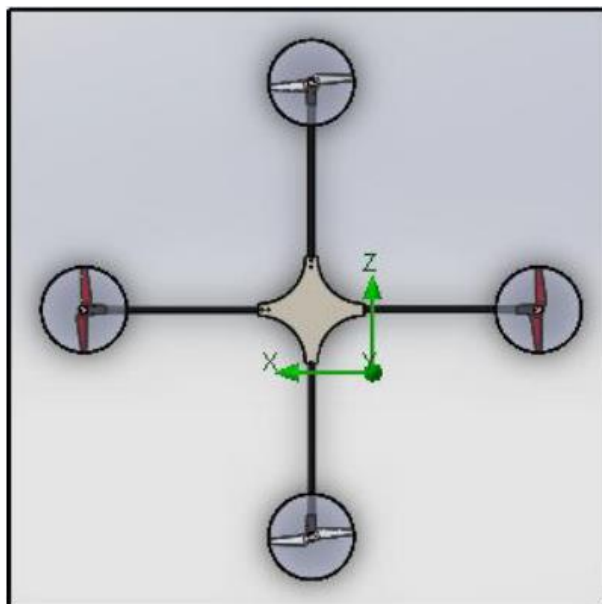
Οι έλικες είναι ο τύπος των πτερυγίων που μετατρέπουν την περιστροφική κίνηση σε ώθηση. Για την ώθηση του οκτακόπτερου, χρησιμοποιούνται τέσσερις έλικες με δεξιόστροφη και τέσσερις έλικες με

αριστερόστροφη περιστροφή. Οι έλικες, είναι τοποθετημένες στις άκρες του κάθε μπράτσου. Στην άκρη του μπράτσου, βρίσκονται 2 κινητήρες, όπου ο ένας βρίσκεται στην πάνω μεριά του μπράτσου και ο άλλος στην κάτω (Shah, 2018). Στο κάθε μπράτσο είναι τοποθετημένες δύο διαφορετικού τύπου έλικες, αλλά με σταθερό ρυθμό περιστροφής. Οι τύποι των ελίκων ταξινομούνται σε κανονικές έλικές και έλικες ώθησης (pusher type). Η διαφοροποίηση των ελίκων παρέχει την δυνατότητα πτήσης του ΣμηΕΑ, ακόμα και με μόλις έξι έλικες. Η ώθηση θα είναι οριακά επαρκής για να γίνει αναγκαστική προσγείωση αλλά θα είναι αρκετά σταθερό κατά την πλοήγηση του. Έχει αποδειχτεί ότι το κατάλληλο μέγεθος του βραχίονα και της έλικας επηρεάζουν σημαντικά την ώθηση του ΣμηΕΑ είναι ανάλογο με την ισχύ των κινητήρων, το πλήθος των κινητήρων και το βάρος του ΣμηΕΑ (Gouiaa et al., 2017). Το κατάλληλο μήκος και πλάτος της έλικας, προκαλεί την δίνη μακριά από την βάση στήριξης του ΣμηΕΑ, καθιστώντας το σταθερότερο κατά την πτήση (Gouiaa et al., 2017). Επιπροσθέτως, καταγράφονται σε αεροδυναμικές σήραγγες δεδομένα αναφορικά με χαρακτηριστικά κίνησης του αέρα για την βελτιστοποίηση της απόδοσης των επιμέρους τμημάτων (Rostami and Farajollahi, 2021). Έχουν αναφερθεί τα αποτελέσματα της διαφοροποίησης μεταξύ διαφορετικών τύπων ελίκων, δείχνοντας τη σχετικά μεγάλη διαφορά ώθησης, περίπου 10%, παρά την ομοιότητά τους στο συνολικό μέγεθος. Σύμφωνα με τους Adamo et al. (2017), οι διαφορές στην κλίση του άκρου της έλικας μπορούν να παράγουν μεγάλες παραλλαγές ώσης, γεγονός που επιβεβαιώνει τη σημασία του ακριβούς χαρακτηρισμού και της επιλογής των εξαρτημάτων του συστήματος προώθησης

Οι έλικες που χρησιμοποιεί το ΣμηΕΑ, θα είναι κατασκευασμένες από ίνες άνθρακα και ενισχυμένες από νάιλον, το οποίο προσδίδει ανθεκτικότητα σε σχέση με άλλα υλικά, όπως π.χ. ξύλο αλλά και χαμηλό κόστος σε σχέση με το να ήταν η έλικα κατασκευασμένη εξ ολοκλήρου από ίνες άνθρακα (Shah, 2018). Το μήκος των ελίκων είναι 40,64 cm (16 inches) και το πλάτος τους είναι 15,24 cm (6 in). Επιπροσθέτως, οι έλικες λόγω του υλικού κατασκευής τους, έχουν μικρό βάρος, το οποίο είναι σημαντικό καθώς επηρεάζει τον χρόνο πτήσης του ΣμηΕΑ. Το ΣμηΕΑ, έχει 8 κινητήρες, από τους οποίους οι τέσσερις περιστρέφονται δεξιόστροφα (Clockwise) και τέσσερις αριστερόστροφα (Counterclockwise). Οι οκτώ κινητήρες παρέχουν διαφορετική ώθηση προς το ΣμηΕΑ, καθιστώντας το ικανό να απογειωθεί κάθετα και παρέχοντας του εξαιρετικά υψηλή σταθερότητα κατά την πτήση (Shah, 2018).

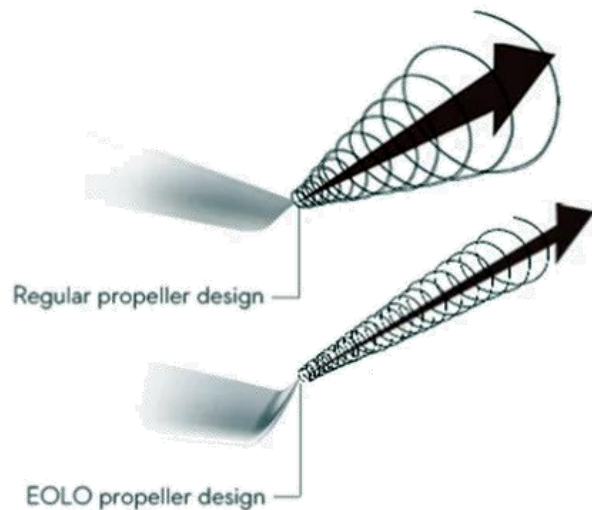
Για να ελαχιστοποιηθούν οι πιθανότητες πτώσης του ΣμηΕΑ, μέσω των συστημάτων ελέγχου ταχύτητας περιστροφής κινητήρων (ESC - Electronic Speed Controller) παρέχεται η δυνατότητα να επανακαθορίζεται η ταχύτητα περιστροφής του κάθε έλικα μέσα από των κινητήρα, παρέχοντας αυξημένη δυνατότητα ώσης σε περίπτωση ανάγκης. Στην περίπτωση που ο χειριστής του ΣμηΕΑ αντιληφθεί ότι ένας κινητήρας δεν λειτουργεί, τότε αλλάζει σε αρνητική την γωνία περιστροφής του στροφείου με σκοπό να μην χαθεί ολόκληρη η ώση που θα παρέχεται από το συγκεκριμένο μπράτσο (Shah, 2018).

Η Εικόνα 23 παρουσιάζει την ροπή του ΣμηΕΑ αναφορικά με τη στιγμιαία συμβολή των ροτόρων. Η συνολική ροπή του εναέριου οχήματος αποτελεί αποτέλεσμα των επιμέρους ροπών των στροφείων. Η κίνηση του εναέριου οχήματος όσο και το αντιστάθμισμα σε δυνάμεις που δέχεται (π.χ. βαρύτητα, πλευρικοί άνεμοι κ.α.) εξαρτάται από την ισχύ των ροτόρων που βρίσκονται εγκατεστημένοι αλλά και την φορά της περιστροφής τους. Επιπροσθέτως, εκτός από την υπερνίκηση των συγκεκριμένων δυνάμεων αλλά και την κίνηση του, θα πρέπει να μπορεί να μεταφέρει και επιπλέον βάρος (payload) που θα αποτελείται από την συσκευή ψεκασμού των νεφών αλλά και το δοχείο με το υγρό διάλυμα ψεκασμού (Bandala et al., 2019).



Εικόνα 23 Διάγραμμα παρουσίασης της φοράς περιστροφής του κάθε κινητήρα από το ΣμηΕΑ, από την επάνω πλευρά. Πηγή: (Gouiaa et al., 2017)

Στην κατασκευή του ΣμηΕΑ, χρησιμοποιούνται EOLO (Foldable Carbon Fiber Reinforced Nylon) ΣμηΕΑ Propellers 16x6 inches, οι οποίες είναι έλικες με ειδικά χαρακτηριστικά υψηλών επιδόσεων και αντοχής. Τα υλικά που είναι κατασκευασμένες για την παροχή της βέλτιστης αεροδυναμικής απόδοσης είναι ίνες άνθρακα μαζί με νάιλον PA66, συγκολλημένα με μια ειδική φόρμουλα (Εικόνα 24).



Εικόνα 24 Παρουσίαση της διαφοροποίησης της ροής του αέρα κατά την ώση μεταξύ κοινής έλικας και μιας έλικας EOLO.

Τα συγκεκριμένα υλικά, παρέχουν χαμηλού επιπέδου απορροφητικότητας και παρακράτησης των σταγονιδίων της υγρασίας στις έλικες, και τελικά επιβράδυνσης του ρυθμού περιστροφής τους. Οι έλικες είναι τρεις φορές πιο ανθεκτικές σε σύγκριση με τις έλικες που είναι κατασκευασμένες μόνο από ίνες άνθρακα. Η επιλογή του συγκεκριμένου μοντέλου έλικας έγινε επίσης για το λόγο ότι η ελάχιστη θερμοκρασία αντοχής της κατά την περιστροφή της είναι $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, όπου πληροί τις προϋποθέσεις του υψομέτρου που θα χρειάζεται να μεταβαίνει το ΣμηΕΑ για την σπορά των νεφών.

5.1.2 Ηλεκτρονικά μέρη ΣμηΕΑ

Τα ηλεκτρονικά μέρη του ΣμηΕΑ αποτελούνται από τον πομπό και τον δέκτη, τους κινητήρες, το σύστημα ελέγχου ταχύτητας περιστροφής των ελίκων (ESC), τον αισθητήρα του επιταχυνσιομέτρου, τον αισθητήρα του γυροσκοπίου και την μπαταρία (Shah, 2018). Η ηλεκτρονική σε αυτό το έργο αποτελείται από τρεις ενότητες. Στην πρώτη ενότητα παρουσιάζονται τα επιμέρους τμήματα που αφορούν την εικόνα και τη μονάδα επεξεργασίας της (Κάμερα, Πομπός Δέκτης VTX, κ.α.), ακολούθως η επόμενη ενότητα αφορά την κύρια μονάδα επεξεργασίας εντολών και η τελευταία ενότητα αφορά το πρόγραμμα ελέγχου του ΣμηΕΑ (αφορά τον απομακρυσμένο έλεγχο του ΣμηΕΑ) (Meng et al., 2013).

5.1.2.1 Πομπός – Δέκτης σήματος (Micro signal transmitter – receiver)

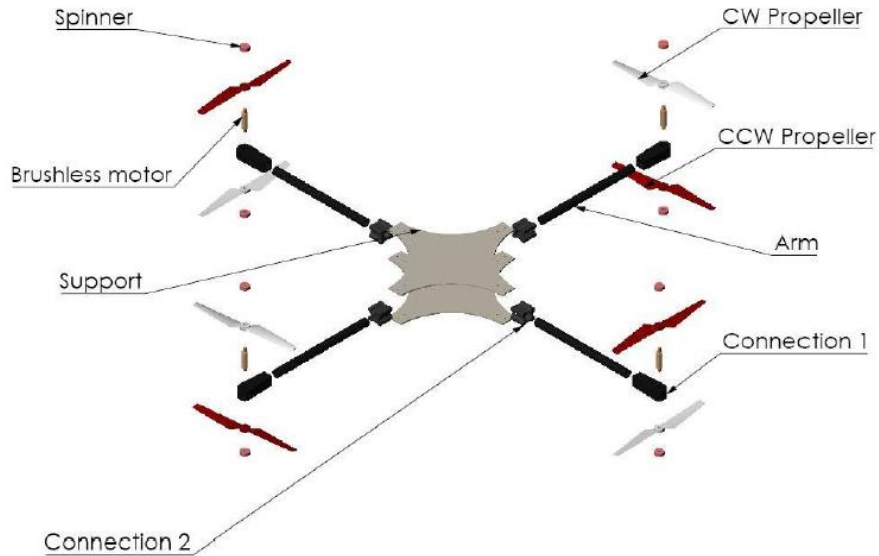
Το μοντέλο του πομπού-δέκτη που τοποθετείται στο ΣμηΕΑ είναι XLRSD2 V3 Radio Control & Transparent Data Link (XLRSD2, Ισπανία), με εμβέλεια από 15 έως 30 km, σε κανονικές συνθήκες αλλά δύναται να φτάσει και τα 100 km. Υπάρχει η δυνατότητα της επιλογής μεταξύ 2 διαφορετικών συχνοτήτων Industrial, Scientific and Medical (ISM), η πρώτη από 863-950 MHz και η δεύτερη στα 433 MHz.

Επιπροσθέτως, μέσω του XLRSD2 V3 Radio Control + Transparent Data Link, παρέχονται στον χειριστή πληροφορίες αναφορικά με τα δεδομένα της λειτουργίας του ΣμηΕΑ αλλά και των περιμετρικών αισθητήρων σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, παρέχεται η δυνατότητα της πτήσης του ΣμηΕΑ, μέσω του αυτόματου πιλότου. Η συγκεκριμένη λειτουργία είναι πολύ χρήσιμη σε περίπτωση που ο χειριστής επιθυμεί το ΣμηΕΑ να επιτελέσει μια προδιαγεγραμμένη πορεία, βάσει της οποίας έχουν καθοριστεί και οι απαιτούμενες ρυθμίσεις.

Μέσω της τεχνολογίας 5G που αναπτύσσεται ταχύτατα, σε σύντομο χρονικό διάστημα θα παρέχετε η δυνατότητα μέσω των δεδομένων δικτύων μεταφοράς δεδομένων να μπορεί να διασυνδεθεί ένα ΣμηΕΑ με το κέντρο ελέγχου του, παρέχοντας του απεριόριστες δυνατότητες. Μερικές από τις δυνατότητες αυτές είναι η μεγιστοποίηση στην εμβέλεια κάλυψης, καθώς δεν θα υπάρχουν περιορισμοί λόγω απώλειας σήματος και οι ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων (π.χ. εικόνα, καταγραφές αισθητήρων κ.α.) (5G!Drones, 2021; Corpuz-Bosshart, 2021).

5.1.2.2 *Κινητήρες (Motors)*

Τα οκτακόπτερα έχουν μεγαλύτερη ανυψωτική ικανότητα και χρησιμοποιούνται κυρίως στη μεταφορά μεγάλων ωφέλιμων φορτίων, καθώς λόγω του σχεδιασμού τους παρέχουν μεγαλύτερη σταθερότητα κατά την πλοήγηση τους (Sigalos et al., 2019). Το ΣμηΕΑ θα διαθέτει 8 ηλεκτροκινητήρες Brushless DC, μοντέλο XOAR Titan T8120 100KV (XOAR, ΗΠΑ) με την ονομαστική ισχύ του κάθε κινητήρα να ανέρχεται στα 1.400 g ώθησης. Ο τρόπος σύνδεσης φαίνεται στην Εικόνα 25. Ο κινητήρας BLDC, λειτουργεί από μια πηγή ενέργειας (μπαταρία) και ο οποίος παρέχει μεγαλύτερη ροπή σε σύγκριση με το βάρος του, παρέχοντας έτσι: υψηλότερη απόδοση, μικρότερο θόρυβο, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και μεγαλύτερη αξιοπιστία (Shah, 2018; Sigalos et al., 2019). Ο κινητήρας BLDC είναι συμπαγής σε σύγκριση με τους κινητήρες servo και stepper και έχει μικρότερο μέγεθος. Επίσης, σε σύγκριση με τους κινητήρες stepper και servo, οι κινητήρες BLDC επιτυγχάνουν υψηλότερες στροφές ανά λεπτό, υψηλότερη απόδοση, μικρότερη κατανάλωση ισχύος και παράγουν λιγότερες δονήσεις (Shah, 2018).



Εικόνα 25 Αναλυτική παρουσίαση της κίνησης των κινητήρων και του τρόπου σύνδεσής τους. Πηγή: (Gouiaa et al., 2017).

Ο κάθε κινητήρας του ΣμηΕΑ, θα παρέχει ώθηση 2.800 g και η συνολική μέγιστη ώθηση που παράγεται είναι, επομένως, 22.400 g. Οι οκτώ κινητήρες μπορούν να τοποθετηθούν σε σχήμα σταυρού (+) ή σε σχήμα οκταγώνου, αμφότερες οι διαμορφώσεις αυτές χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα (Shah, 2018). Ο κινητήρας BLDC που χρησιμοποιείται στο οκτακόπτερο λειτουργεί στα 0,87 A και έως τις 13.000 rpm, παράγοντας ώθηση 2.800 g. Οι διαστάσεις του κάθε κινητήρα είναι $\Phi 88,6 \times 47,9$ mm και το βάρος 556 g.

5.1.2.3 Σύστημα ελέγχου ταχύτητας περιστροφής κινητήρων (ESC - Electronic Speed Controller)

Ο ηλεκτρονικός ελεγκτής ταχύτητας (ESC - Electronic Speed Controller) ελέγχει τις στροφές των κινητήρων BLDC ανά λεπτό (Shah, 2018). Ο μικροελεγκτής APD F-Series 200F3 (APD, Αυστραλία), επικοινωνεί αμφίδρομα με τον κινητήρα και την κεντρική μονάδα ελέγχου του ΣμηΕΑ. Στο συγκεκριμένο οκτακόπτερο θα εγκατασταθούν 8 κινητήρες BLDC και ισάριθμα ESC. Η συχνότητα του σήματος που ο ελεγκτής ESC μεταφέρει στον κινητήρα μπορεί να διαφέρει σε κάθε ένα κινητήρα καθώς λειτουργούν ανεξάρτητα (Sigalos et al., 2019). Η επιλογή του ESC εξαρτάται από τον ρυθμό που ο κάθε κινητήρας αποφορτίζει την μπαταρία (Shah, 2018). Στο οκτακόπτερο, έχει χρησιμοποιηθεί ο ελεγκτής ESC APD F-Series 200F3[X] 14S 200A 60V 32-Bit, ο οποίος είναι εφοδιασμένος με ένα επεξεργαστή F3, που διασφαλίζει ότι δεν θα παραληφθούν εντολές εισόδου, ακόμη και με τα υψηλότερα ποσοστά ενημέρωσης των πληροφοριών προς τον ελεγκτή ESC. Η μέγιστη ισχύς αγγίζει τα 18 kW που δύναται να παρέχουν οι συγκεκριμένοι ελεγκτές ESC, καθιστώντας τους κινητήρες του ΣμηΕΑ ορθά τροφοδοτούμενους με επαρκή ενέργεια. Το βάρος του ηλεκτρονικού ελεγκτή ταχύτητας που χρησιμοποιείται είναι περίπου 36 g και διαστάσεις $73 \times 34 \times 20$ mm.

