



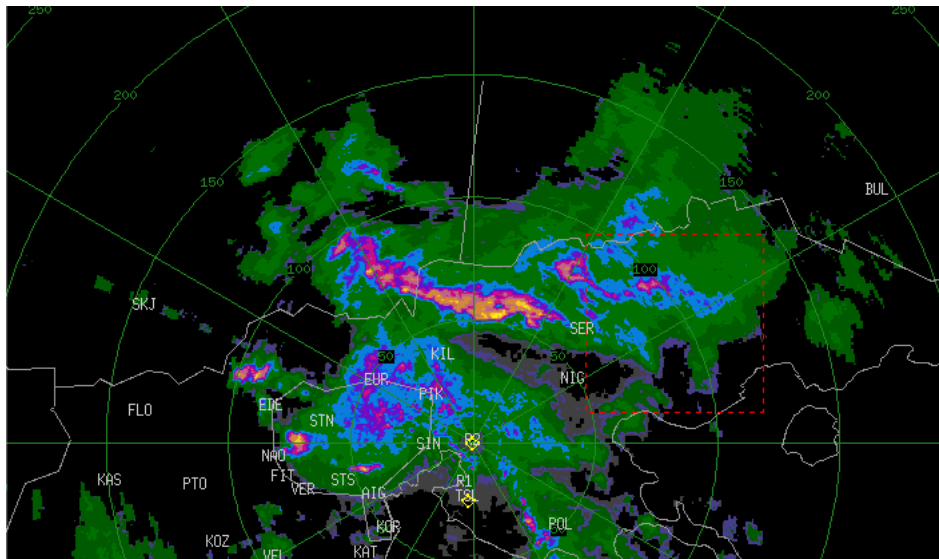
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ - ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ Α. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ
ΚΑΤΑΙΓΙΔΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΕΡΡΩΝ – ΔΡΑΜΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ
ΘΕΡΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2016 – 2020 ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΡΑΝΤΑΡ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022





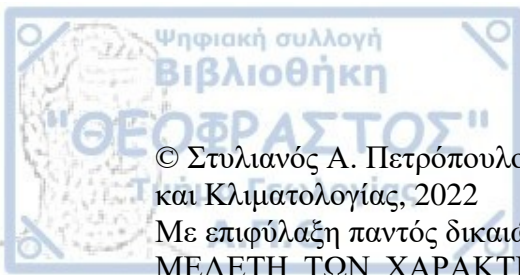
ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ Α. ΠΕΤΡΟΠΟΥΛΟΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5381

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑΣ ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΕΡΡΩΝ – ΔΡΑΜΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΘΕΡΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2016 – 2020 ΜΕ
ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΡΑΝΤΑΡ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας,
Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας

Επιβλέπων

Δημήτριος Μπαμπζέλης



© Στυλιανός Α. Πετρόπουλος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΚΑΤΑΙΓΙΔΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΕΡΡΩΝ – ΔΡΑΜΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΘΕΡΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟ 2016 – 2020 ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΡΑΝΤΑΡ – *Διπλωματική Εργασία*

© Stylianos A. Petropoulos, School of Geology, Dept. of Meteorology and Climatology, 2022

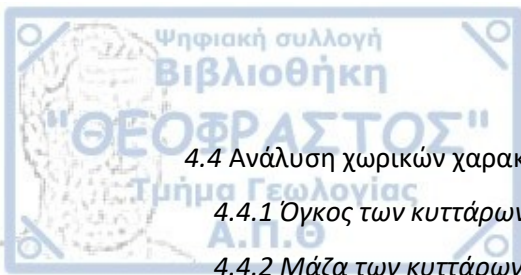
All rights reserved.

CHARACTERISTICS OF STORM CELLS IN THE STUDY AREA OF SERRES – DRAMA (N. GREECE) FOR THE PERIOD MAY – SEPTEMBER BETWEEN 2016 – 2020, USING WEATHER RADAR – *Bachelor Thesis*



Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	8
1.1 Αντικειμενικός σκοπός	8
1.2 Η περιοχή εφαρμογής	8
1.2.1 Οικονομία	9
1.2.2 Γεωλογία - Υδρογεωλογία	10
1.2.3 Κλίμα	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	12
2.1 Βασικές έννοιες ραντάρ – Ιστορική αναδρομή	12
2.2 Τύποι ραντάρ	14
2.3 Λειτουργία του ραντάρ	15
2.4 Το μετεωρολογικό ραντάρ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	19
3.1 Λειτουργία – σάρωση του μετεωρολογικού ραντάρ	19
3.2 Αναγνώριση κυττάρων καταιγίδας	20
3.3 Χαρακτηριστικά κυττάρων καταιγίδας	21
3.3.1. Χρονικά χαρακτηριστικά	22
3.3.2. Κινηματικά χαρακτηριστικά	22
3.3.3. Χωρικά χαρακτηριστικά	23
3.3.4. Δυναμικά χαρακτηριστικά	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	27
4.1 Ανάλυση δεδομένων	27
4.2 Ανάλυση χρονικών χαρακτηριστικών των κυττάρων καταιγίδας	28
4.2.1 Ώρα πρώτης εμφάνισης	28
4.2.2. Χρόνος Ζωής (Διάρκεια)	29
4.3 Ανάλυση κινηματικών χαρακτηριστικών των κυττάρων καταιγίδας	30
4.3.1 Μέση ταχύτητα κίνησης	30
4.3.2 Διεύθυνση κίνησης	31



4.4 Ανάλυση χωρικών χαρακτηριστικών των κυττάρων καταιγίδας	34
4.4.1 Όγκος των κυττάρων	34
4.4.2 Μάζα των κυττάρων	36
4.4.3 Επιφάνεια του κυττάρου	37
4.4.4 Επιφάνεια υετού του κυττάρου	39
4.4.5 Ύψος κορυφής και βάση του κυττάρου	40
4.4.6 Διανυόμενη έκταση	42
4.5 Ανάλυση δυναμικών χαρακτηριστικών των κυττάρων καταιγίδας	44
4.5.1 Ροή υετού	44
4.5.2 Ανακλαστικότητα	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	48
5.1 Σύνοψη	48
5.2 Επιμέρους συμπεράσματα	48
Βιβλιογραφία	50
Περίληψη	52



Ευχαριστίες

Η εργασία αυτή δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς την επίβλεψη του καθηγητή κ. Δημήτριο Μπαμπζέλη, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως, αρχικά για την ανάθεση του θέματος, αλλά κυρίως για την καθοδήγηση, την κατανόηση και την ουσιαστική βοήθεια που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας αυτής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό του Κέντρου Μετεωρολογικών Εφαρμογών του ΕΛΓΑ, για την ευγενική παραχώρηση των δεδομένων του μετεωρολογικού ραντάρ.

Ευχαριστίες οφείλω και σε όλα τα μέλη του Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας για το ενδιαφέρον και τη στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους γονείς μου, στους συγγενείς μου αλλά και στους φίλους μου που με υποστηρίζουν όλα αυτά τα χρόνια.