5.1.2.4 Πολυαισθητήρας

Ο πολυαισθητήρας Berry GPS-IMUv3 (OzzMaker, Αυστραλία), περιλαμβάνει μια υψηλής ποιότητας μονάδα GPS που υποστηρίζει 3 ταυτόχρονα GNSS (GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou), επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο, μαγνητόμετρο (πυξίδα), βαρόμετρο, ελεγκτής υψομέτρου, θερμομετρο. Το Berry GPS-MUv3 διαθέτει ενσωματωμένη κεραία, παρέχοντας την δυνατότητα αποστολής σε πραγματικό χρόνο των δεδομένων, καθώς και την αποθήκευση των δεδομένων μέσω του SupCap στη μνήμη RAM για 4 ώρες, καθώς διαθέτει εσωτερική μπαταρία. Ο χειριστής του ΣμηΕΑ, σε πραγματικό χρόνο ενημερώνεται για την κατάσταση λειτουργίας του πολυαισθητήρα, ώστε σε πιθανή δυσλειτουργία να απανεργοποιησει τον αντίστοιχο αισθητήρα ή και ολοκληρω τον πολυαισθητήρα. Το βάρος του πολυαισθητήρα που χρησιμοποιείται είναι περίπου 6 g και διαστάσεις 65 x 30 mm.

5.1.2.5 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας δεδομένων

Το ΣμηΕΑ θα διαθέτει για κεντρική μονάδα επεξεργασίας δεδομένων, ένα Atlas 200 Dev Kit (Huawei, Ινδία) που περιλαμβάνει ένα επεξεργαστή Huawei Ascend 310. Χάρη στο ολοκληρωμένο πακέτο διαδικασιών που παρέχει το Kit, είναι πλήρως παραμετροποιήσιμο και παρέχει τόσο πολλαπλές θύρες διασύνδεσης όσο και τον προγραμματισμό του εξ αρχής. Η εταιρεία Huawei, το προτείνει ως μια ιδανική λύση για την χρήση του συγκεκριμένου Kit, ως κεντρική μονάδα επεξεργασίας σε ΣμηΕΑ. Μερικά από τα χαρακτηριστικά είναι η μνήμη LPDDR4x, 8 GB, με ταχύτητα εγγραφής 3.200 Mbit/s, αποθηκευτικός χώρος σε κάρτα μνήμης με δυνατότητα εγγραφής έως 2 TB και θύρες όπως δικτύου 1 GE RJ-45 port, USB 3.0 Type-C port και άλλες (40-pin I/O connector, 22-pin MIPI connectors & onboard microphones).

5.1.2.6 Κύρια Μπαταρία ΣμηΕΑ (Primary Battery)

Η κύρια μονάδα ενέργειας, που θα τροφοδοτεί το σύνολο των πτητικών λειτουργιών (κύριων και δευτερευόντων) του ΣμηΕΑ εκτός από την λειτουργία του ψεκασμού, θα είναι μια Wild Scorpion 22,2V 15C (Wild Scorpion, Κίνα) με χωρητικότητα 16.000 mAh, η τάση της είναι στα 22,2 V, ο ρυθμός αποφόρτισης της στα 15C και το βάρος της περίπου στα 2.470 g. Η κατασκευάστρια εταιρεία της μονάδας ενέργειας είναι η Sanyan Energy και η κατασκευή της γίνεται στην Κίνα. Κατά τη λειτουργία οκτώ κινητήρων BLDC, η μπαταρία με χωρητικότητα 16.000 mAh διαρκεί περίπου 40 min για να αποφορτιστεί πλήρως, παρέχοντας ασφαλή χρόνο πτήσεις περίπου 35 min. Η τεχνολογία της μπαταρίας είναι Li-Po, δηλαδή Lithium Polymer που βασίζεται σε λίθιο και ως εκ τούτου προτιμάται ως επί το πλείστον σε όλες τις σύγχρονες κατασκευές λόγω των πλεονεκτημάτων της (μεγαλύτερη αξιοπιστία, διάρκεια λειτουργίας κ.α.). Η πιο σημαντική παράμετρος δεν είναι το βάρος της μπαταρίας που θα φέρει το ΣμηΕΑ, αλλά η αξιοπιστία της κατά την λειτουργία της, γι' αυτό το λόγο επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος τύπος μπαταρίας,

παρότι ο λόγος της ενέργειας προς βάρος είναι υψηλότερος σε σύγκριση με άλλους τύπους μπαταριών (Shah, 2018).

5.1.2.7 Δευτερεύουσες Μπαταρίες (Secondary Batteries)

Το ΣμηΕΑ, εκτός από την κύρια μπαταρία που θα τροφοδοτεί το σύνολο των λειτουργιών του, θα φέρει και 2 επιπλέον μπαταρίες, μικρότερης ισχύος. Η πρώτη από τις 2 δευτερεύουσες μπαταρίες θα χρησιμοποιείται μόνο από το ψεκαστικό συγκρότημα, ενώ η δεύτερη μπαταρία θα χρησιμοποιείται ως εφεδρική σε περίπτωση που η κύρια μπαταρία παρουσιάσει οποιαδήποτε δυσλειτουργία για την ομαλή επιστροφή του ΣμηΕΑ προς το σημείο προσγείωσης του αλλά και θα τροφοδοτεί με σταθερή τάση τον αισθητήρα GPS. Η μπαταρία Traxxas Li-Po Battery 4S 14,8 V 6.700 mAh (Hobby Works, ΗΠΑ), με ρυθμό αποφόρτισης στα 25C (μέγιστος 50C), είναι τεχνολογίας Li-Po, παρέχοντας το σύνολο των πλεονεκτημάτων που έχουν προαναφερθεί και διαθέτει 4 κελιά. Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, προσφέρουν μεγάλη ισχύ και απόδοση καθώς και χρόνο λειτουργίας. Η συγκεκριμένη μπαταρία, έχει διαστάσεις 17,8 x 44 x 5 cm και βάρος 644 g.

Παρά το γεγονός ότι έχουν αναζητηθεί μπαταρίες οι οποίες είναι οι πλέον αξιόπιστες σε ακραίες καιρικές συνθήκες για την συγκεκριμένη εφαρμογή, δεν παραβλέπεται το γεγονός ότι στο συγκεκριμένο υψόμετρο σποράς οι συνθήκες διαφέρουν κατά πολύ από εκείνες στην επιφάνεια της γης. Ο μέσος ρυθμός πτώσης της θερμοκρασίας στην τροπόσφαιρα είναι περίπου 0,6°C/100 m (Pham and Pakrasi, 2017). Είναι επίσης γνωστό ότι η πίεση της ατμόσφαιρας μειώνεται όσο αυξάνεται το ύψος, άρα όταν το ΣμηΕΑ ανέρχεται σε συγκεκριμένο υψόμετρο με σκοπό την σπορά υλικού συμπύκνωσης σε ένα νέφος θα αντιμετωπίσει αυτούς τους 2 περιορισμούς. Στην Εικόνα 26 παρουσιάζονται εμπορικά ΣμηΕΑ και τα αντίστοιχα μέγιστα υψόμετρα πτήσης τους.

Drone Model:	Max Wind Speed:	Temperature Limit:	Max Altitude Limit:
1. DJI Phantom 3	10 m/s	32°F to 104°F (0°C to 40°C)	6000 m
2. DJI Phantom 4	10 m/s	32°F to 104°F (0°C to 40°C)	6000 m
3. DJI Phantom 4 PRO	10 m/s	32°F to 104°F (0°C to 40°C)	6000 m
4. DJI Mavic PRO	10 m/s	32°F to 104°F (0°C to 40°C)	5000 m
5. DJI Mavic Air	10 m/s	32°F to 104°F (0°C to 40°C)	5000 m
6. DJI Inspire 1	10 m/s	14°F to 104°F (-10°C to 40 °C)	4500 m
7. DJI Inspire 2	10 m/s	14°F to 104°F (-10°C to 40 °C)	5000 m
8. Yuneec Typhoon H520	12 m/s	14°F to 104°F (-10°C to 40 °C)	5000 m
9. Yuneec Typhoon H Plus	12 m/s	14°F to 104°F (-10°C to 40 °C)	5000 m
10. SwellPro Splash Drone 3	12 m/s	14°F to 104°F (-10°C to 40 °C)	4000 m

Εικόνα 26 Μέγιστα υψόμετρα πτήσης εμπορικών ΣμηΕΑ. Πηγή: (Mario, 2022)

5.1.2.8 Ελεγκτής Πτήσης (Flight Controller)

Ο ελεγκτής πτήσης VGEBY RC Flight Controller, F7 AIO V1.5 (VGEBY, Κίνα) είναι η συσκευή εκείνη που ερμηνεύει τα δεδομένα που αποστέλλονται από το δέκτη, τη συσκευή GPS, τα δεδομένα της μπαταρίας, τα δεδομένα των αισθητήρων κ.α. με σκοπό την παρουσίαση τους προς τον χειριστή του ΣμηΕΑ αλλά και για την αυτόματη παραμετροποίηση συγκεκριμένων προκαθορισμένων ρυθμίσεων. Η αυτόματη παραμετροποίηση των ρυθμίσεων επιτρέπει την βελτιστοποίηση της πτητικής ικανότητας του ΣμηΕΑ, τέτοιες ρυθμίσεις αφορούν την ταχύτητα περιστροφής των κινητήρων μέσω ESC, ελέγχει τον αυτόματο πιλότο, τα σημεία που έχουν καθοριστεί στο σχέδιο πτήσης, την διαδικασία ακολούθησε με, καθώς και πολλές άλλες αυτόνομες λειτουργίες. Η ομαλή λειτουργία του ελεγκτή πτήσης είναι πολύ σημαντική για την ομαλή πτήση του ΣμηΕΑ (Sigalos et al., 2019).

Η συγκεκριμένη συσκευή είναι υπεύθυνη για τον κάθε κινητήρα του ΣμηΕΑ να επικοινωνεί με τη μονάδα ESC, αναφορικά με τα στοιχεία της λειτουργίας του κινητήρα. Ο ελεγκτής πτήσης είναι που καθορίζει την κίνηση του ΣμηΕΑ προς όλες τις κατευθύνσεις μετά από εντολές που έχει λάβει μέσω του χειριστή. Το έργο του ελεγκτή πτήσης είναι πολύ πιο περίπλοκο από την απλή τροφοδοσία ισχύος στους κινητήρες του ΣμηΕΑ. Δεδομένου ότι τα αεροσκάφη έχουν πολλούς κινητήρες, ο ελεγκτής πτήσης λαμβάνει πληροφορίες που αποστέλλονται από τον κάθε ESC ώστε στη συνέχεια ο κάθε μεμονωμένος κινητήρας να λάβει την απαιτούμενη ποσότητα ισχύος για να εκτελέσει την ζητούμενη κίνηση. Το μοντέλο του ελεγκτή πτήσης

που χρησιμοποιείται στο ΣμηΕΑ είναι το VGEBY RC Flight Controller, F7 AIO V1.5 Flight Controller Fit for SBUS/iBus/Spektrum/Crossfire Receivers, το οποίο διαθέτει επιπλέον αισθητήρες, όπως το βαρόμετρο, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως εφεδρικό σε περίπτωση δυσλειτουργίας του βασικού αισθητήρα και επεξεργαστή STM32F745 32-bit. Οι διαστάσεις του ελεγκτή πτήσης είναι 35 x 48 x 7 mm και το βάρος του 11 g.

5.1.2.9 Αδρανειακό σύστημα (IMU – Inertial Measurement Unit)

Ο προσανατολισμός είναι ένα δύσκολο πρόβλημα για επίλυση, ειδικά σε ΣμηΕΑ τα οποία βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση και ο χειριστής δεν έχει οπτική επαφή. Η αδρανειακή μονάδα που χρησιμοποιείται στο ΣμηΕΑ είναι το μοντέλο Adafruit 9-DOF Absolute Orientation IMU Fusion Breakout - BNO055 (Adafruit, ΗΠΑ), όπου μέσω των αισθητήρων που διαθέτει (επιταχυνσιόμετρο, γυροσκόπιο και μαγνητόμετρο) μετατρέπει τα δεδομένα των αισθητήρων σε πραγματικό τρισδιάστατο προσανατολισμό στο χώρο (3D space orientation). Η αδρανειακή μονάδα μέτρησης είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που ανιχνεύει τον τρέχοντα ρυθμό επιτάχυνσης, τη γωνιακή ταχύτητα και τις αλλαγές μαγνητικού πεδίου, χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό δεδομένων από τους αισθητήρες του γυροσκοπίου, του επιταχυνσιόμετρου και του μαγνητόμετρου. (Sigalos et al., 2019). Οι διαστάσεις της μονάδας είναι 2 x 2,7 x 0,4 cm και το βάρος της 3 g.

5.1.2.10 Υποσύστημα γεωεντοπισμού (GPS controller)

Το GPS προέρχεται από τις λέξεις Global Positioning System. Είναι ένα Αμερικανικό πρότυπο που παρέχει πληροφορίες αναφορικά με τη θέση και το χρόνο, ανεξάρτητα των καιρικών συνθηκών που επικρατούν, οπουδήποτε πάνω ή κοντά στη Γη όπου υπάρχει μια ανεμπόδιστη οπτική επαφή με τέσσερις ή περισσότερους δορυφόρους που παρέχουν το στίγμα GPS.

Ο δέκτης Reach RS2 - Multi-band RTK GNSS (Emlid, ΗΠΑ) πολλαπλών ζωνών παρέχει ακρίβεια εκατοστόμετρου. Επιπροσθέτως, μερικά από τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ότι υποστηρίζει πολλαπλές ζώνες συχνοτήτων, το Reach RS2 διορθώνει 10 φορές ταχύτερα σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα τη γεωγραφική θέση, λειτουργεί σε μεγαλύτερες γραμμές βάσης και υποστηρίζει επεξεργασία PPP. Το Reach RS2 μπορεί επίσης να προσφέρει ακρίβεια εκατοστών σε πολλαπλές περιοχές που είτε παρεμβάλλονται εμπόδια είτε βρίσκεται το ΣμηΕΑ σε μεγάλη απόσταση. Το πλεονέκτημα που παρέχει το συγκεκριμένο μοντέλο GPS είναι η ακρίβεια της γεωγραφικής περιοχής του ΣμηΕΑ σε σχέση με τον εντοπισμό του εκάστοτε σημείου. Οι διαστάσεις του αισθητήρα είναι 12,6 x 12,6 x 14,2 cm και το βάρος του περίπου 1 kg. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του αισθητήρα που τον καθιστά μοναδικό είναι ότι μπορεί να είναι λειτουργικός ακόμα και στους -20 °C. Η παροχή ενέργειας του αισθητήρα θα είναι

η μια από τις δύο δευτερεύουσες μπαταρίες. Ο αισθητήρας έχει δυνατότητα διασύνδεσης με το πρωτόκολλο δικτύου ευρείας περιοχής LoRa, με εύρος συχνότητας 868/915 MHz και εμβέλεια τα 8 km.

5.1.2.11 Οπτικός Αισθητήρας ΣμηΕΑ

Το μοντέλο της κάμερας που χρησιμοποιεί το ΣμηΕΑ είναι το DJI Zenmuse XT2 Dual 4K/FLIR Drone Thermal Camera (9mm, 30 Hz, 336 x 256) (DJI, Κίνα) με ενσωματωμένο έναν οπτικό αισθητήρα για τη λήψη εικόνων με ανάλυση 12 MP και τυπικό βίντεο σε μορφή 4K, ενώ ο ραδιομετρικός αισθητήρας FLIR καταγράφει θερμικά πλάνα. Η κάμερα, συνδυάζει τα θερμικά πλάνα με το ενσωματωμένο σύστημα τεχνητής νοημοσύνης (Machine Intelligence), παρέχοντας στο ΣμηΕΑ τη δυνατότητα να προηγηθεί σε απρόσιτες περιοχές ή περιοχές με ακραίες καιρικές συνθήκες. Το XT2 περιβάλλεται από ένα ανθεκτικό στις καιρικές συνθήκες περίβλημα που διαθέτει πιστοποίηση IP44. Το IP44 σημαίνει ότι τα εσωτερικά μέρη της κάμερας προστατεύονται ακόμα και σε μεγάλη συγκέντρωση υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Το XT2 προστατεύεται, λόγω της συγκεκριμένης πιστοποίησης ακόμα και σε κατάσταση χαμηλής έντασης βροχόπτωσης. Το βάρος της κάμερας ανέρχεται στα 629 g και μπορεί να τοποθετηθεί τόσο από την πάνω μεριά του ΣμηΕΑ, όσο και από την κάτω.

5.1.2.12 Πομπός Video (VTX - Video Transmitter)

Το Herelink (HEX Technology, Κίνα) είναι το υποσύστημα που έχει εγκατασταθεί στο ΣμηΕΑ με σκοπό την μετάδοση βίντεο HD σε μεγάλη εμβέλεια. Ο ελεγκτής του σήματος εκπέμπει στα 2,4 GHz και αποστέλλει το βίντεο σε μια οθόνη που είναι ενσωματωμένη στο χειριστήριο και που επιτρέπει στους χρήστες να λαμβάνουν βίντεο HD, δεδομένα και στοιχεία ελέγχου σε μεγάλη εμβέλεια, με το μέγιστο εύρος μετάδοσης να είναι τα 20 km. Η καθυστέρηση στη μετάδοση του βίντεο είναι μικρότερη από 110 ms. Η μεγάλη οθόνη των 5,5" εμφανίζει πλήθος επιλογών ελέγχου όπως ζωντανές εικόνες, διαμόρφωση αυτόματου πιλότου μέσω του εγγενούς ελέγχου QGround ή άλλων εφαρμογών GCS που βασίζονται στο σύστημα Mavlink. Το βάρος του Herelink είναι 2 kg.

5.1.2.13 Υποσύστημα Ψεκασμού

Ο μηχανισμός, χρησιμοποιεί δεξαμενή χωρητικότητας 5.000 ml που είναι συνδεδεμένη με αντλία 12 V DC. Η αντλία συνδέεται περαιτέρω με τη δευτερεύουσα μπαταρία χωρητικότητας 6.700 mAh. Στο κάτω μέρος του ΣμηΕΑ βρίσκεται ένα σετ από μικρά ακροφύσια. Οι αγωγοί που ξεκινάνε από την δεξαμενή και καταλήγουν στα ακροφύσια είναι κατασκευασμένα από πλαστικό, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών που επικρατούν σε μεγάλα ύψη. Για την αποφυγή απώλειας ή σπατάλης του ψεκαστικού διαλύματος, υπάρχει ομοιόμορφη πίεση στο κλειστό σύστημα μεταξύ δεξαμενής, σωληνώσεων και ακουσίων. Το βάρος του ψεκαστικού συγκροτήματος θα είναι 3.000 gr και θα κατασκευαστεί βάσει πρότυπου που έχει

χρησιμοποιηθεί ως ψεκαστικό σε καλλιέργειες. Η κατασκευή του ψεκαστικού θα βασιστεί σε υφιστάμενο ΣμηΕΑ, το Agras T20 (Εικόνα 27), όπου θα υπάρξουν βελτιώσεις προς την διάταξη των μερών αλλά και ως προς τα υλικά κατασκευής. Επιπροσθέτως, η δεξαμενή ψεκασμού του ΣμηΕΑ, θα είναι μεγαλύτερη από αυτή του Agras T20. Το ψεκαστικό συγκρότημα θα επανασχεδιαστεί με σκοπό τα ακροφύσια να έχουν συγκεκριμένη κλίση για την μεγιστοποίηση της επιφάνειας ψεκασμού.