1.1 Αντικειμενικός σκοπός

Η μεγάλη τεχνολογική ανάπτυξη και η συνεχής και καθημερινή ανάγκη για παρακολούθηση του καιρού, έφεραν στο προσκήνιο πολύτιμα εργαλεία για την πρόγνωση και τη μελέτη του καιρού. Το μετεωρολογικό ραντάρ ή απλά, ραντάρ καιρού είναι ένα από αυτά τα εργαλεία υψηλής τεχνολογίας. Τα ραντάρ χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση του υετού και ειδικότερα στις καταιγίδες, μελετούν τη συμπεριφορά ενός κυττάρου καταιγίδας, την περιοχή κίνησης του και το ποσό της βροχόπτωσης. Οι πληροφορίες αυτές είναι σημαντικές για στατιστικές έρευνες, ανά περιοχή μελέτης αλλά και για την έγκαιρη ενημέρωση της πολιτείας για φαινόμενα που μπορεί να επηρεάσουν μέρος της κοινωνίας. Το μετεωρολογικό ραντάρ καλύπτει αρκετά μεγάλο τμήμα μιας περιοχής, σε επίπεδο περιφέρειας και λειτουργεί σε 24ώρη βάση, 12 ή 6 μήνες ανάλογα με την εκάστοτε περιοχή. Χάρη στην τεχνολογία αυτή και τον μεγάλο όγκο πληροφοριών που παρέχονται, έχουν εφαρμοστεί σημαντικά προγράμματα, όπως προγράμματα αντιχαλαζιακής προστασίας και αποδυναμωσης των νεφών στον αγροτικό τομέα. Ωστόσο, η βαθύτερη γνώση όλων αυτών των δεδομένων έχει στόχο και την εφαρμογή μελλοντικών προγραμμάτων, όπως προγράμματα τροποποίησης καιρού ή αύξηση των διαθέσιμων υδάτων, τα οποία πιθανόν να δώσουν λύσεις σε επερχόμενα προβλήματα ξηρασίας και έλλειψης υδάτων.

Η συγκεκριμένη έρευνα έχει στόχο τη μελέτη των χαρακτηριστικών των πυρήνων καταιγίδας για την περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας, μια περιοχή με σημαντικό κοινωνικό και οικονομικό ενδιαφέρον, αφού οι λεκάνες Σερρών και Δράμας αποτελούν σημαντικές αγροτικές περιφέρειες της Ελλάδας. Η μελέτη αυτή θα δώσει πληροφορίες για την τάση των νεφών, το ποσό του υετού, τη δυναμική τους και την κατεύθυνση της πορείας τους. Η μελέτη αφορά τη θερινή περίοδο, διότι αυτή τη περίοδο λειτουργεί το μετεωρολογικό ραντάρ της περιοχής, για την πενταετία 2016 – 2020.

1.2 Η περιοχή εφαρμογής

Η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα της ανατολικής Μακεδονίας μεταξύ των νομών Δράμας, Σερρών και ένα μικρό τμήμα του νομού Καβάλας. Το τμήμα αφορά κυρίως την λεκάνη της Δράμας, το νότιο και ανατολικό μέρος της λεκάνης των Σερρών (Στρυμόνα) και τον μεταξύ τους ορεινό όγκο – το Μενοίκιο όρος. Τα συγκεκριμένα τμήματα είναι αυτά όπου κατοικεί

το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού, ιδιαίτερα για το νομό Δράμας, και παρουσιάζουν μεγαλύτερο οικονομικό και κοινωνικό ενδιαφέρον.



Σχήμα 1.1: Περιοχή μελέτης (πηγή: Google Earth)

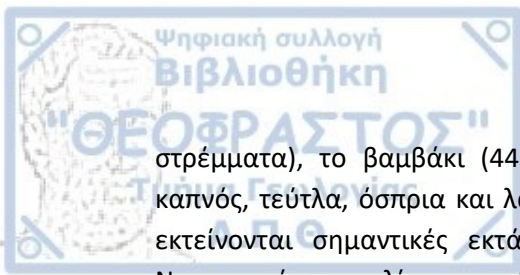
Η περιοχή χαρακτηρίζεται από μια πληθώρα γεωγραφικών εναλλαγών με πεδινές εκτάσεις, ημιορεινές και αρκετά ορεινές περιοχές. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.1, η περιοχή απαρτίζεται από τέσσερις ορεινούς όγκους, δυτικά από το Μενοίκιο όρος (φυσικό όριο με τον νομό Σερρών), νότια από το Παγγαίο όρος (φυσικό όριο με τον νομό Καβάλας), νοτιοανατολικά από τα Όρη Λεκάνης και ένα μεγάλο τμήμα στο ανατολικό τμήμα καλύπτεται από το Φαλακρό όρος, το οποίο αποτελεί τμήμα και φυσική συνέχεια της οροσειράς της Ροδόπης.

Ανάμεσα στους ορεινούς όγκους βρίσκεται μία μεγάλη πεδιάδα έκτασης 2.707,01 km², η λεκάνη Αγγίτη – Δράμας, η οποία αποστραγγίζεται από τον ομώνυμο ποταμό, Αγγίτη και τον ποταμό Ξηροπόταμο. Ο Αγγίτης, αφού διατρέξει όλη την πεδιάδα, εισέρχεται στη λεκάνη των Σερρών, για να καταλήξει στον ποταμό Στρυμόνα. Βόρεια της λεκάνης της Δράμας, υπάρχει μια μικρότερη κλειστή λεκάνη, το οροπέδιο του Νευροκοπίου. Η λεκάνη των Σερρών έχει έκταση 3.700 km² και διατρέχεται από τον ποταμό Στρυμόνα, ο οποίος εισέρχεται από βορείως από τη Βουλγαρία, ενώ χαρακτηριστικό γνώρισμα της λεκάνης αποτελεί η λίμνη Κερκίνη, τεχνητή λίμνη στη θέση μιας παλαιότερης φυσικής λίμνης. Η λίμνη Κερκίνη έχει έκταση 54 km², ενώ κατά την υγρή περίοδο του έτους μπορεί να φτάσει τα 68,5 km² (Α.Π.Θ., Σπυρίδης - Κουταλού, Περλέρος, Λιόνης, Λεβογιάννης).

Το υψόμετρο κυμαίνεται από 60 μέτρα στα χαμηλότερα επίπεδα των λεκανών, έως 1.963 μέτρα το υψηλότερο σημείο του Μενοικίου όρους και 2.232 μέτρα στο Φαλακρό όρος. Το οροπέδιο του Νευροκοπίου βρίσκεται στα 559 μέτρα.

1.2.1 Οικονομία

Η οικονομία της περιοχής βασίζεται στον πρωτογενή τομέα, κυρίως με τη γεωργία και την κτηνοτροφία, ενώ τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται μια σημαντική βιομηχανική ζώνη. Οι κύριες καλλιέργειες είναι τα σιτηρά (174.000 στρέμματα), ο αραβόσιτος (95.000



στρέμματα), το βαμβάκι (44.800 στρέμματα) κτηνοτροφικά φυτά (48.000 στρέμματα), καπνός, τεύτλα, όσπρια και λαχανικά. Στις πλαγιές του Μενοικίου και των Όρων Λεκάνης εκτείνονται σημαντικές εκτάσεις αμπέλων (5.300 στρέμματα), ενώ στη λεκάνη του Νευροκοπίου, το κλίμα ευνοεί την καλλιέργεια πατάτας (31.000 στρέμματα). Παρ' όλο τις μεγάλες απαιτήσεις των καλλιεργειών σε νερό, οι οποίες είναι κατά κύριο λόγο υδρόφιλες, δεν τίθεται θέμα υποβάθμισης των υπόγειων υδατικών αποθεμάτων, λόγω καλά ανεπτυγμένου υπόγειου και επιφανειακού δικτύου (Α.Π.Θ., Σπυρίδης-Κουταλού, Περγλέρος, Λιόνης, Λεβογιάννης).

1.2.2 Γεωλογία - Υδρογεωλογία

Η λεκάνη των Σερρών και της Δράμας αποτελούν τεκτονικά βυθίσματα με προσανατολισμό Β/ΒΔ – Ν/ΝΑ που τοποθετούνται στο Μέσο Άνω Μειόκαινο. Συγκεκριμένα η λεκάνη των Σερρών συνδέεται με τη γνωστή «τεκτονική γραμμή Στρυμόνα», ίδιας διεύθυνσης και αποτελεί το όριο των ζωνών Σερβομακεδονικής και Ροδόπης. Το πάχος των ιζημάτων υπολογίζεται στα 3000 μέτρα και αποτελείται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, θαλάσσια και λιμναία ιζήματα. Η περιοχή εμφανίζει λιγνιτικά κοιτάσματα ενώ υπάρχει και σημαντικό γεωθερμικό πεδίο. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την ορεινή περιοχή σε Μενοίκιο, Φαλακρό και Παγγαίο είναι κυρίως μάρμαρα μεγάλου πάχους, σε εναλλαγές με ορθογνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες. Οι σχηματισμοί αυτοί συνιστούν την τεκτονοστρωματογραφική ενότητα Παγγαίου (υποενότητα της μάζας Ροδόπης) (Μουντράκης Δ., 2010).