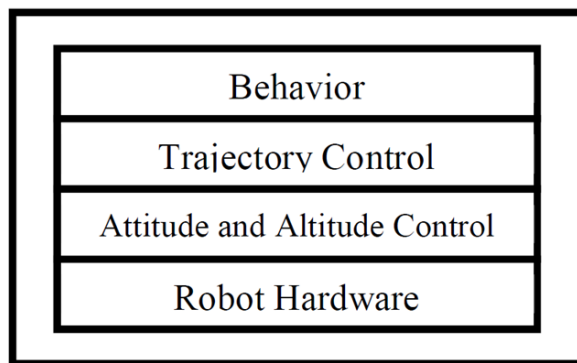
Εικόνα 27 Ψεκαστικό εμπορικό ΣμηΕΑ Agras T20 Πηγή: <https://www.dji.com/gr/t20>

5.1.3 Λογισμικά για το ΣμηΕΑ

Το Arduino, είναι ένας μικροελεγκτής με λογισμικό ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ταχύτητας και της κατεύθυνσης των κινητήρων στο οκτακόπτερο. Το kit με το Arduino, είναι βασισμένο σε μικροελεγκτή, ο οποίος βασικά χρησιμοποιείται στις επικοινωνίες και για τον έλεγχο / χειρισμό πολλαπλών συσκευών. Αποτελείται από δύο μνήμες - τη μνήμη προγραμματισμού και τη μνήμη δεδομένων. Ο κώδικας του προγράμματος αποθηκεύεται στη μνήμη προγράμματος flash, ενώ τα δεδομένα αποθηκεύονται στη μνήμη δεδομένων. Όταν το πρόγραμμα ξεκινά παίρνει πληροφορίες, αποθηκεύεται στη μνήμη του προγράμματος και, στη συνέχεια, το συντάσσει και δίνει μια χρήσιμη απάντηση ή το επαναξιολογεί. Μια οθόνη LCD, προσαρτημένη στην πλακέτα Arduino, εμφανίζει τη θερμοκρασία και τις μεταβολές στην ταχύτητα του κινητήρα DC σε σχέση με τη θερμοκρασία. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας (DHT11) χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του περιβάλλοντος χώρου και την εμφάνισή του στην οθόνη LCD. Το DHT11 χρησιμοποιεί τη διαφορά θερμοκρασίας για να παράγει ένα σήμα τάσης που επεξεργάζεται από το Arduino για να δώσει μια ψηφιακή έξοδο που εμφανίζει τη θερμοκρασία του δεδομένου περιβάλλοντος. Ένα ESC, συνδεδεμένο με την πλακέτα Arduino, χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ταχύτητας του κινητήρα Brushless DC (Shah, 2018).

Ο απομακρυσμένος έλεγχος του ΣμηΕΑ περιλαμβάνει πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική σχεδίασης ως προς τον τρόπο αμφίδρομης επικοινωνίας και ελέγχου, που παρουσιάζεται συνοπτικά στην Εικόνα 28. Υπάρχουν

τέσσερα επίπεδα ελέγχου σχεδιασμένα τον έλεγχο του ΣμηΕΑ μέσω του συστήματος απομακρυσμένης διαχείρισης του. Τα συγκεκριμένα επίπεδα βάσει της αρχιτεκτονικής ελέγχουν την απόκριση του κατά την πτητική διαδικασία, την πορεία, το υψόμετρο αιώρησης καθώς και τα σημεία που πραγματοποιεί στάσεις (στήγματα) και την κατάσταση του ΣμηΕΑ (Bandala et al., 2019).



Εικόνα 28 Διαβάθμιση επιπέδων βάσει της μεθόδου σχεδιασμού της αρχιτεκτονικής του λογισμικού και του υλισμικού χειρισμού του ΣμηΕΑ Πηγή: (Bandala et al., 2019)

Το επίπεδο απόκρισης του ΣμηΕΑ, είναι το υψηλότερο επίπεδο του συστήματος και περιλαμβάνει την αυτονομία στην κίνηση και στη λήψη αποφάσεων κίνησης. Στο συγκεκριμένο επίπεδο προγραμματίζονται και οι θέσεις προσέγγισης προς το νέφος. Η τοποθέτηση στο χώρο όσο και η θέση του εναέριου μέσου σε σχέση με τα εμπόδια του περιβάλλοντος περιμετρικά όσο και με τα άλλα εναέρια μέσα εξετάζονται σε αυτό το επίπεδο. Μόλις επιβεβαιωθεί η επόμενη θέση που θα πρέπει να προσεγγίσει το εναέριο μέσο (π.χ. περιοχή που απαγορεύεται η πτήση εναέριων μέσων, στρατόπεδα, αεροδρόμια κ.α.), οι συντεταγμένες μεταβιβάζονται στο επόμενο επίπεδο, του ελέγχου της πορείας του (Bandala et al., 2019).

Το επίπεδο ελέγχου πορεία τους ΣμηΕΑ, σχεδιάζει την διαδρομή που θα ακολουθήσει το εναέριο όχημα στο χώρο και με δεδομένη τη θέση τόσο του εναέριου οχήματος αλλά και του στόχου από το προηγούμενο επίπεδο της αρχιτεκτονικής, υπολογίζεται η βέλτιστη διαδρομή που θα επιτευχθεί. Η διαδρομή που σχεδιάζεται, έχει ως σκοπό την αποφυγή συγκρούσεων με εμπόδια που πιθανά να υπάρχουν αλλά και άλλα εναέρια μέσα. Στο επόμενο επίπεδο, ελέγχου υψομέτρου αιώρησης και σημεία στάσεων, υπολογίζονται οι γωνίες και η ισχύς που θα χρειαστεί το ΣμηΕΑ για να διατρέξει την σχεδιασμένη πορεία και να προσεγγίσει με ακρίβεια τη θέση του στόχου. Το τελευταίο επίπεδο της αρχιτεκτονικής σχεδίασης του λογισμικού κίνησης του ΣμηΕΑ, αφορά το επίπεδο του υλισμικού και μετατρέπει όλους τους υπολογισμούς και τις διαδικασίες σε κίνηση του ΣμηΕΑ (Bandala et al., 2019).

5.2 Ραντάρ

Το ραντάρ που θα ολοκληρώσει το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης ακραίων καιρικών φαινομένων με χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών είναι το μοντέλο METEOR 60DX (Εικόνα 29, Εικόνα 30), το οποίο χαρακτηρίζεται ως ένα εξαιρετικά ευαίσθητο σύστημα ραντάρ καιρού τεχνολογίας X-Band που βασίζεται στην τεχνολογία magnetron. Χάρη στο συμπαγή σχεδιασμό του και τη μοναδική διαμόρφωση του ραντάρ, το METEOR 60DX είναι κατάλληλο τόσο για κινητές εφαρμογές στο πεδίο, όσο και για μόνιμη εγκατάσταση. Μια καινοτόμος εκδοχή του ραντάρ είναι τοποθετημένη πάνω σε τρέιλερ, το οποίο έχει λάβει όλες τις απαραίτητες πιστοποιήσεις αναφορικά με τους κώδικες οδικής κυκλοφορίας παγκοσμίως.



Εικόνα 29 Απεικόνιση του ραντάρ METEOR 60DX



Εικόνα 30 Απεικόνιση του ραντάρ METEOR 60DX

Η τεχνολογία X-Band προσφέρει μέγιστη ευαισθησία στην κάλυψη περιοχών μικρής και μεσαίας εμβέλειας (έως 100 km ή και λίγο περισσότερο) με χαμηλό κόστος εγκατάστασης. Η τεχνολογία magnetron, θεωρείται ως μια από τις πιο αξιόπιστες τεχνολογίες και το METEOR 60DX, διαθέτει ένα υπερσύγχρονο επεξεργαστή σήματος GDRX® και λογισμικό εφαρμογής Rainbow®. Κάποιες από τις δυνατότητες που προσφέρει είναι η παρακολούθηση καιρικών φαινομένων, υδρολογικές προβλέψεις (π.χ. πρόβλεψη πλημμυρών), ανίχνευση διατμητικού ανέμου κ.α. Μερικά βασικά χαρακτηριστικά του ραντάρ είναι το εύρος της συχνότητας λειτουργίας μεταξύ 9.300 – 9.500 MHz (X-Band), η εμβέλεια δράσης του ραντάρ είναι στα 100 km και το επίπεδο θορύβου μικρότερο από 2,5 dB (δέκτης) (Selex ES GmbH, 2006).

Το συγκεκριμένο μοντέλο ραντάρ παρέχει βασικά πλεονεκτήματα, που το καθιστούν ιδανικό σε συνδυασμό με το ΣμηΕΑ όσον αφορά το ολοκληρωμένο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης ακραίων καιρικών φαινομένων με χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Μερικά πλεονεκτήματα είναι ότι διαθέτει το πιο προηγμένο μετεωρολογικό λογισμικό διαθέσιμο στην αγορά σήμερα, έναν πανίσχυρο επεξεργαστή σήματος 16 bit GDRX® 5, απεριόριστη απομακρυσμένη λειτουργία 24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο, δυνατότητα πλήρους απομακρυσμένης παρακολούθησης και

ελέγχου μέσω του εργαλείου συντήρησης Ravis[®], καθώς και η δυνατότητα εύκολης μετακίνησης μέσω του τρέιλερ. Τέλος, η λειτουργία του ως κινητό ραντάρ είναι ανεξάρτητη από δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας και τηλεπικοινωνιών (Selex ES GmbH, 2006).






5.3 Διασύνδεση ΣμηΕΑ με κέντρο ελέγχου





Η δικτύωση έχει καταστεί ουσιαστικό στοιχείο της καθημερινής ζωής, ειδικά λόγω της ταχείας προόδου του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT – Internet of Things) (Li et al., 2015) και των έξυπνων τηλεφώνων (smartphones). Έτσι, οι άνθρωποι μέσω των συσκευών συνδέονται διαρκώς σε δίκτυα και βασίζονται σε αυτά για πολλαπλές εργασίες της καθημερινότητας τους. Κατά συνέπεια, είναι εξαιρετικά σημαντικό να παρέχεται μια αξιόπιστη υποδομή δικτύου για διάφορα είδη εφαρμογών σε κυβερνο-φυσικά συστήματα (Park et al., 2012, 2014). Ωστόσο, η δικτύωση για καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως σε περιοχές που έχουν πληγεί από καταστροφικά φαινόμενα, απαιτεί εκτεταμένο χρόνο για τους παρόχους υπηρεσιών για να αναπτύξουν πρόσθετες υποδομές (Park et al., 2012).

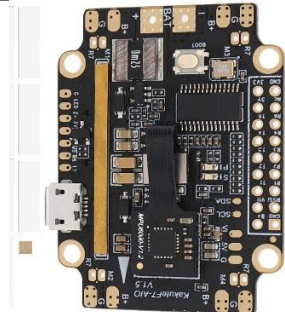




Το ΣμηΕΑ, καθοδηγείται με τηλεχειρισμό από μεγάλη απόσταση. Επιπροσθέτως, αποστέλλει πολλαπλές πληροφορίες από μετρήσεις που λαμβάνει μέσω των αισθητήρων καθώς και τα δεδομένα της πτήσης του. Για την ορθή καθοδήγηση του καθίσταται αναγκαία η αξιόπιστη επικοινωνία σε ολόκληρη την χρονική περίοδο της αποστολής του ή τουλάχιστον να είναι εγγυημένο ότι πιθανές παρεμβολές θα έχουν μικρή έως μηδενική χρονική διάρκεια (Kang et al., 2017).



Όταν το ΣμηΕΑ, αντιμετωπίσει έστω και στιγμιαία τη διακοπή της επικοινωνίας με το κέντρο ελέγχου, λόγω κακής ποιότητας σήματος εκπομπής, παρεμβολών ή μπλοκαρίσματος από άλλου παράγοντες σε μια συγκεκριμένη περιοχή, τότε το ΣμηΕΑ ανάλογα πως θα έχει προγραμματιστεί, είτε συνεχίζει την πορεία του προς τη θέση στόχος, είτε επιστρέφει στην αρχική θέση απογείωσης. Αμφότερες οι διαδικασίες έχουν ως στόχο την αναζήτηση του σήματος με σκοπό να αποκατασταθεί η επικοινωνία μεταξύ του κέντρου ελέγχου και του ΣμηΕΑ, σπαταλώντας όμως ενέργεια της μπαταρίας (Kang et al., 2017).

Πίνακας 4 Αναλυτική παρουσίαση του κόστους κάθε τμήματος που συνθέτει το ΣμηΕΑ και παρουσίαση σελίδας αγοράς του.

A/A	Περιγραφή είδους	Μοντέλο	Κόστος μονάδας	Τεμάχια	Συνολικό Κόστος	Κατηγορία	Πηγή	Φωτογραφία
1	Πλαίσιο - Σκελετός	Ιδιοκατασκευή	3.500 €	1	3.500 €	Μηχανική	Amazon	
2	Έλικες	Eolo Foldable Carbon Fiber Reinforced Nylon UAV Propellers 16x6,0 ίντσες ανά ζεύγος	38 €	4	152 €	Μηχανική	Sunnyskyusa	
3	Πομπός – Δέκτης σήματος	XLRSD2 V3 Radio Control + Transparent Data Link	1.750 €	1	1.750 €	Ηλεκτρονική	d3	
3	Κινητήρες	XOAR Titan T8120 100KV Heavy Lifting Brushless Electric Motor T8000 Series	300 €	8	2.400 €	Ηλεκτρονική	Amazon Xoarintl	
4	Σύστημα ελέγχου ταχύτητας περιστροφής	APD F-Series 200F3[X] 14S 200A 60V 32-Bit ESC	205,9 €	8	1.647,2 €	Ηλεκτρονική	Drone fpv racer	

A/A	Περιγραφή είδους	Μοντέλο	Κόστος μονάδας	Τεμάχια	Συνολικό Κόστος	Κατηγορία	Πηγή	Φωτογραφία
	κινητήρων (ESC)							
5	Επιταχυνσιόμετρο Γυροσκόπιο Μαγνητόμετρο Βαρόμετρο Θερμόμετρο	BerryGPS-IMUv3 - GPS and 10DOF for The Raspberry Pi-Accelerometer, Gyroscope, Magnetometer and Barometric/ Altitude Sensor	50 €	1	50 €	Ηλεκτρονική	Amazon	
6	Κεντρική μονάδα επεξεργασίας δεδομένων	Atlas 200 Dev Kit	900 €	1	900 €	Ηλεκτρονική	Actfornet Huawei	
8	Κύρια μπαταρία	Wild Scorpion 22.2V 16000mAh 15C	330 €	2	660 €	Ηλεκτρονική	Heliland	
9	Δευτερεύουσα μπαταρία - ψεκαστικού	Traxxas Li-Po Battery 4S 14,8V 6700mAh 25C iD-Connector	160 €	4	640 €	Ηλεκτρονική	Heliland	

A/A	Περιγραφή είδους	Μοντέλο	Κόστος μονάδας	Τεμάχια	Συνολικό Κόστος	Κατηγορία	Πηγή	Φωτογραφία
10	Ελεγκτής πτήσης (Flight Controller)	VGEBY RC Flight Controller, F7 AIO V1.5 Flight Controller Fit for SBUS/iBus/Spektrum/Crossfire Receivers	65 €	1	65 €	Ηλεκτρονική	Amazon	
11	Αδρανειακό σύστημα (IMU)	Adafruit 9-DOF Absolute Orientation IMU Fusion Breakout - BNO055	35 €	1	35 €	Ηλεκτρονική	Adafruit	
12	Ελεγκτής συστήματος συντεταγμένων (GPS controller)	Reach RS2 - Multi-band RTK GNSS receiver	2.000 €	1	2.000 €	Ηλεκτρονική	Unmannedtechshop	
13	Οπτικός αισθητήρας	DJI Zenmuse XT2 Dual 4K/FLIR Drone Thermal Camera (9mm, 30 Hz, 336 x 256)	4.500 €	1	4.500 €	Ηλεκτρονική	Bhphotovideo	
14	Αισθητήρες πτήσης	US-D1 Radar Altimeter Introduction Package	1.500€	1	1.500€	Ηλεκτρονική	Sensing	

A/A	Περιγραφή είδους	Μοντέλο	Κόστος μονάδας	Τεμάχια	Συνολικό Κόστος	Κατηγορία	Πηγή	Φωτογραφία
15	Πομπός Video (VTX)	Herelink 2.4GHz Long Range HD Video Transmission System	700€	1	700€	Ηλεκτρονική	Foxtechfpv	
16	Μηχανισμός Ψεκασμού	Θα δημιουργηθεί με ειδικά χαρακτηριστικά (Ιδιοκατασκευή)	4.000€	1	4.000€	Ηλεκτρονική	(Martinez-Guanter et al., 2020)	
17	Λογισμικά για το ΣμηEA	Τα λογισμικά που θα χρησιμοποιηθούν κυρίως θα είναι ανοικτού κώδικα. Το κόστος παραμετροποίησης και αγοράς είναι χαμηλό.	2.000€	1	2.000€	Ηλεκτρονική		
18	Λοιπά είδη (Ρυθμιστής τάσης, καλωδιώσεις, κ.α.)		1.000€	1	1.000€	Ηλεκτρονική		
Σύνολο					27.499 €			

5.4 Πηγές πληροφόρησης

Οι πηγές πληροφοριών για τον καιρό μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα δεδομένα που αποκτήθηκαν απευθείας επί του εναέριου οχήματος, ενώ η δεύτερη κατηγορία αφορά και πληροφορίες που υποβάλλονται σε επεξεργασία επί του πεδίου. Οι πληροφορίες της δεύτερης κατηγορίας περιλαμβάνουν δεδομένα από μετεωρολογικές υπηρεσίες κ.α. ανά τον κόσμο σε διάφορες χωρικές και χρονικές αναλύσεις. Το εύρος των πηγών που δύναται να χρησιμοποιηθούν για την συλλογή δεδομένων πρέπει να είναι μεγάλο, καθώς η λήψη δεδομένων σχετικά με τα καιρικά φαινόμενα όπως σύννεφα, καταιγίδες ή άνεμος, αποτελεί την αρχική πηγή πληροφόρησης για την απογείωση ή μη του ΣμηΕΑ καθώς και τον συνθηκών που επικρατούν στο νέφος (Funk and Stütz, 2018). Η πιο διαδεδομένη υπηρεσία είναι αυτή της EUMETCAST (<https://www.eumetsat.int/eumetcast>) η οποία εκτός από το κόστος εγκατάστασης στο κέντρο ελέγχου (ηλεκτρονικός υπολογιστής, δορυφορικό πιάτο, δρομολογητής δεδομένων) παρέχεται δωρεάν.

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται τόσο από το έδαφος μέσω του ραντάρ METEOR 60DX όσο μέσω μετεωρολογικών υπηρεσιών, οι οποίες μέσω δορυφόρων καταγράφουν και αναλύουν τα δεδομένα με σκοπό την εξαγωγή προβλέψεων μέσα από μέσα από μαθηματικά μοντέλα. Αυτός ο τύπος πληροφοριών μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε παγκόσμια βάση για πρόβλεψη των καιρικών συνθηκών, αλλά η χρονική και χωρική τους ανάλυση είναι ανεπαρκής για λεπτομερή σχεδιασμό σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή (Funk and Stütz, 2018).

Για να ξεπεραστεί το συγκεκριμένο ζήτημα, μέσω του ραντάρ θα λαμβάνονται τοπικά δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, τα οποία συλλέγονται από μετρήσεις απευθείας από το πεδίο και θα συνδυάζονται με μετρήσεις που θα αποστέλλει το ΣμηΕΑ μέσω των αισθητήρων που θα φέρει, οι οποίες είναι ακριβέστερες τόσο σε χωρική όσο και σε χρονική ακρίβεια και ενδείκνυνται για ανάλυση για την διασταύρωση των πληροφοριών που λήφθηκαν απομακρυσμένα (από το έδαφος και από το διάστημα) μέσω αισθητήρων. Επιπλέον, αυτές οι μετρήσεις δεν εξαρτώνται από κανένα datalink και ως εκ τούτου μπορούν να χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό της εκτέλεσης ενός πτητικού σχεδίου σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης (Funk and Stütz, 2018).

5.5 Διάγραμμα ροής

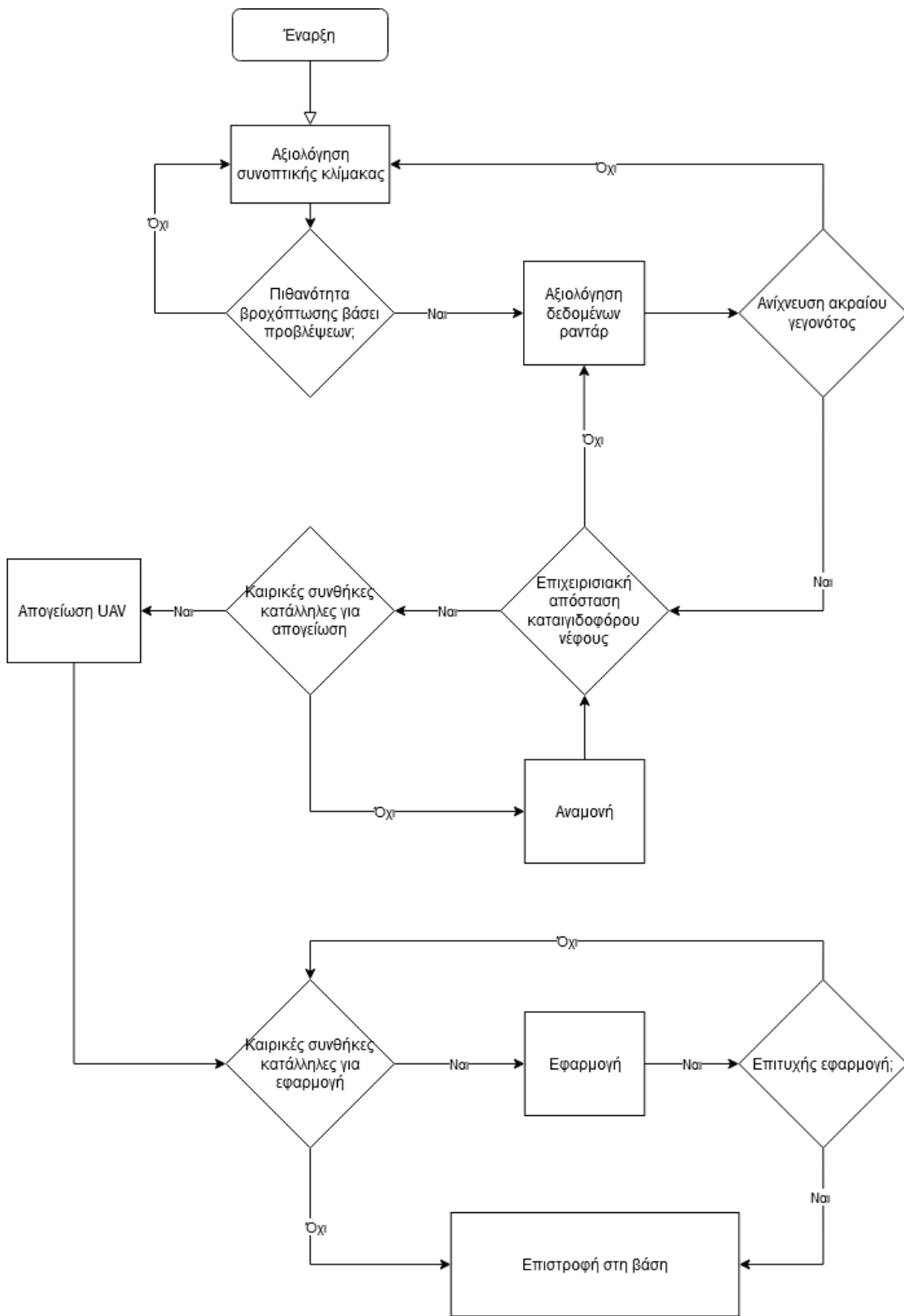
Το δεδομένο έργο περιλαμβάνει αρκετές επιμέρους διαδικασίες που βάσει οργάνωσης των διαδικασιών ξεκινούν και τερματίζονται σε συγκεκριμένο χρόνο με σκοπό την αποφυγή λαθών ή άσκοπων επιχειρησιακών επεμβάσεων.

Κατά την έναρξη της διαδικασίας, ανιχνεύεται ένα υδροφόρο νέφος και πραγματοποιείται αξιολόγηση του βάσει συνοπτικής κλίμακας. Σε πραγματικό χρόνο αξιολογείται η πιθανότητα για βροχόπτωση βάσει των προβλέψεων. Σε περίπτωση που το νέφος συγκεντρώνει πιθανότητες έντονης βροχόπτωσης τότε γίνεται αξιολόγηση των δεδομένων που έχει αποστείλει σε πραγματικό χρόνο το ραντάρ σχετικά με την κατάσταση του νέφους προς την κεντρική διαχείριση του ολοκληρωμένου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης ακραίων καιρικών φαινομένων με χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

Βάσει της αξιολόγησης των δεδομένων του ραντάρ κρίνεται αν επίκειται η έναρξη εκδήλωσης ενός ακραίου καιρικού γεγονότος ή αν το γεγονός δεν πρόκειται να προκαλέσει καταστροφές. Το ολοκληρωμένο σύστημα, βρίσκεται συνεχώς σε επιχειρησιακή επάρκεια καθώς ανά πάσα στιγμή δύναται να χρειαστεί το ΣμηΕΑ να απογειωθεί, βάσει της αξιολόγησης που προαναφέρθηκε.

Όταν βάσει της αξιολόγησης κριθεί ότι το νέφος είναι καταιγιδοφόρο και θα πρέπει να ενεργοποιηθεί το ΣμηΕΑ για την αποφυγή εκδήλωσης ακραίων γεγονότων τότε υπολογίζεται η επιχειρησιακή απόσταση από το σημείο που βρίσκεται το ΣμηΕΑ και εφόσον επαρκεί (υψομετρικά θα πρέπει να υπερβεί τα 2 km) η εμβέλεια του απογειώνεται. Η απογείωση του ΣμηΕΑ, συνεπάγεται και έλεγχο των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή απογείωσης τους αλλά και λήψη μετεωρολογικών δεδομένων για τον σχεδιασμό της πορεία του μέχρι το σημείο-στόχο που θα προσεγγίσει. Εφόσον οι συνθήκες επιτρέπουν την απογείωση του ΣμηΕΑ, τότε απογειώνεται και ξεκινάει την πορεία του για την προσέγγιση του σημείου-στόχου.

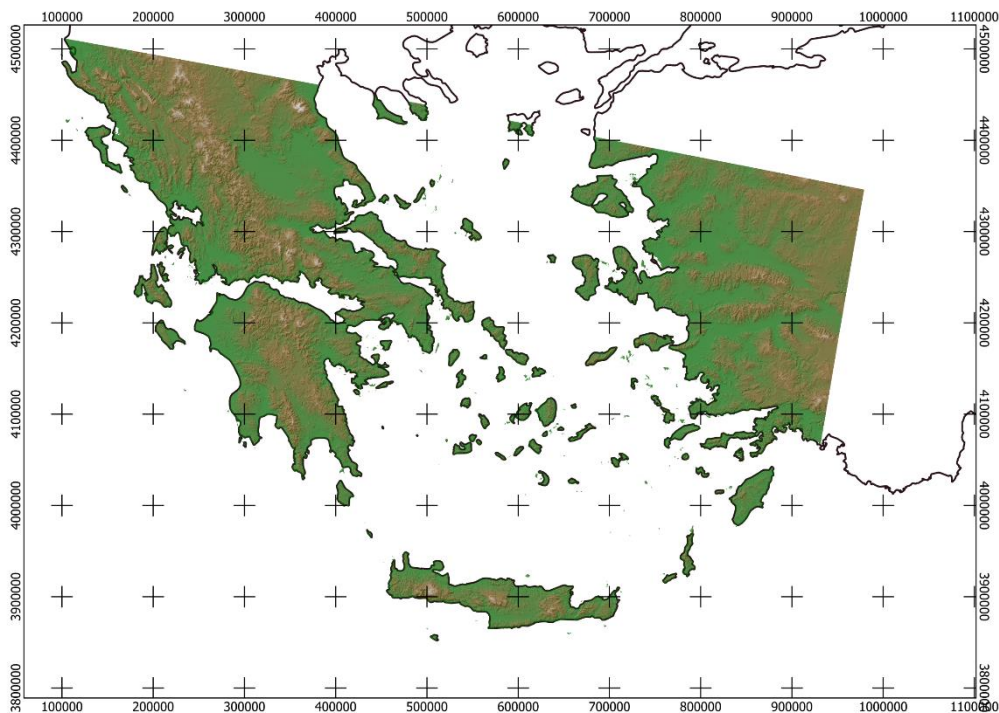
Κατά την προσέγγιση του σημείου-στόχου πραγματοποιείται ο τελικός έλεγχος των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στο νέφος και εφόσον είναι ιδανικές ξεκινάει η διαδικασία εφαρμογής του ψεκαστικού διαλύματος στο σημείο με την μεγαλύτερη συμπύκνωση του νέφους. Εφόσον από τα τηλεμετρικά δεδομένα που θα λάβει η κεντρική διαχείριση του ολοκληρωμένου συστήματος και εφόσον αξιολογηθούν κριθεί ότι η εφαρμογή ήταν επιτυχής, τότε το ΣμηΕΑ επιστρέφει στη βάση του για ανεφοδιασμό, σε διαφορετική περίπτωση και εφόσον οι συνθήκες το επιτρέπουν, το ΣμηΕΑ έχει την δυνατότητα για μια ακόμα τουλάχιστον εφαρμογή του ψεκαστικού διαλύματος πριν την επιστροφή του στη βάση.



Εικόνα 31 Διάγραμμα ροής διαδικασιών του συστήματος.

5.6 Καθορισμός βέλτιστων σημείων ανάπτυξης του εξοπλισμού

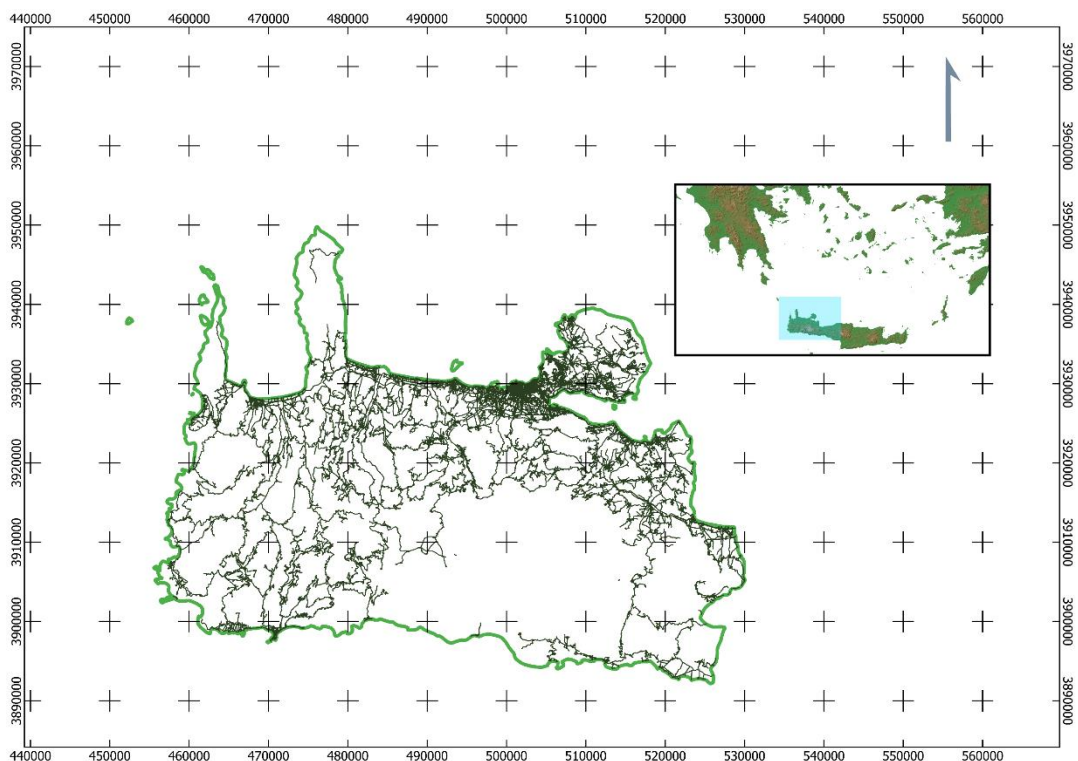
Τα διανυσματικά αρχεία (shapefiles) των ορίων της περιφέρειας Κρήτης βρέθηκαν στην ιστοσελίδα της βιβλιοθήκης ανοιχτών γεωχωρικών δεδομένων (<http://geodata.gov.gr>). Για την απομόνωση της περιφέρειας Κρήτης έγινε επιλογή του διανύσματος της και αποκοπή (clip) σε νέο αρχείο. Επίσης μεταφορτώθηκε και χρησιμοποιήθηκε, από την ίδια πηγή, το αρχείο με τίτλο «Όρια Νομών (ΟΚΧΕ)» το οποίο μπορεί να βρεθεί εδώ (<https://geodata.gov.gr/dataset/oria-nomon-okkhe>), από το οποίο αποκόπηκε το πολύγωνο του νομού Χανίων. Το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο (DEM) βρέθηκε από τη σελίδα του ευρωπαϊκού προγράμματος δορυφορικής παρατήρησης «Copernicus» (<https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1>), από την οποία μεταφορτώθηκε το αρχείο D.E.M. του διαμερίσματος E50N10 ανάλυσης 25 μέτρων.



Εικόνα 32: Ψηφιακό μοντέλο εδάφους που περιλαμβάνει την περιοχή ενδιαφέροντος.

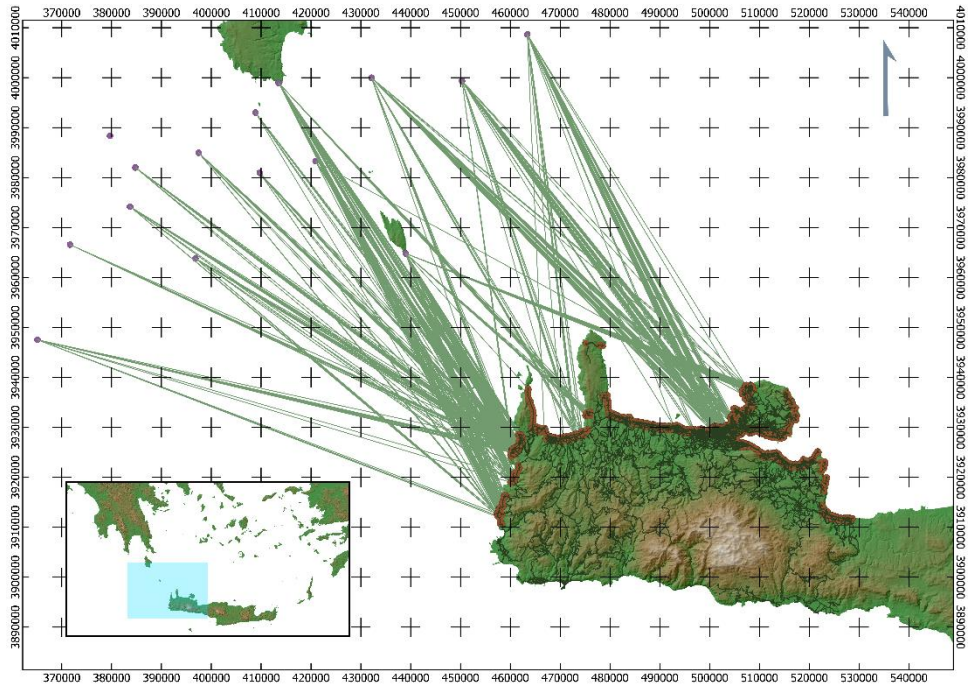
Το οδικό δίκτυο της Κρήτης ανακτήθηκε από το Open Street Maps (OSM) κάνοντας χρήση της επέκτασης Quick OSM του QGIS, το οποίο δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να απομονώσει διανύσματα από το OSM. Οι δρόμοι αποκόπηκαν με κριτήριο το πολύγωνο του νομού Χανίων. Δημιουργήθηκε ένα αρχείο Buffer ενός χιλιομέτρου στο διάνυσμα της περιφέρειας, το οποίο στη συνέχεια κόπηκε για τη διατήρηση, μόνο, του τμήματος του στο εσωτερικό της περιφέρειας. Δημιουργήθηκαν σημειακά δεδομένα με την εντολή

point along geometry του βασικού QGIS τα οποία πέρασαν από φίλτρο επιλογής πρώτα βάση της γεωγραφικής τους θέση με κριτήριο Buffer ακτογραμμής και τέλος μόνο όσα βρίσκονταν στο βόριο μισό της ακτογραμμής.

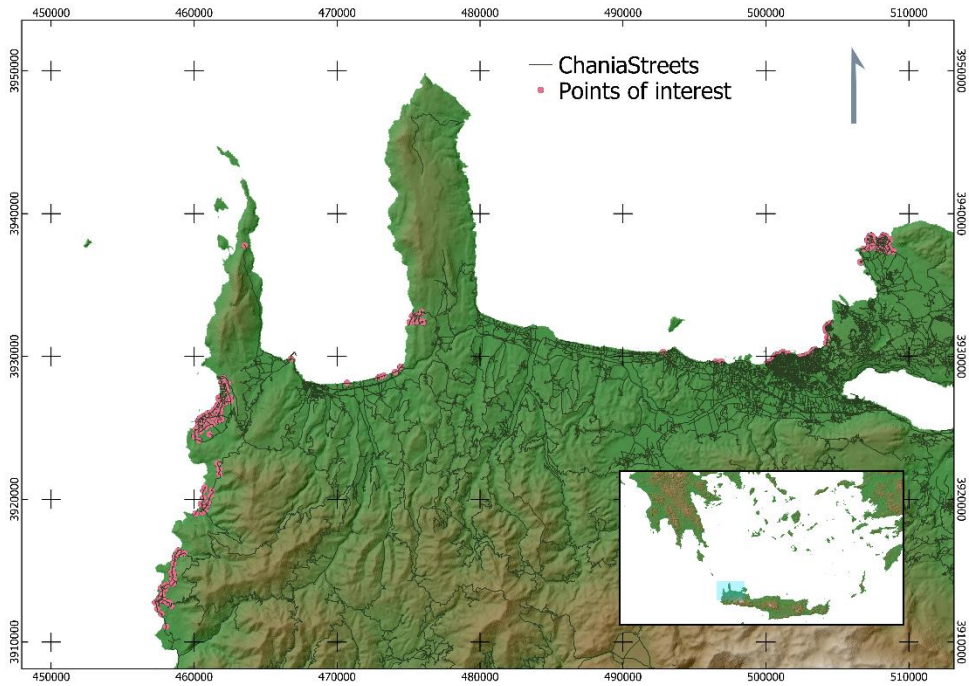


Εικόνα 33: Οδικό δίκτυο του Ν. Χανίων.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν 15 τυχαία σημειακά διανύσματα, διάσπαρτα, στο μεσοδιάστημα Κρήτης-Κυθίων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν αργότερα ως αντιπροσωπευτικά σημεία προσέγγισης μετεωρολογικών συστημάτων προς την Κρήτη. Η ανάλυση δικτύου ορατότητας έγινε με την επέκταση *visibility analysis*. Τα σημεία που προέκυψαν από το *point along geometry* μετατράπηκαν στα σημεία παρατήρησης για την ανάλυση ενώ τα σημεία στο πέλαγος ως ο στόχος παρατήρησης. Στα σημεία παρατήρησης δόθηκε ως χαρακτηριστικό το ύψος των 5 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους (ύψος του κινητού ραντάρ) ενώ στους στόχους τα 1000 m asl για την ανάλυση. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης φαίνεται στην Εικόνα 34, ενώ τα τελικά βέλτιστα σημεία ανάπτυξης φαίνονται στην Εικόνα 35. Όπως φαίνεται, βέλτιστα σημεία υπάρχουν στα δυτικά παράλια αλλά και στο Ακρωτήριο Χανίων, όπου άλλωστε βρίσκεται και το επίγειο μετεωρολογικό ραντάρ της Στρατιωτικής Βάσης της Σούδας. Ανάλογα με την αναμενόμενη τροχιά των μετεωρολογικών συστημάτων, η ανάλυση μπορεί να επαναλαμβάνεται ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό.



Εικόνα 34: Αποτέλεσμα ανάλυσης ορατότητας.



Εικόνα 35: Βέλτιστα σημεία ανάπτυξης.

5.7 Κόστος ανάπτυξης του ολοκληρωμένου συστήματος

Το ΣμηΕΑ έχει σχεδιαστεί και τα επιμέρους τμήματα του είναι προσεκτικά επιλεγμένα με σκοπό να πληρούνται όλοι οι κανονισμοί ασφαλείας αναφορικά με την πτήση του ΣμηΕΑ αλλά και λαμβάνοντας υπόψη τα μοναδικά χαρακτηριστικά των πτήσεων του σε μεγάλα υψόμετρα. Το κόστος ανάπτυξης του θα μπορούσε να είναι αρκετά χαμηλότερο, χρησιμοποιώντας διαφορετικών απαιτήσεων και τεχνολογιών μέσα. Τα επιμέρους μέρη του ΣμηΕΑ, έχουν επιλεγεί από πολλαπλούς προμηθευτές και έχουν συντεθεί με σκοπό την κατασκευή ενός προτύπου ΣμηΕΑ.

Εκτός από το κόστος ανάπτυξης του ΣμηΕΑ, για να μπορέσει το υλοποιηθεί το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης ακραίων καιρικών φαινομένων με χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών, θα πρέπει να υπολογιστεί το κόστος αγοράς του μεταφερόμενου ραντάρ, τα κόστη συντήρησης ολόκληρου του συστήματος, καθώς και τα κόστη απασχόλησης δύο εργαζομένων.

Το εκτιμώμενο κόστος του ραντάρ, θα ανέλθει στις 300.000 ευρώ, το οποίο περιλαμβάνει την εκπαίδευση του προσωπικού που θα χειρίζεται το ραντάρ απομακρυσμένα, την εγκατάσταση του ραντάρ καθώς και των 5 μετεωρολογικών σταθμών. Επιπροσθέτως περιλαμβάνει το κόστος ενός οχήματος ρυμούλκησης εκτιμάται στα 40.000 €.

Το κόστος συντήρησης του εξοπλισμού υπολογίζεται σε περίπου 30.050 € κατ' έτος, το οποίο περιλαμβάνει συντήρηση του ραντάρ (10.000€), των μετεωρολογικών σταθμών (1.000€), του οχήματος (1.500€) αγορά νέων ελίκων (7.296€), αγορά νέων κινητήρων (2.700€), αγορά νέων μπαταριών (1.950€) και αγορά των λοιπών αισθητήρων σε περίπτωση δυσλειτουργίας τους (5.604€).

Το κόστος προσωπικού αναλύεται σε δύο εργαζόμενους πλήρους απασχόλησης, οι οποίες θα επιτελούν το σύνολο των ενεργειών που απαιτούνται τόσο για την βέλτιστη λειτουργία του ολοκληρωμένου συστήματος, όσο και για την προμήθεια εξοπλισμού ή συντήρηση του υπάρχοντος.

Τα παραπάνω κόστη συνοψίζονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5 Κοστολόγηση της αρχικής επένδυσης του έργου και το ετήσιο κόστος λειτουργίας του σε καθαρές αξίες.

	Κόστος Αγοράς	Κόστος κατ' έτος
ΣμηΕΑ (3 τεμάχια)	82.497 €	17.550 €
Radar	250.000 €	10.000 €
Όχημα για Radar	40.000 €	1.500 €
Μετεωρολογικοί σταθμοί	10.000 €	1.000 €

Προσωπικού	-	52.000 €
Σύνολο	382.497 €	82.050 €

5.8 Οικονομοτεχνική ανάλυση

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης αναφορικά με το κόστος της δεδομένης επένδυσης, υπολογισμένα βάσει τριών μεθόδων με σκοπό την αξιολόγηση της δεδομένης επένδυσης και να εξεταστεί αν είναι συμφέρουσα οικονομικά. Επιπροσθέτως, βάσει των παρακάτω μεθόδων αναλύεται και ο χρονικός ορίζοντας όπου το έργο θα έχει αποσβέσει ένα σημαντικό μέρος του αρχικού υπενδεδυμένου κεφαλαίου.

Πιο συγκεκριμένα και μιλώντας με αριθμούς, η ομάδα του εγχειρήματος θέτει ως στόχο, για τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του ολοκληρωμένου συστήματος, την καταγραφή μικρότερου κόστους ζημιών από ακραία καιρικά φαινόμενα τουλάχιστον κατά 30.000 ευρώ, το οποίο αποτελεί πρόβλεψη βάσει στοιχείων από παρελθόντα έτη. Λόγω της συνεχούς βελτίωσης των υποδομών σε ολόκληρο το νησί της Κρήτης, προβλέπεται να προσαυξάνεται ετησίως το ποσό που θα εξοικονομείται από τις αποζημιώσεις των ακραίων καιρικών φαινομένων κατά την πρώτη πενταετία, αυξημένο κατά 2% για το 2^ο έτος, 3% για το 3^ο έτος, 5% για το 4^ο έτος και 8% στο 5^ο έτος. Βάσει των στόχων αυτών το εγχείρημα θα μπορεί να ελέγχει σε βάθος πενταετίας αν επιτυγχάνει τους στόχους της ή αν χρειάζεται να τους αναπροσαρμόσει.

Η πρώτη μέθοδος αξιολόγησης του έργου είναι της περιόδου αποπληρωμής (Payback Period - PP), η επόμενη είναι ο λογιστικός ρυθμός απόδοσης χρημάτων (Accounting Rate of Return - ARR) και τέλος της καθαρής παρούσας αξίας (Net Present Value - NPV). Η αξία της αρχικής επένδυσης, χωρίς το συνυπολογισμό του μισθολογικού κόστους αλλά και του κόστους συντήρησης υπολογίζεται σε 382.497 ευρώ. Σύμφωνα με τον Πίνακα 5, το κόστος των αποζημιώσεων για τα πλημμυρικά φαινόμενα που πλήττουν την περιοχή των Χανίων ανέρχεται στα 67.500.000 € λαμβάνονται υπόψη τις καταγεγραμμένες καταστροφές για τα δεδομένα έτη. Συνεπώς, σε ετήσια βάση το ποσό των αποζημιώσεων υπολογίζεται σε 8.450.000 €. Ένα σημαντικό τμήμα από το συγκεκριμένο κόστος θεωρείται, ως εξοικονομούμενο ποσό από την μη πρόκληση των καταστροφών λόγω της λειτουργίας του έργου. Επιπροσθέτως, από το εξοικονομούμενο ποσό θα πρέπει να αφαιρεθεί το ετήσιο κόστος λειτουργίας του έργου που ανέρχεται στις 82.050 €. Συνεπώς, το ποσό που είναι το καθαρά εξοικονομούμενο είναι 27.950 €/ έτος.

$$PP = \frac{\text{Αξία επένδυσης}}{\text{Εξοικονομούμενο ποσό κατ' έτος}}, PP = \frac{382.497}{27.950}, PP=13,68$$

Βάσει της προαναφερόμενης μεθόδου υπολογισμού της καθαρής παρούσας αξίας, η αρχική επένδυση θα έχει αποπληρωθεί σε περίπου 14 έτη.

Επιπλέον παράμετροι που δεν ελήφθησαν υπόψιν στη συγκεκριμένη μέθοδο υπολογισμού της περιόδου αποπληρωμής αλλά θα πρέπει να συνυπολογιστούν είναι τα λειτουργικά κόστη (μισθοί εργαζομένων, συντήρηση κ.α.), τα οποία θα πρέπει να υφίστανται συνεχείς ταμειακές εισροές αλλά δεν θεωρούνται κόστος που καταγράφεται ως κόστος της αρχικής επένδυσης.

Η μέθοδος του λογιστικού ρυθμού απόδοσης χρημάτων (ARR) έχει ως στόχο την αποτίμηση και τον υπολογισμό της κερδοφορίας μιας επένδυσης ή ενός εγχειρήματος. Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου για την αξιολόγηση της επένδυσης επιλέχθηκε για διαφορετικό λόγο από ότι χρησιμοποιείται η μέθοδος συνήθως. Συνήθως, η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για τη σύγκριση πολλαπλών επενδύσεων για να καθορίσουν το αναμενόμενο ποσοστό απόδοσης κάθε επένδυσης. Μέσω του εγχειρήματος υπολογίζεται ότι η εξοικονόμηση από τις ζημιές που θα αποσοβηθούν θα πλησιάζει τα 110.000 ευρώ. Η αξία της αρχικής επένδυσης, χωρίς το συνυπολογισμό του μισθολογικού κόστους αλλά και του κόστους συντήρησης υπολογίζεται σε 382.497 ευρώ. Συνεπώς, ο λογιστικός ρυθμός απόδοσης χρημάτων της επένδυσης υπολογίζεται σε 0,073 ή 7,3% κατ' έτος. Το έργο μέσα από την λειτουργία του βοηθάει να προλαμβάνονται καταστροφές αξίας 110.000 €. Από το συγκεκριμένο ποσό αν αφαιρεθούν τα λειτουργικά έξοδα το εναπομένει ποσό ισοδυναμεί με 27.950 €, το οποίο με βάση την συγκεκριμένη μέθοδο μεταφράζεται σε επιστρεφόμενο κεφάλαιο έναντι του αρχικού σε ποσοστό 7,3%, συνεπώς η αρχική επένδυση θα έχει αποσβεστεί σε 14 έτη περίπου από την αγορά της.

$$ARR = \frac{\text{Μέσο ετήσιο κέρδος}}{\text{Ποσό της αρχικής επένδυσης}}, \text{ARR} = \frac{27.950}{382.497}, \text{ARR} = 0,073$$

Ο λογιστικός ρυθμός απόδοσης χρημάτων της επένδυσης, δεν θα αποδώσει με την «στενή» έννοια του ορισμού στην συγκεκριμένη εφαρμογή, καθώς η συγκεκριμένη επένδυση δεν προσδοκά στην απόκτηση κέρδους. Επιπροσθέτως, παράμετροι όπως μισθολογικό κόστος και συντήρησης υλικοτεχνικών υποδομών, που δεν ελήφθησαν υπόψιν στη συγκεκριμένη μέθοδο του λογιστικού ρυθμού απόδοσης χρημάτων, θα πρέπει να υπολογιστούν ώστε να παρέχονται επαρκείς ταμειακές ροές για την κάλυψη των υπολοίπων εξόδων πλην της αρχικής επένδυσης.

Όταν η καθαρή παρούσα αξία έχει θετική τιμή, τότε τα προβλεπόμενα οφέλη που παράγονται λόγω της επένδυσης, υπερβαίνουν το αναμενόμενο κόστος. Οι περισσότεροι επενδυτές επιλέγουν επενδύσεις με θετική NPV, αναμένοντας η επένδυση τους να είναι κερδοφόρα. Η συγκεκριμένη επένδυση δεν έχει ως στόχο την παραγωγή υπεραξίας, αλλά την αποτελεσματικότητα της έναντι οικονομικών ζημιών από ακραία

καιρικά φαινόμενα. Το κόστος της αρχικής επένδυσης υπολογίζεται σε 382.497 €, ενώ για τα 14 έτη που υπολογίζεται η καθαρή παρούσα αξία το μισθολογικό κόστος και το κόστος των λειτουργικών εξόδων υπολογίζονται στις 1.148.700 ευρώ.

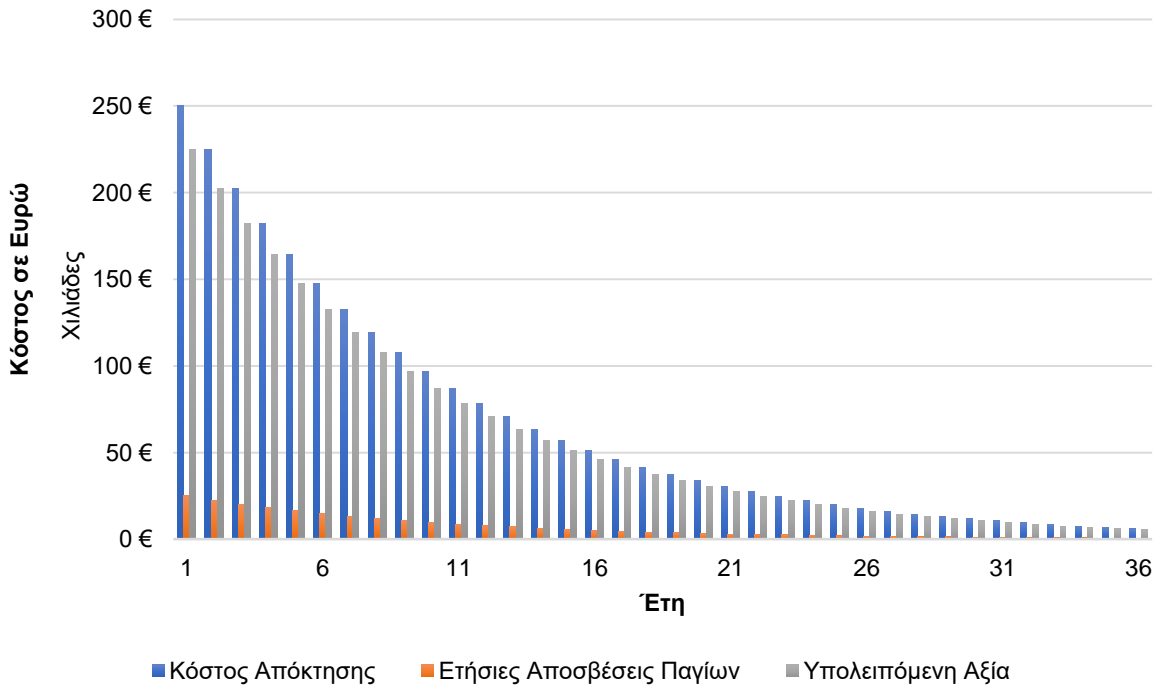
$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t}, NPV = \frac{1.148.700 + 382.497}{(1+3)^{14}}, NPV = \frac{1.531.197}{268.435.456}, NPV = 0,005704$$

Η καθαρή παρούσα αξία ισούται με 0,005704, συνεπώς αφού η τιμή είναι θετική, θεωρείται ως μια κερδοφόρα επένδυση. Η τιμή της καθαρής παρούσας αξίας δεν είναι μεγάλη, καθώς η επένδυση δεν έχει ως στόχο την μεγιστοποίηση του κέρδους αλλά την προστασία των περιουσιακών στοιχείων και των υποδομών της περιοχής από ακραία καιρικά φαινόμενα.

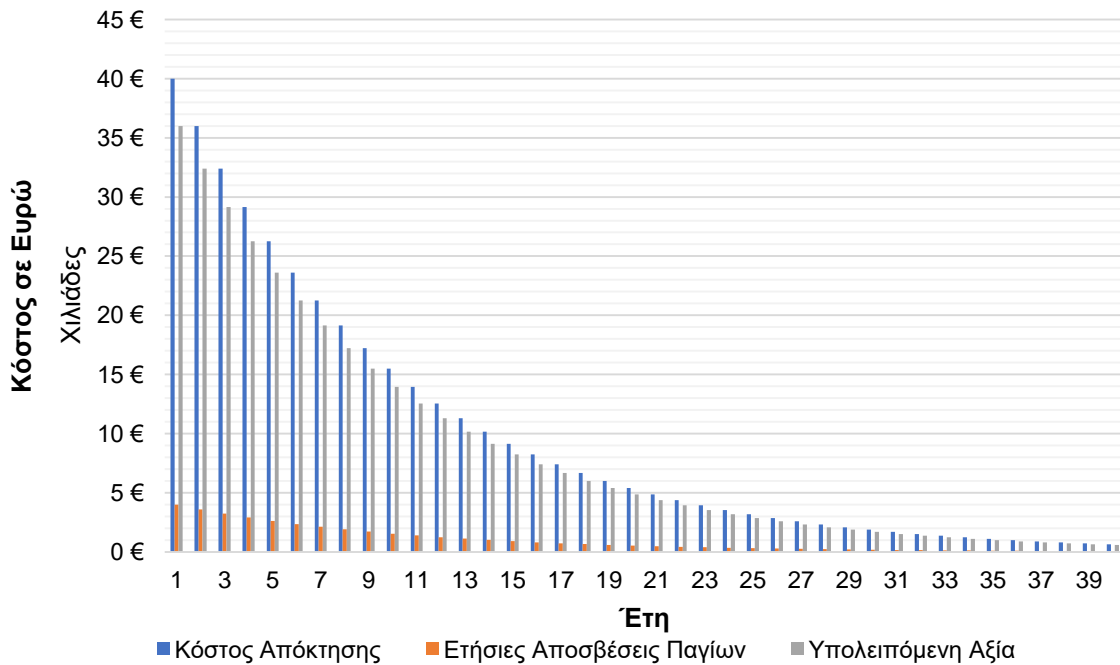
Τέλος, μετά την ανάλυση των τριών μεθόδων για την τεκμηρίωση της χρηματοοικονομικής αξιολόγησης της επένδυσης, παρουσιάζονται αναλυτικοί πίνακες με την εξέλιξη των αξιών που δύναται να αποσβεστούν σε βάθος χρόνου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται κατ' έτος οι αποσβέσεις των κύριων περιουσιακών στοιχείων του εγχειρήματος σε βάθος τεσσαρακονταετίας. Ο υπολογισμός των αποσβέσεων έγινε με σκοπό να μπορεί να υπολογιστεί η συνολική ετήσια απόσβεση του εγχειρήματος η οποία παρουσιάζεται στις Εικόνες 36-40. Ο ρυθμός ετήσιας απόσβεσης έχει οριστεί σε 10%, το οποίο βάσει της ελληνικής νομοθεσίας είναι ο ετήσιος ρυθμός απόσβεσης των πάγιων περιουσιακών στοιχείων ενός έργου πλην συγκεκριμένων εξαιρέσεων.

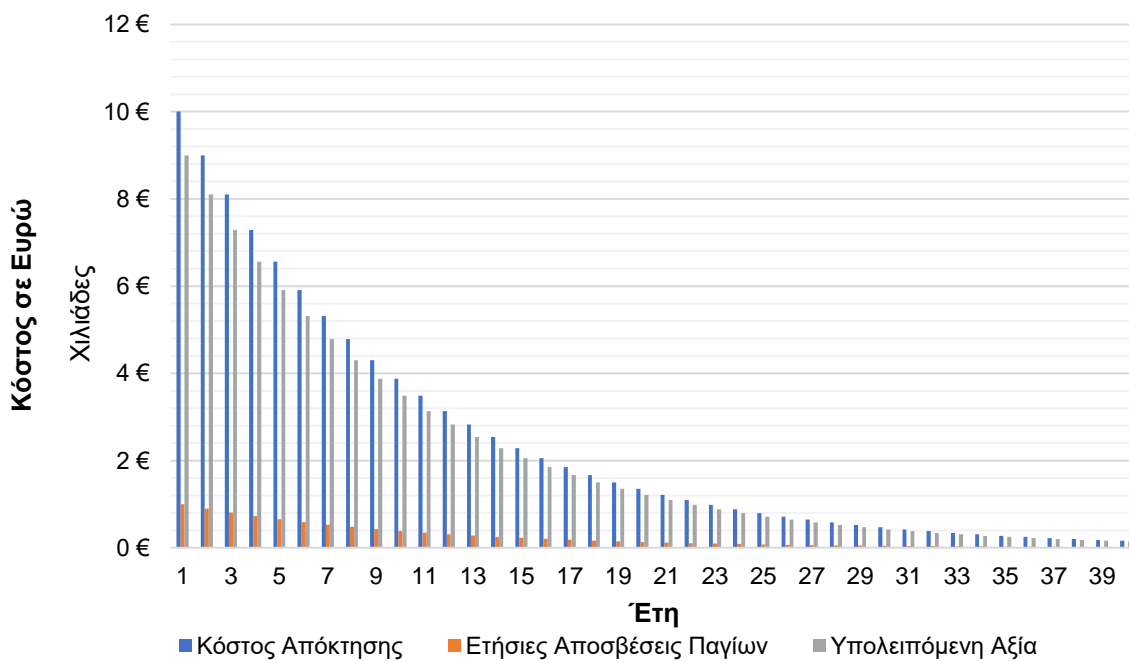
Η Εικόνα 36 παρουσιάζει το διάγραμμα της αποσβεστέας αξίας σε βάθος 36 ετών για το Ραντάρ. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι το ετήσιο κόστος απόκτησης είναι το άθροισμα της υπολειπόμενης αξίας του ραντάρ και της ετήσιας αποσβεσμένης αξίας. Το πρώτο έτος η αξία απόκτησης είναι 250.000 € και μειώνεται σε σταθερό ρυθμό κατ' έτος. Η Εικόνα 37 παρουσιάζει το διάγραμμα της αποσβεστέας αξίας σε βάθος 39 ετών για το όχημα ρυμούλκησης του Ραντάρ. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι το ετήσιο κόστος απόκτησης είναι το άθροισμα της υπολειπόμενης αξίας του ραντάρ και της ετήσιας αποσβεσμένης αξίας. Το πρώτο έτος η αξία απόκτησης είναι 40.000 € και μειώνεται σε σταθερό ρυθμό κατ' έτος. Η Εικόνα 38 παρουσιάζει το διάγραμμα της αποσβεστέας αξίας σε βάθος 39 ετών για τους μετεωρολογικούς σταθμούς του εγχειρήματος. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι το ετήσιο κόστος απόκτησης είναι το άθροισμα της υπολειπόμενης αξίας του ραντάρ και της ετήσιας αποσβεσμένης αξίας. Το πρώτο έτος η αξία απόκτησης είναι 10.000 € και μειώνεται σε σταθερό ρυθμό κατ' έτος. Η Εικόνα 39 παρουσιάζει την αποσβεστέας αξία σε βάθος 39 ετών για το ΣμηΕΑ. Από το διάγραμμα παρατηρούμε ότι το ετήσιο κόστος απόκτησης είναι το άθροισμα της υπολειπόμενης αξίας του ραντάρ και της ετήσιας αποσβεσμένης αξίας. Το πρώτο έτος η αξία απόκτησης είναι 27.499 € και μειώνεται σε σταθερό ρυθμό κατ' έτος.



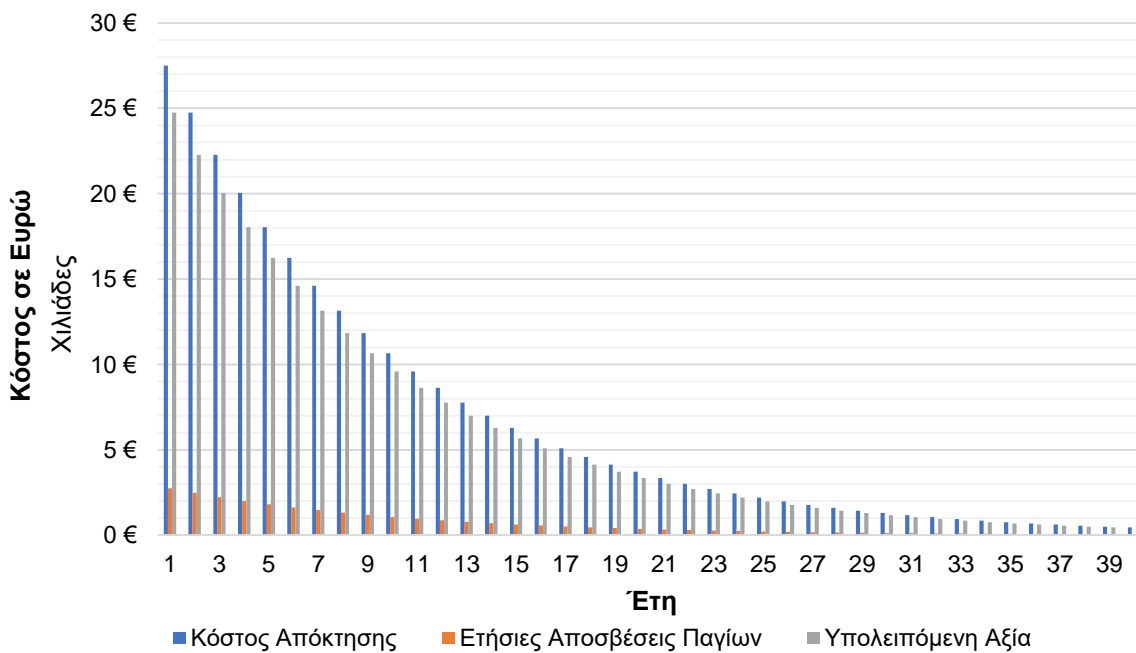
Εικόνα 36: Ετήσιος υπολογισμός αποσβέσεων για το Ραντάρ.



Εικόνα 37: Ετήσιος υπολογισμός αποσβέσεων για το όχημα ρυμούλκησης του Ραντάρ

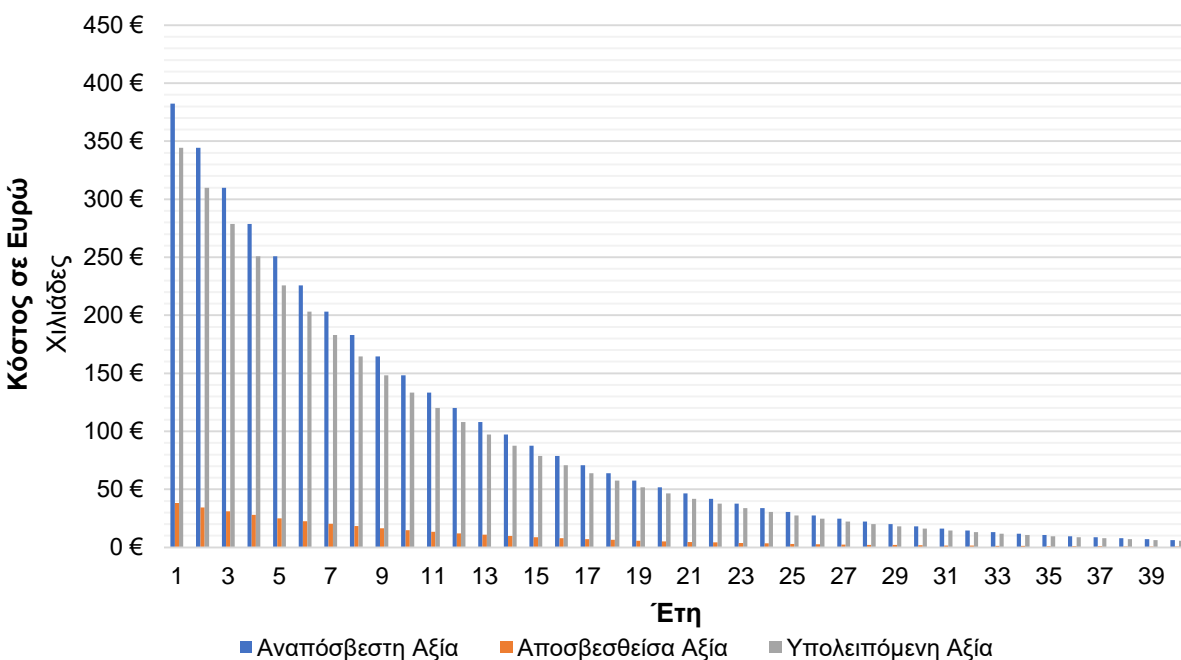


Εικόνα 38: Ετήσιος υπολογισμός αποσβέσεων για τους μετεωρολογικούς σταθμούς του εγχειρήματος



Εικόνα 39: Ετήσιος υπολογισμός αποσβέσεων για το ΣμηΕΑ.

Τέλος, η Εικόνα 40 παρουσιάζει το διάγραμμα της συνολικής αποσβεστέας αξίας του ολοκληρωμένου συστήματος σε βάθος 39 ετών. Κατά το πρώτο έτος η συνολική αξία του ολοκληρωμένου συστήματος ανέρχεται στις 382.497 € και μειώνεται σε σταθερό ρυθμό κατ' έτος.



Εικόνα 40: Συνολική αναπόσβεστη αξία, αποσβεσθείσα αξία και υπολειπόμενη αναπόσβεστη αξία κατ' έτος

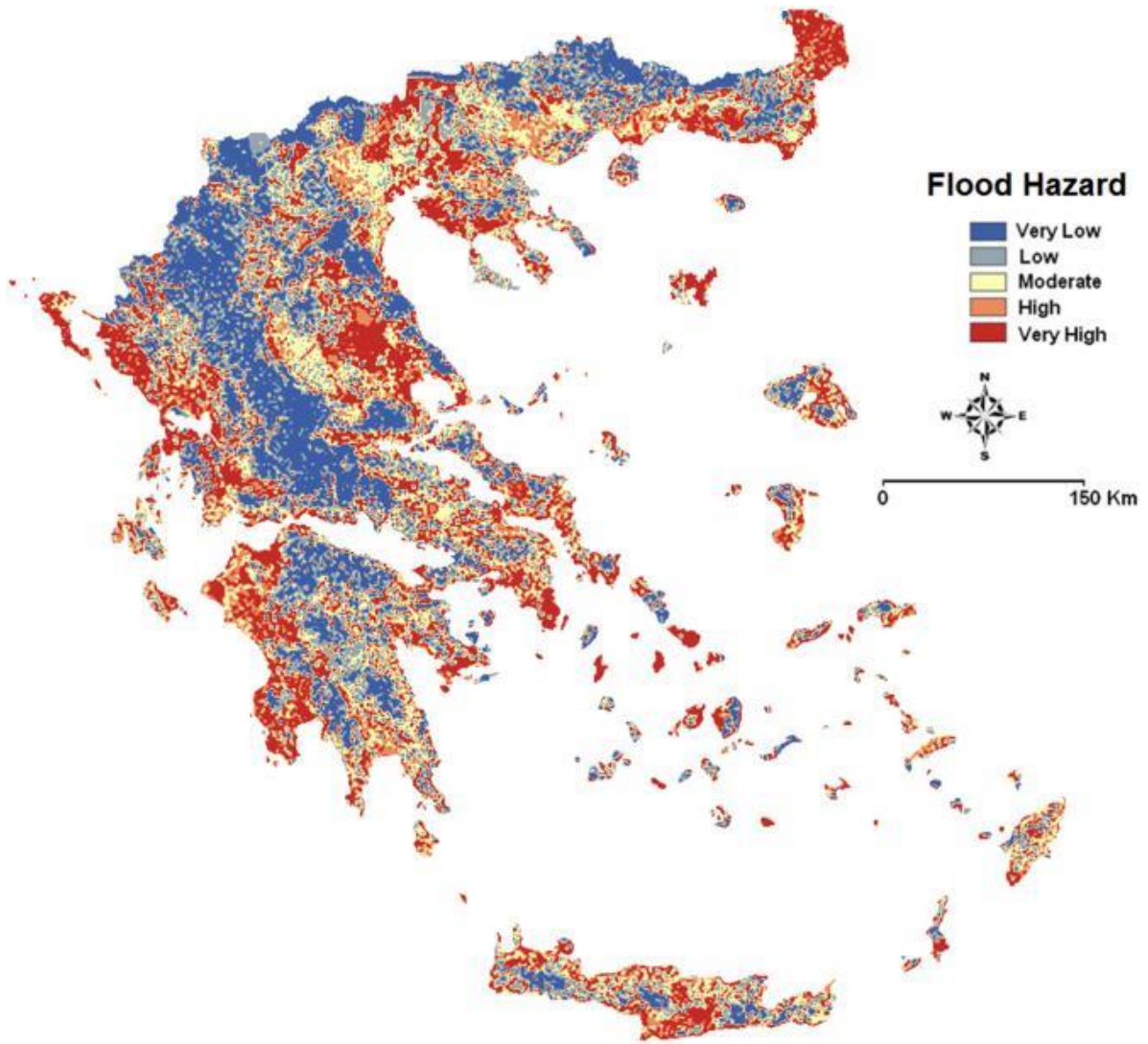
Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν μετά την εφαρμογή των τριών μεθόδων αξιολόγησης του έργου, χαρακτηρίζουν το έργο ως κερδοφόρο (κόστος αρχικής επένδυσης και ετησιο λειτουργικό κόστος) με μικρό ποσοστό κέρδους. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό απαντάται σε επενδύσεις κοινωνικού χαρακτήρα ή έργα που ως αρχικό σκοπό τους έχουν την προσφορά προς το κοινωνικό σύνολο.

Η μελέτη περίπτωσης αφορά την περιοχή της πόλης των Χανίων και παρουσίασε κοστολόγημένα στοιχεία τόσο για το κόστος του έργου αλλά και για τον ρυθμό αποσβεσης της αρχικής επένδυσης. Τα πλημμυρικά φαινόμενα που παρουσιάζονται στην περιοχή των Χανίων, παρουσιάζονται και σε αρκετές άλλες περιοχές της χώρας μας. Σε αυτές τις περιοχές θα πρέπει να γίνουν υδρολογικές μελέτες για την εξαγωγή στοιχείων και συμπερασμάτων για να υλοποιηθούν αντίστοιχα έργα με σκοπό την αποφυγή πλημμυρικών φαινομένων σε αυτές τις περιοχές.

5.9 Δράσεις διάδοσης

Με αφορμή την ολοκλήρωση του εγχειρήματος για τον σχεδιασμό του συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης ακραίων καιρικών φαινομένων με χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών και μετεωρολογικού ραντάρ θα πραγματοποιηθούν πολλαπλές δράσεις διάδοσης και διάδοσης αρχικά στην περιοχή, έπειτα στο υπόλοιπο νησί της Κρήτης και τέλος στην υπόλοιπη χώρα. Οι δράσεις διάδοσης διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Οι πρώτες αφορούν το εκάστοτε κοινό της ευρύτερης περιοχής αναφορικά με την ενημέρωση του για τον τρόπο λειτουργία του συστήματος και τα οφέλη που παρέχονται προς τις περιοχές. Οι επόμενες δράσεις ενημέρωσης αφορούν τις Περιφέρειες, τους Δήμους ή και γεωγραφικές περιοχές που θα μπορούσαν να το προμηθευτούν με σκοπό τόσο την έγκαιρη προειδοποίηση των πολιτών σε ακραία καιρικά φαινόμενα, όσο και για την αντιμετώπιση τους. Οι δεύτερες δράσεις ενημέρωσης θα αφορούν κυρίως δημοσιεύσεις σε συνέδρια, δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά, μέσω του site του ολοκληρωμένου συστήματος αλλά και μέσω εμπορικών εκθέσεων, με σκοπό την πληροφόρηση τόσο εντός όσο και εκτός της χώρας αναφορικά με τα αποτελέσματα του συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης ακραίων καιρικών φαινομένων με χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών και μετεωρολογικού ραντάρ.

Οι δράσεις διάδοσης του συστήματος προς το ευρύ κοινό θα ξεκινήσουμε από παρουσιάσεις που θα λάβουν χώρα σε δήμου και περιφέρειες που βάσει ιστορικότητα παρουσιάζουν υψηλό ποσοστό κινδύνου προκλήσεις πλημμυρικών φαινομένων. Ενδεικτικά, περιοχές κοντά στον ποταμό Έβρο, στην κεντρική Μακεδονία, την Θεσσαλία, τη δυτική Ελλάδα έως και την Πελοπόννησο αλλά και οι Κυκλάδες είναι περιοχές όπου βάσει του παρακάτω χάρτη παρουσιάζουν αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων. Επιπροσθέτως, δεν θα έπρεπε να μην πραγματοποιηθούν δράσεις ενημέρωσης αναφορικά με το σύστημα σε περιοχές που βρίσκονται περιμετρικά από τις προαναφερόμενες περιοχές και εμφανίζουν υψηλό κίνδυνο πρόκλησης πλημμυρικών φαινομένων, καθώς και σε πολλά νησιά κυρίως του Αιγίου και δευτερευόντως του Ιονίου πελάγους.



Εικόνα 41 Χάρτης κινδύνου πλημμύρας βάσει της έντασης της βροχόπτωσης στην Ελλάδα. (Kourgialas and Karatzas, 2017).

6 Συμπεράσματα – Προτάσεις

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία τα οφέλη της τροποποίησης καιρού είναι πολλαπλά και η πιθανότητα επιτυχίας μεγάλη. Η σπορά των νεφών μέσω στοχευμένων επεμβάσεων περιλαμβάνει πολλές μεθόδους όπως αναφέρθηκαν αλλά καμία από αυτές δεν παρέχει τόσο μεγάλη στόχευση. Το συγκεκριμένο σύστημα που βασίζεται σε φορητό ραντάρ και σε ΣμηΕΑ, τα οποία συνδυαστικά παρέχουν μέγιστη δυνατότητα μετακίνησης και εύρεσης του βέλτιστου σημείου για την επέμβαση στο νέφος. Στην συγκεκριμένη εργασία προσδιορίστηκαν με ακρίβεια όλες οι παράμετροι εφαρμογής (υλικό, λογισμικό, ανθρώπινο δυναμικό, σημεία ανάπτυξης υποσυστημάτων).

Στην συγκεκριμένη διατριβή υπολογίστηκε το κόστος του κάθε επιμέρους τμήματος του ολοκληρωμένου συστήματος με βάση 5 οικονομικές μεθόδους. Επιπροσθέτως, υπολογίστηκαν οι αξίες και οι αποσβέσεις των τμημάτων του ολοκληρωμένου συστήματος σε βάθος 39 ετών. Επιπλέον, υπολογίστηκε το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης των επιμέρους τμημάτων του ολοκληρωμένου συστήματος αλλά και στο σύνολο του. Πιο αναλυτικά η κατασκευή 3 ΣμηΕΑ έχει κόστος 82.497 € και η ετήσια συντήρηση τους 17.550 €, αντιστοίχως το κόστος αγοράς του ραντάρ υπολογίζεται στις 250.000 € και συντήρησης τους κατ' έτος στις 10.000 €. Το όχημα για την ρυμούλκηση του ραντάρ κοστίζει 40.000 € και το κόστος για την συντήρηση του ανέρχεται στα 1.500 €. Τέλος η κατασκευή των 5 μετεωρολογικών σταθμών κοστίζει 10.000 € και το κόστος συντήρησης τους κατ' έτος ανέρχεται στα 1.000 €. Ως τελευταία δαπάνη, δεν θα μπορούσε να παραληφθεί το κόστος του προσωπικού κατ' έτος το οποίο ανέρχεται στις 52.000 €. Η ανάλυση κόστους οφέλους έδειξε ότι μια επένδυση σε αυτή την τεχνολογία έχει συνολικά μικρότερο κόστος από το ετήσιο κόστος των επιπτώσεων των ακραίων καιρικών φαινομένων.

Το συγκεκριμένο εγχείρημα πριν ακόμα εγκατασταθεί και κατά την φάση της ανάπτυξης του ΣμηΕΑ και την επιλογή των επιμέρους τμημάτων του, έχει ήδη προβεί στην στοχοθέτηση των ενεργειών που πρέπει να λάβουν χώρα, κατατάσσοντας τις με βάση το χρονικό περιθώριο στο οποίο θα υλοποιηθούν, αλλά και τις ομάδες – στόχους (target groups) που θα ικανοποιηθούν από τις παρεχόμενες υπηρεσίες της. Με βάση τα θετικά αποτελέσματα της ανάλυσης μπορούμε να θέσουμε κάποιους στόχους υλοποίησης οι οποίοι διαχωρίζονται σε βραχυπρόθεσμους στόχους, εκείνους δηλαδή για τους οποίους το εγχείρημα έχει θέσει ορίζοντα υλοποίησης την πενταετία, βλέπουμε ότι δύναται να ταξινομηθούν σε παραγωγικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς και μακροπρόθεσμους στόχους οι οποίοι είναι οι στρατηγικοί.

6.1 Παραγωγικοί Στόχοι

Οι παραγωγικοί στόχοι σχετίζονται αμιγώς με τη διεύρυνση στους υπόλοιπους νομούς της Κρήτης νέων εγκαταστάσεων του συγκεκριμένου εγχειρήματος με σκοπό την πλήρη κάλυψη του νησιού από ακραία

καιρικά φαινόμενα. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, το εν λόγω εγχείρημα έχει ως στόχο την εγκατάσταση πέντε μετεωρολογικών σταθμών, οι οποίοι τόσο μέσα από την τεχνογνωσία που ήδη υφίσταται αλλά και βάσει εμπειρικών μοντέλων θα μεγιστοποιήσουν τα στοιχεία βάσει των οποίων θα αποστέλλεται το ΣμηΕΑ. Ένα επιπρόσθετος παραγωγικός στόχος του έργου είναι η αύξηση του πλήθους τόσο των ραντάρ όσο και των μετεωρολογικών σταθμών στο νησί με σκοπό την πληρέστερη κάλυψη των ακραίων καιρικών φαινομένων. Τέλος, οι παραγωγικοί στόχοι ολοκληρώνονται με την πραγματοποίηση μελετών και σε άλλες περιοχές που παρουσιάζονται παρακάτω με αντίστοιχα πλημμυρικά φαινόμενα, με σκοπό την διάδοση του έργου και την πληρέστερη κάλυψη σε περισσότερες περιφέρειες της χώρας.

Ειδικά για τον Ν. Χανίων, η παρούσα μελέτη προσδιόρισε με βάση την ιστορικότητα των στοιχείων, την περίοδο που παρουσιάζονται ακραία πλημμυρικά φαινόμενα (περίοδος 2000-2019). Αναφορικά με τα δεδομένα στοιχεία, το συγκεκριμένο εγχείρημα έχει θέσει ως στόχο την πραγματοποίηση σποράς στο σύνολο των νεφών αλλά ως ελάχιστο στόχο έχει θέσει ότι το 30% των νεφών θα πρέπει τεκμηριωμένα να έχουν προκαλέσει νετό, βάσει των μετρήσεων από τους μετεωρολογικούς σταθμούς.

6.2 Οικονομικοί Στόχοι

Όσον αφορά στους οικονομικούς στόχους που πρόκειται να τεθούν για το εν λόγω εγχείρημα, σχετίζονται με μια συνεχή προσπάθεια διεύρυνσης των ακραίων καιρικών φαινομένων που θα μπορούν να προειδοποιούν έγκαιρα για τα ακραία καιρικά φαινόμενα και μέσω του ΣμηΕΑ να αντιμετωπίζουν τα αποτελέσματα των φαινομένων. Επιπροσθέτως, η θωράκιση της ευρύτερης περιοχής από τα ακραία πλημμυρικά φαινόμενα. Τόσο η προστασία των ιδιωτικών περιουσιακών στοιχείων όσο και της δημόσιας περιουσίας αλλά και των υποδομών της περιοχής, θεωρείτε ίσως ο βασικότερος οικονομικός στόχος.

6.3 Κοινωνικοί Στόχοι

Ολοκληρώνοντας την ομάδα – κατηγορία των βραχυπρόθεσμων στόχων, το εγχείρημα πρόκειται να επιδιώξει την επίτευξη μιας σειράς κοινωνικών στόχων, οι οποίοι σχετίζονται τόσο με την αναβάθμιση της συγκεκριμένης περιοχής, όσο και με την ενσωμάτωση του εγχειρήματος αλλά και των εργαζομένων του στην τοπική κοινωνία. Αναλυτικότερα το εγχείρημα αποσκοπεί στην ενημέρωση του συνόλου των κατοίκων του νομού Χανίων και την πληροφόρηση τους αναφορικά με το εγχείρημα, με σκοπό την πλήρη αποδοχή και υποστήριξη του. Τέλος, το συγκεκριμένο ολοκληρωμένο σύστημα, έχει ως στόχο εκπαίδευση μέσα από εκδρομές των σχολείων της περιοχής με σκοπό την ενημέρωση αναφορικά με τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής αλλά και τα ακραία καιρικά φαινόμενα.

Στο πλαίσιο της επίτευξης των κοινωνικών στόχων και σε μια προσπάθεια ποσοτικοποίηση του κοινωνικού αντικρίσματος εφαρμογής του συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης ακραίων καιρικών

φαινομένων με χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών στην περιοχή των Χανίων, προσλαμβάνονται 2 καταρτισμένα στελέχη με σκοπό την διαχείριση του. Για το συγκεκριμένο εγχείρημα αναζητούνται καταρτισμένα στελέχη από την τοπική κοινωνία με σκοπό την ευκολότερη αφομοίωση του εγχειρήματος από την τοπική κοινωνία.

6.4 Στρατηγικοί Στόχοι

Περνώντας τώρα, σε μια ευρύτερη κατηγορία στόχων, εκείνη των στρατηγικών, το εγχείρημα έχει προβεί εξ αρχής στον αυτοπροσδιορισμό και τοποθέτηση του, κατορθώνοντας έτσι να σκιαγραφήσει την αγορά – στόχο, τους δυνητικούς πελάτες, καθώς και τις ανάγκες τους προς ικανοποίηση. Πιο αναλυτικά, αγορά στόχο για το εν λόγω εγχείρημα, αποτελούν όπως είναι κατανοητό, οι περιοχές (Δήμοι - Περιφέρειες) που πλήττονται από ακραία καιρικά φαινόμενα στην Ελλάδα. Όσον αφορά στις ανάγκες που θα έρθει να ικανοποιήσει το σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και αντιμετώπισης των ακραίων καιρικών φαινομένων με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών και μετεωρολογικού Ραντάρ, σχετίζονται με την παρακολούθηση μετεωρολογικών συστημάτων που προσεγγίζουν την περιοχή στόχο, την έγκαιρη προειδοποίηση κρατικών μηχανισμών προστασίας (π.χ. Πολιτική Προστασία) και η διαδικασία αντιμετώπισης του ακραίου καιρικού φαινομένου πριν την πρόκληση ακραίων καταστροφών.

Βιβλιογραφία

- 5G!Drones, 2021. Use Cases – 5G!Drones H2020 ICT-19-2019 5G-PPP 5GDrones Project [WWW Document]. URL <https://5gdrones.eu/>
- Abshaev, M.T., Abshaev, A.M., Zakinyan, R.G., Zakinyan, A.R., Wehbe, Y., Yousef, L., Farrah, S., Mandous, A. Al, 2020. Investigating the feasibility of artificial convective cloud creation. *Atmos. Res.* 243. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104998>
- ACAP, 2017. The Greater Saint John Cloud Seeding Program — ACAP Saint John [WWW Document]. acapsj.org.
- Adamo, F., Andria, G., Nisio, A. Di, Calò Carducci, C.G., Lay-Ekuakille, A., Mattencini, G., Spadavecchia, M., 2017. Designing and prototyping a sensors head for test and certification of UAV components. *Int. J. Smart Sens. Intell. Syst.* 10, 646–672. <https://doi.org/10.21307/ijssis-2017-228>
- Adams, B., Bloomfield, J., Gallagher, A., Jackson, C., Rutter, H., Williams, A., 2008. FLOOD 1. Final Report 75. <https://doi.org/OR/08/055>
- Adams, J., 2018. Cloud seeding off to a strong start for 2018-19 winter season - News on TAP [WWW Document]. denverwatertap.org.
- Alsharhan, A.S., Rizk, Z.E., 2020. Water Resources and Integrated Management of the United Arab Emirates. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-31684-6>
- America, D., 2016. Unmanned cloud-seeding gains ejectable flare capabilities [WWW Document]. *Drone Am.*
- American, N., Consultants, W., 2016. Feasibility / Design Study for a Winter Cloud Seeding Program in the Upper Cuyama River Drainage , California.
- Bandala, A.A., Chua, A.G., Dajay, R.R., Rabacca, R.D., So, E.C., Martin Maningo, J.Z., Fernando, A.H., Rhay Vicerra, R.P., 2019. Payload Lift and Transport Using Decentralized Unmanned Aerial Vehicle Quadcopter Teams. *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON 2018-Octob*, 1695–1700. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2018.8650540>
- Bangsund, D., Hodur, N., 2019. ECONOMIC IMPACTS OF CLOUD SEEDING ON AGRICULTURAL CROPS, Outdoor recreation in Canada. <https://doi.org/10.4324/9781003005520-20>
- Benito, G., Lang, M., Barriendos, M., Llasat, M.C., Francés, F., Ouarda, T., Thorndycraft, V., Enzel, Y.,

- Bardossy, A., Coeur, D., Bobée, B., 2004. Use of Systematic, Palaeoflood and Historical Data for the Improvement of Flood Risk Estimation. Review of Scientific Methods. *Nat. Hazards* 31, 623–643. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000024895.48463.eb>
- Bicker, L., 2019. South Korea pollution: Is China the cause of “fine dust”? - BBC News. BBC.
- Boyle, C.E., 2002. Eastern European Floods Cause Widespread Damage [WWW Document]. *Insur. J.*
- Britannica, 2020. Vincent Joseph Schaefer | American chemist and meteorologist [WWW Document]. Britannica.
- Brown, R.R., Keath, N., Wong, T.H.F., 2009. Urban water management in cities: historical, current and future regimes. *Water Sci. Technol.* 59, 847–855. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.029>
- Bruintjes, R.T., 1999. A Review of Cloud Seeding Experiments to Enhance Precipitation and Some New Prospects. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 80, 805–820. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080<0805:AROCSE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080<0805:AROCSE>2.0.CO;2)
- Bründl, M., Rickli, C., 2002. The storm Lothar 1999 in Switzerland - An incident analysis. *For. Snow Landsc. Res.* 77, 207–216.
- Bryan Clark, 2020. A drone designed to cure drought just took flight over Nevada [WWW Document]. Next Web.
- Burns, M.J., Fletcher, T.D., Walsh, C.J., Ladson, A.R., Hatt, B.E., 2012. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. *Landsc. Urban Plan.* 105, 230–240. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.12.012>
- Cassardo, C., Cremonini, R., Gandini, D., Paesano, G., Pelosini, R., Qian, M.W., 2001. Analysis of the severe flood of 13t-16th October 2000 in Piedmont (Italy). *Cuad. Investig. Geográfica* 27, 147. <https://doi.org/10.18172/cig.1120>
- Ceppi, P., Della-Marta, P.M., Appenzeller, C., 2008. *SO-Int J Soc Psychiatry, Reports from MeteoSwiss.*
- Cha, J.W., Jung, W., Chae, S., Ko, A., Ro, Y., 2019. Analysis of Results and Techniques about Precipitation Enhancement by Aircraft Seeding in Korea 29, 481–499.
- Charalampopoulos, I., Tsiros, I., 2017. Perspectives on Atmospheric Sciences. *Perspect. Atmos. Sci.* <https://doi.org/10.1007/978-3-319-35095-0>

- Chen, James, 2020. Profitability Index [WWW Document]. Investopedia.
- Choi, Y. -S., Ho, C. -H., Ahn, M. -H., Kim, Y. -M., 2007. An exploratory study of cloud remote sensing capabilities of the Communication, Ocean and Meteorological Satellite (COMS) imagery. *Int. J. Remote Sens.* 28, 4715–4732. <https://doi.org/10.1080/01431160701264235>
- Cloud seeding is embraced by some water managers [WWW Document], 2019. . Cronkite News Arizona PBS.
- Cloud Seeding Program - DRI [WWW Document], 2019. . Desert Res. Inst.
- Corpuz-Bosshart, L., 2021. Canada's first 5G drones fly over UBC [WWW Document]. URL <https://news.ubc.ca/2021/04/15/canadas-first-5g-drones-fly-over-ubc/> (accessed 12.19.21).
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.P., Iglesias, A., Lange, M.A., Lionello, P., Llasat, M.C., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M.N., Xoplaki, E., 2018. Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nat. Clim. Chang.* <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
- Cziczo, D.J., Wolf, M.J., Gasparini, B., Münch, S., Lohmann, U., 2019. Unanticipated Side Effects of Stratospheric Albedo Modification Proposals Due to Aerosol Composition and Phase. *Sci. Rep.* 9, 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53595-3>
- DeFelice, T.P., Axisa, D., 2017. Modern and prospective technologies for weather modification activities: Developing a framework for integrating autonomous unmanned aircraft systems. *Atmos. Res.* 193, 173–183. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.04.024>
- Di Nisio, A., Di Noia, T., Carducci, C.G.C., Spadavecchia, M., 2016. High dynamic range power consumption measurement in microcontroller-based applications. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 65, 1968–1976. <https://doi.org/10.1109/TIM.2016.2549818>
- Diakakis, M., Andreadakis, E., Nikolopoulos, E.I., Spyrou, N.I., Gogou, M.E., Deligiannakis, G., Katsetsiadou, N.K., Antoniadis, Z., Melaki, M., Georgakopoulos, A., Tsaprouni, K., Kalogiros, J., Lekkas, E., 2019. An integrated approach of ground and aerial observations in flash flood disaster investigations. The case of the 2017 Mandra flash flood in Greece. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 33, 290–309. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.10.015>
- Diakakis, M., Boufidis, N., Salanova Grau, J.M., Andreadakis, E., Stamos, I., 2020. A systematic

- assessment of the effects of extreme flash floods on transportation infrastructure and circulation: The example of the 2017 Mandra flood. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 47, 101542. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101542>
- Diakakis, M., Deligiannakis, G., Mavroulis, S., 2011. Flooding in Peloponnese, Greece: a contribution to flood hazard assessment, in: Lambrakis, N., Stournaras, G., Katsanou, K. (Eds.), *Advances in the Research of Aquatic Environment: Volume 1*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 199–206. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19902-8_23
- Diakakis, M., Mavroulis, S., Deligiannakis, G., 2012. Floods in Greece, a statistical and spatial approach. *Nat. Hazards* 62, 485–500. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0090-z>
- DRI, 2020. What is Cloud Seeding? [WWW Document]. Desert Research Inst.
- EEA, 2019. Economic losses from climate-related extremes in Europe — European Environment Agency.
- EEA, 2012. Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies. European Environment Agency. <https://doi.org/10.2800/41895>
- Eng, K., Tasker, G.D., Milly, P.C.D., 2005. An analysis of region-of-influence methods for flood regionalization in the Gulf-Atlantic Rolling Plains. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 41, 135–143. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2005.tb03723.x>
- ESWD, 2021. European Severe Weather Database [WWW Document]. Eur. Sev. Weather Database. URL <https://www.eswd.eu/>
- Etienne, C., Beniston, M., 2012. Wind storm loss estimations in the Canton of Vaud (Western Switzerland). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 3789–3798. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-3789-2012>
- Feenstra, D.W., Wang, H., 2000. Economic and Accounting Rates of Return [WWW Document]. Res. Rep. 00E42.
- Finnegan, W.G., 1999. Generation of ice nucleus aerosols by pyrotechnic combustion. *NASPA J.* 31, 102–108. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Fisher, N.I., 1993. *Statistical Analysis of Circular Data*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/DOI:10.1017/CBO9780511564345>
- Formetta, G., Bell, V., Stewart, E., 2018. Use of Flood Seasonality in Pooling-Group Formation and Quantile Estimation: An Application in Great Britain. *Water Resour. Res.* 54, 1127–1145.

<https://doi.org/10.1002/2017WR021623>

- French, J., Tessendorf, S., 2018. Does cloud seeding work? Scientists watch ice crystals grow inside clouds to find out [WWW Document]. *Conversat.*
- French, J.R., Friedrich, K., Tessendorf, S.A., Rauber, R.M., Geerts, B., Rasmussen, R.M., Xue, L., Kunkel, M.L., Blestrud, D.R., 2018. Precipitation formation from orographic cloud seeding. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 115, 1168–1173. <https://doi.org/10.1073/pnas.1716995115>
- Fugazza, M., Magri, P., Natale, L., Savi, F., 2008. The October 2000 flood at the Po river and Sesia river junction. *WIT Trans. Ecol. Environ.* 118, 37–45. <https://doi.org/10.2495/FRIAR080041>
- Funk, F., Stütz, P., 2018. A passive cloud detection system for UAV: Weather situation mapping with imaging sensors. *IEEE Aerosp. Conf. Proc.* <https://doi.org/10.1109/AERO.2017.7943915>
- Galia, T., Škarpich, V., Tichavský, R., Vardakas, L., Šilhán, K., 2018. Longitudinal distribution and parameters of large wood in a Mediterranean ephemeral stream. *Geomorphology* 310, 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.03.007>
- García-Herrera, R., Barriopedro, D., 2018. Climate of the Mediterranean Region. <https://doi.org/10.1093/ACREFORE/9780190228620.013.509>
- Garstang, M., Braham, R., Bruintjes, R., Clifford, S., Hoffman, R., Douglass, L., List, R., Serafin, R., Try, P., Verlinde, J., 2003. Critical Issues in Weather Modification Research, *Critical Issues in Weather Modification Research*. <https://doi.org/10.17226/10829>
- Gaume, E., Bain, V., Bernardara, P., Newinger, O., Barbuc, M., Bateman, A., Blaškovičová, L., Blöschl, G., Borga, M., Dumitrescu, A., Daliakopoulos, I., Garcia, J., Irimescu, A., Kohnova, S., Koutroulis, A., Marchi, L., Matreata, S., Medina, V., Preciso, E., Sempere-Torres, D., Stancalie, G., Szolgay, J., Tsanis, I., Velasco, D., Viglione, A., 2009. A compilation of data on European flash floods. *J. Hydrol.* 367, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.028>
- Godart, A.L., Anquetin, S., Leblois, E., Creutin, J.D., 2011. The contribution of orographically driven banded precipitation to the rainfall climatology of a mediterranean region. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 50, 2235–2246. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-10-05016.1>
- Gouiaa, S., Mehdi, A., Driss, Z., Amira, B. Ben, Abid, M.S., 2017. Numerical simulation of the arm length effect of an octo-copter. *Indian J. Eng.* 14, 71–76.

Grazzini, F., der Grijn, G., 2003. Central European floods during summer 2002. *ECMWF Newsl.* 96, 18–28.

Greece climate: average weather, temperature, precipitation, best time [WWW Document], 2020.

Greece Map (Physical) - Worldometer [WWW Document], 2020.

Greece Population (2018) - Worldometers [WWW Document], 2020.

Grillakis, M.G., Koutroulis, A.G., 2018. Hydrometeorological Extremes in a Warmer Climate: A Local Scale Assessment for the Island of Crete. *Proceedings* 7, 22. <https://doi.org/10.3390/ecws-3-05818>

Guo, X., Zheng, G., 2009. Advances in weather modification from 1997 to 2007 in China. *Adv. Atmos. Sci.* 26, 240–252. <https://doi.org/10.1007/s00376-009-0240-8>

Hayes, A., 2020. Internal Rate of Return [WWW Document]. Investopedia.

Haza, R., 2017. Cloud seeding a boost to rainfall over UAE - The National [WWW Document]. Natl.

Hazem, H., Tariq, A., Rola, A., Binsal, A.K., Mohd, A., Abubaker, R., 2019. Emirates News Agency - WAM Feature: How the UAE uses ground-based seeding generators in rain enhancement [WWW Document]. Emirates News Agency.

Hoffer, N. V., Coopmans, C., Jensen, A.M., Chen, Y., 2014. A survey and categorization of small low-cost unmanned aerial vehicle system identification. *J. Intell. Robot. Syst. Theory Appl.* 74, 129–145. <https://doi.org/10.1007/s10846-013-9931-6>

Holton, A., Lawson, S., Love, C., 2015. Unmanned Aerial Vehicles: Opportunities, barriers, and the future of “drone journalism.” *Journal. Pract.* 9, 634–650. <https://doi.org/10.1080/17512786.2014.980596>

Horvat, V., Lipovsac, B., 2009. CLOUD SEEDING WITH THE TG-IO ROCKETS, Hydrometeorological Institute Zagreb. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Humanitarian, T.N., 2004. Cloud seeding could be expanded across the Sahel [WWW Document].

Iceflares, 2021. Burn in Place & Ejectable Flare Racks and Ground Based Flare Tree Equipment :: Ice Crystal Engineering [WWW Document]. Ice Cryst. Eng. URL <http://iceflares.com/cloud-seeding-equipment> (accessed 5.18.21).

Irving, M., 2016. Cloud study shows how planes can significantly boost rainfall in their path [WWW Document]. New Atlas.

- Jahn, M., 2015. Economics of extreme weather events: Terminology and regional impact models. *Weather Clim. Extrem.* 10, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.005>
- Jiang, M., Aoyama, T., Takaki, T., Ishii, I., 2016. Pixel-level and robust vibration source sensing in high-frame-rate video analysis. *Sensors (Switzerland)* 16, 1–4. <https://doi.org/10.3390/s16111842>
- Kagan, J., 2020. Payback Period [WWW Document]. Investopedia.
- Kaliabakos, D., Damigos, D., 2008. Οικονομικά του Περιβάλλοντος και των Υδατικών Πόρων: Χρηματοοικονομική και κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση επενδύσεων. Athens, Greece.
- Kang, J.H., Kwon, Y.M., Park, K.J., 2017. Cooperative spatial retreat for resilient drone networks. *Sensors (Switzerland)* 17, 1–12. <https://doi.org/10.3390/s17051018>
- Keith, D.W., Weisenstein, D.K., Dykema, J.A., Keutsch, F.N., 2016. Stratospheric solar geoengineering without ozone loss. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113, 14910–14914. <https://doi.org/10.1073/pnas.1615572113>
- Kenton, W., 2020. Net Present Value [WWW Document]. Investopedia.
- Kim, B.Y., Cha, J.W., Ko, A.R., Jung, W., Ha, J.C., 2020. Analysis of the occurrence frequency of seedable clouds on the Korean Peninsula for precipitation enhancement experiments. *Remote Sens.* 12. <https://doi.org/10.3390/RS12091487>
- Koutroulis, A.G., Grillakis, M.G., Tsanis, I.K., Kotroni, V., Lagouvardos, K., 2012. Lightning activity, rainfall and flash flooding-occasional or interrelated events? A case study in the island of Crete. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 881–891. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-881-2012>
- Koutroulis, A.G., Tsanis, I.K., Daliakopoulos, I.N., 2010. Seasonality of floods and their hydrometeorologic characteristics in the island of Crete. *J. Hydrol.* 394, 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.025>
- Kropp, J., Schellnhuber, H., 2011. In *Extremis: Disruptive Events and Trends in Climate and Hydrology*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-14863-7>
- Kumar, K.N., Suzuki, K., 2019. Assessment of seasonal cloud properties in the United Arab Emirates and adjoining regions from geostationary satellite data. *Remote Sens. Environ.* 228, 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.024>
- Kyristsis, S., Antonopoulos, A., Chanialakakis, T., Stefanakis, E., Linardos, C., Tripolitsiotis, A.,

- Partisinevelos, P., 2016. Towards autonomous modular UAV missions: The detection, geo-location and landing paradigm. *Sensors (Switzerland)* 16. <https://doi.org/10.3390/s16111844>
- Lai, C., 2019. Canned air and water-spraying drones: Smog remedies. *Phys.org*.
- Laliberte, A., 2009. Unmanned aerial vehicle-based remote sensing for rangeland assessment, monitoring, and management. *J. Appl. Remote Sens.* 3, 033542. <https://doi.org/10.1117/1.3216822>
- Li, S., Xu, L. Da, Zhao, S., 2015. The internet of things : a survey 243–259. <https://doi.org/10.1007/s10796-014-9492-7>
- Lisa M.P. Munoz, 2017. Seeding Change in Weather Modification Globally | World Meteorological Organization [WWW Document]. World Meteorol. Organ.
- Llasat, M.C., Llasat-Botija, M., Prat, M.A., Porcú, F., Price, C., Mugnai, A., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Katsanos, D., Michaelides, S., Yair, Y., Savvidou, K., Nicolaidis, K., 2010. High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: The FLASH preliminary database. *Adv. Geosci.* 23, 47–55. <https://doi.org/10.5194/adgeo-23-47-2010>
- Malik, S., 2018. Cloud Seeding; Its Prospects and Concerns in the Modern World -A Review. *Int. J. Pure Appl. Biosci.* 6, 791–796. <https://doi.org/10.18782/2320-7051.6824>
- Mario, 2022. Best Drones For Cold Weather: Flying a Drone in Winter [WWW Document]. *Drone Tech Planet*.
- Martinez-Guanter, J., Agüera, P., Agüera, J., Pérez-Ruiz, M., 2020. Spray and economics assessment of a UAV-based ultra-low-volume application in olive and citrus orchards. *Precis. Agric.* 21, 226–243. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09665-7>
- Martini, F., Loat, R., 2007. Handbook on good practices for flood mapping in Europe. *Eur. Exch. Circ. flood Mapp.* 60. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2011.11.027>
- Masoud Saatsaz, Wan Nor Azmin Sulaiman, Shaharin Ebrahim, L.K., 2011. The Electronic Journal of the International Association for Environmental Hydrology. *Electron. J. Int. Assoc. Environ. Hydrol.* 19, 1–15.
- Mathbout, S., Lopez-Bustins, J.A., Royé, D., Martin-Vide, J., Bech, J., Rodrigo, F.S., 2018. Observed Changes in Daily Precipitation Extremes at Annual Timescale Over the Eastern Mediterranean During 1961–2012. *Pure Appl. Geophys.* 175, 3875–3890. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1695-7>

- Meng, J.E., Yuan, S., Wang, N., 2013. Development control and navigation of Octocopter. IEEE Int. Conf. Control Autom. ICCA 1639–1643. <https://doi.org/10.1109/ICCA.2013.6564974>
- Merz, B., Thielen, A.H., Gocht, M., 2007. FLOOD RISK MAPPING AT THE LOCAL SCALE: CONCEPTS AND CHALLENGES, in: Flood Risk Management in Europe. pp. 231–257. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4200-3>
- Mokhov, I., Krivolutsky, A., 2019. Meteorology and Atmospheric Sciences 2015–2018. <https://doi.org/10.29003/m662.978-5-317-06182-1>
- Moore K., S., 2004. Electric Rainmaking Technology Gets Mexico’s Blessing - IEEE Spectrum [WWW Document]. IEEE Spectr.
- More than 90% of the world’s children breathe toxic air every day, 2018. . Geneva.
- Murakami, M., JCSEPA research group, 2011. Meteorological Research Institute.
- Murphy, C., 2020. Accounting Rate of Return (ARR) Definition [WWW Document]. Investopedia.
- Mutlu, T., Hajiyeve, C., 2015. Flight tests, data collection, system identification, performance analysis of multicopter vehicle. Proc. 2014 6th Int. Conf. Electron. Comput. Artif. Intell. ECAI 2014 19–26. <https://doi.org/10.1109/ECAI.2014.7090192>
- National, T., 2020. UAE carries out 219 cloud seeding operations in first six months of the year [WWW Document]. Natl. URL <https://www.thenationalnews.com/uae/environment/uae-carries-out-219-cloud-seeding-operations-in-first-six-months-of-the-year-1.1045039>
- NAWMC, 2021. Seeding Equipment [WWW Document]. North Am. Weather Modif. Counc. URL <http://www.nawmc.org/cloudseeding/seeding.html>
- Nield, D., 2019. South Korea And China Are Using Artificial Rain to “Wash Away” Air Pollution [WWW Document]. Sci. Alert.
- Norouzi Ghazbi, S., Aghli, Y., Alimohammadi, M., Akbari, A.A., 2016. Quadrotors unmanned aerial vehicles: A review. Int. J. Smart Sens. Intell. Syst. 9, 309–333. <https://doi.org/10.21307/ijssis-2017-872>
- Pajares, G., 2015. Overview and current status of remote sensing applications based on unmanned aerial vehicles (UAVs). Photogramm. Eng. Remote Sensing 81, 281–329. <https://doi.org/10.14358/PERS.81.4.281>

- Paper, C., Handoko, T., Badan, S., Teknologi, P., Bahri, S., Pengkajian, B., Teknologi, P., Kudsy, M., Pengkajian, B., Teknologi, P., 2011. Weather Modification Program using Flare Technique at South Sulawesi , Indonesia – A Technology Transfer.
- Park, K.-J., Zheng, R., Liu, X., 2012. Cyber-physical systems: Milestones and research challenges. *Comput. Commun.* 36, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2012.09.006>
- Park, K., Kim, J., Lim, H., Eun, Y., 2014. Robust Path Diversity for Network Quality of Service in Cyber-Physical Systems. *IEEE Trans. Ind. Informatics* 10, 2204–2215. <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2351753>
- Pham, M., Pakrasi, A., 2017. Air pollution control technologies, Proceedings of the Air and Waste Management Association’s Annual Conference and Exhibition, AWMA. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814934-8.00013-2>
- Pokharel, B., Geerts, B., Jing, X., 2018. The impact of ground-based glaciogenic seeding on a shallow stratiform cloud over the Sierra Madre in Wyoming: A multi-sensor study of the 3 March 2012 case. *Atmos. Res.* 214, 74–90. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.07.013>
- QGIS.org, 2021. QGIS Geographic Information System. QGIS Association.
- Quinton, S., 2018. Why ‘Cloud Seeding’ is Increasingly Attractive to the Thirsty West | The Pew Charitable Trusts [WWW Document]. PER Charit. Trust.
- Rao, S., 2006. CLOUD SEEDING BY FARMERS WITH GROUND GENERATORS-7.
- Rasmussen, R., Tessendorf, S., Xue, L., Weeks, C., Ikeda, K., Landolt, S., Breed, D., Deshler, T., Lawrence, B., 2018. Evaluation of the Wyoming Weather Modification Pilot Project (WWMPP) using two approaches: Traditional Statistics and Ensemble Modeling. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 57. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-17-0335.1>
- Ratto, S., Bonetto, F., Comoglio, C., 2003. The October 2000 flooding in Valle d’Aosta (Italy): Event description and land planning measures for the risk mitigation. *Int. J. River Basin Manag.* 1, 105–116. <https://doi.org/10.1080/15715124.2003.9635197>
- Rauber, R.M., Geerts, B., Xue, L., French, J., Friedrich, K., Rasmussen, R.M., Tessendorf, S.A., Blestrud, D.R., Kunkel, M.L., Parkinson, S., 2019. Wintertime orographic cloud seeding—a review. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 58, 43–51. <https://doi.org/10.1175/jamc-d-18-0341.1>

- Redondo, R., 2020. Saudi Arabia aims to increase rainfall by 20 per cent through “cloud seeding” | Atalayar - Las claves del mundo en tus manos [WWW Document]. Atalayar.
- Reynolds, D.W., 2015. Literature Review and Scientific Synthesis on the Efficacy of Winter Orographic Cloud Seeding. U . S . Bur. Reclam. 1–148.
- Roach, J., 2020. Can scientists really make it rain by cloud seeding? | AccuWeather [WWW Document]. AccuWeather.
- Rosenfeld, D., Axisa, D., Woodley, W.L., Lahav, R., 2010. A quest for effective hygroscopic cloud seeding. J. Appl. Meteorol. Climatol. 49, 1548–1562. <https://doi.org/10.1175/2010JAMC2307.1>
- Rostami, M., Farajollahi, A. hamzeh, 2021. Aerodynamic performance of mutual interaction tandem propellers with ducted UAV. Aerosp. Sci. Technol. 108, 106399. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.106399>
- Salvati, P., Bianchi, C., Rossi, M., Guzzetti, F., 2010. Societal landslide and flood risk in Italy. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 10, 465–483. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-465-2010>
- Selex ES GmbH, 2006. Meteorology GDRX ® 5 DIGITAL RECEIVER AND SIGNAL PROCESSOR.
- Shah, S.S.H., 2018. Development of UAV Octocopter Based on Pesticides Spraying System. Univ. Wah J. Sci. Technol. 2, 13–17.
- Shukla, S., Singh, G., Sarkar, S.K., 2020. EasyChair Preprint Novel Umbrella 360 Cloud Seeding Based on Self-Landing Reusable Hybrid Rocket Novel Umbrella 360 Cloud Seeding Based on Self-Landing Reusable Hybrid Rocket.
- Sigalos, A., Papoutsidakis, M., Chatzopoulos, A., Piromalis, D., 2019. Design of a Flight Controller and Peripherals for a Quadcopter. Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol. 04, 463–470. <https://doi.org/10.33564/ijeast.2019.v04i05.067>
- Sørensen, L.Y., Jacobsen, L.T., Hansen, J.P., 2017. Low cost and flexible UAV deployment of sensors. Sensors (Switzerland) 17, 1–13. <https://doi.org/10.3390/s17010154>
- Sotheara, S., Aso, K., Aomi, N., Shimamoto, S., 2014. Effective data gathering and energy efficient communication protocol in Wireless Sensor Networks employing UAV. IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. WCNC 3, 2342–2347. <https://doi.org/10.1109/WCNC.2014.6952715>
- Spathes, P., 1999. Χρηματοοικονομική διοίκηση γεωργικών επιχειρήσεων και εκμεταλλεύσεων. Ekdoseis

Stochastes.

- Stamos, I., Salanova Grau, J.M., Mitsakis, E., Aifadopoulou, G., 2016. Modeling effects of precipitation on vehicle speed: Floating car data approach. *Transp. Res. Rec.* 2551, 100–110. <https://doi.org/10.3141/2551-12>
- STROYPROJECT, 2013. Stroyproject - about us. Manufacturer of LOZA ROCKETS [WWW Document]. URL <https://www.cloud-seeding.info/page.php?id=2&lang=1>
- Suarez, P., Anderson, W., Mahal, V., Lakshmanan, T.R., 2005. Impacts of flooding and climate change on urban transportation: A systemwide performance assessment of the Boston Metro Area. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 10, 231–244. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2005.04.007>
- Terry Krauss, 2020. Weather Modification Research – Droplet Measurement Technologies [WWW Document]. *Droplet Meas. Technol.*
- Tessendorf, S.A., French, J.R., Friedrich, K., Geerts, B., Rauber, R.M., Rasmussen, R.M., Xue, L., Ikeda, K., Blestrud, D.R., Kunkel, M.L., Parkinson, S., Snider, J.R., Aikins, J., Faber, S., Majewski, A., Grasmick, C., Bergmaier, P.T., Janiszkeski, A., Springer, A., Weeks, C., Serke, D.J., Brintjes, R., 2019. A transformational approach to winter orographic weather modification research. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 100, 70–92. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0152.1>
- The UAE Research Program for Rain Enhancement Science is leading the global drive for new water sources [WWW Document], 2019. . *UAE Res. Progr. Rain Enhanc. Sci.*
- Tichavský, R., Koutroulis, A., Chalupová, O., Chalupa, V., Šilhán, K., 2020. Flash flood reconstruction in the Eastern Mediterranean: Regional tree ring-based chronology and assessment of climate triggers on the island of Crete. *J. Arid Environ.* 177, 104135. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104135>
- Tsanis, I.K., Koutroulis, A.G., Daliakopoulos, I.N., Jacob, D., 2011. Severe climate-induced water shortage and extremes in Crete. *Clim. Change* 106, 667–677. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0048-2>
- UAE Research Program for Rain Enhancement Science [WWW Document], 2020. . *UAE Res. Progr. Rain Enhanc. Sci.*
- Ulbrich, U., Brücher, T., Fink, A.H., Leckebusch, G.C., Krüger, A., Pinto, J.G., 2003. The central European floods of August 2002: Part 1 – Rainfall periods and flood development. *Weather* 58, 371–377. <https://doi.org/10.1256/wea.61.03A>

- Ulbrich, U., Fink, A.H., Klawa, M., Pinto, J.G., 2001. Three extreme storms over Europe in December 1999. *Weather* 56, 70–80. <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.2001.tb06540.x>
- Use Cases for Weather Modification - Cloud Seeding Technologies [WWW Document], 2020. . Cloud Seeding Technol.
- Villarini, G., 2016. On the seasonality of flooding across the continental United States. *Adv. Water Resour.* 87, 80–91. <https://doi.org/10.1016/J.ADVWATRES.2015.11.009>
- Vinet, F., Bigot, V., Petrucci, O., Papagiannaki, K., Llasat, M.C., Kotroni, V., Boissier, L., Aceto, L., Grimalt, M., Pasqua, A.A., Rossello, J., Kılıç, Ö., Kahraman, A., Tramblay, Y., 2019. Mediterranean Basin . Results from the MEFF v2 . 0 DB. *Water* 11.
- Wang, F., Li, Z., Jiang, Q., Wang, G., Jia, S., Duan, J., Zhou, Y., 2019. Evaluation of hygroscopic cloud seeding in liquid-water clouds: A feasibility study. *Atmos. Chem. Phys.* 19, 14967–14977. <https://doi.org/10.5194/acp-19-14967-2019>
- Wieringa, J., Holleman, I., 2006. If cannons cannot fight hail, what else? *Meteorol. Zeitschrift* 15, 659–669. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0147>
- Writer, S., 2019. The secret behind UAE rains: It’s not just cloud seeding - Dubai Standard [WWW Document]. Dubai Stand.
- Xue, L., Hashimoto, A., Masataka, M., Rasmussen, R., Tessendorf, S., BREED, D., PARKINSON, S., Pat, H., Blestrud, D., 2013. Implementation of a Silver Iodide Cloud-Seeding Parameterization in WRF . Part I : Model Description and Idealized 2D Sensitivity Tests. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0148.1>
- Yoshihara, K., 2005. Laser-induced mist and particle formation from ambient air: A possible new cloud seeding method. *Chem. Lett.* 34, 1370–1371. <https://doi.org/10.1246/cl.2005.1370>
- Zaatari, S., 2019. 10-15% of UAE’s rain in 2018 caused by cloud seeding | Environment – Gulf News [WWW Document]. UAE.
- Zolfagharifard, E., 2016. Cloud seeding UAV tested over Nevada is hoped to increase rainfall by 15% | Daily Mail Online. Dly. Mail.
- Zou, L., 2017. Nanotechnology to Develop Cloud Seeding Materials for Rain Enhancement, nanocloudseeding.wordpress.com. Abu Dhabi.

ΒΛΑΣΙΟΣ, Χ., 2015. Ποτάμια Υδραυλική Και Τεχνικά Έργα. ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, pp. 37–39.

Σακκάς, Ν., 2002. Αξιολόγηση Επενδύσεων ΜΕΡΟΣ Ι: Βασική Θεωρία.