Τα μάρμαρα της ενότητας Παγγαίου, λόγω της καρστικής διάβρωσης, συνιστούν έναν από τους σημαντικότερους υδροφορείς και φιλοξενούν μεγάλες ποσότητες υπόγειου νερού. Το υπόγειο νερό των σχηματισμών αυτών, εκφορτίζεται περιμετρικά των λεκανών, διαμέσου πληθώρας καρστικών πηγών προς την πεδινή περιοχή. Οι σημαντικότερες πηγές της λεκάνης είναι οι πηγές Αγγίτη, Αγίας Βαρβάρας στην πόλη της Δράμας, Κεφαλαρίου, Νικήσιανης, Αμισιανών και Αντιφιλίππων. Αντίστοιχα και στο πεδινό τμήμα που αποτελείται από τεταρτογενείς αποθέσεις άμμων και χαλικιών με εναλλαγές αργίλων και λεπτομερείς άμμους αναπτύσσεται ελεύθερη υδροφορία. Οι εναλλαγές των σχηματισμών αυτών σε αδρόκοκκα και λεπτόκοκκα ιζήματα, δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για τον εμπλουτισμό των υδροφορέων και στα πεδινά τμήματα (Α.Π.Θ., Σπυρίδης - Κουταλού, Περγλέρος, Λιόνης, Λεβογιάννης).

Συνεπώς, το εκτεταμένο επιφανειακό (Στρυμόνας – Αγγίτης) και υπόγειο δίκτυο, καθώς και τα εγγειοβελτιωτικά έργα με τεχνητά κανάλια και τάφρους, καθιστούν την περιοχή σημαντική αγροτική περιφέρεια.

1.2.3 Κλίμα

Το κλίμα της περιοχής μελέτης, λόγω των γεωμορφολογικών εναλλαγών, μπορεί να διαχωριστεί σε δύο κλιματικές περιοχές. Οι βόρειες και ορεινές περιοχές χαρακτηρίζονται από **μεταβατικό κλίμα μεταξύ ευρωπαϊκού και μεσευρωπαϊκού, με ψυχρούς χειμώνες και σχετικά ήπιο, με πολλές βροχοπτώσεις, καλοκαίρι**. Οι πεδινές περιοχές

χαρακτηρίζονται από **μεσογειακό κλίμα με θερμά και ξηρά καλοκαίρια, θαλάσσιου τύπου επιρροές και ήπιους χειμώνες**. Οι μεγάλες εναλλαγές στη μορφολογία του εδάφους και οι υψομετρικές διαφορές της τάξης των 2000 μέτρων ανάμεσα στα χαμηλότερα πεδινά τμήματα και των κορυφών του Φαλακρού όρους, δημιουργεί ποικίλες κλιματικές συνθήκες με πολλά διαφορετικά μικροκλίματα. Το οροπέδιο του Κάτω Νευροκοπίου χαρακτηρίζεται από ένα ψυχρότερο μικροκλίμα και αποτελεί μία από τις πιο ψυχρές περιοχές της χώρας, ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες, με ακραίες θερμοκρασίες που φτάνουν τους -14°C , ή και χαμηλότερα στους -20°C (Ε.Μ.Υ., Παπαφιλίππου – Πέννου 2004).

Η μέση μηνιαίες θερμοκρασίες για τον σταθμό των Σερρών, ο οποίος αντικατοπτρίζει το πεδινό τμήμα της λεκάνης Σερρών – Δράμας, αναγράφονται στο παρακάτω πίνακα σε $^{\circ}\text{C}$ (Ε.Μ.Υ.). Η μέση ετήσια θερμοκρασία για την πόλη των Σερρών είναι $15,2^{\circ}\text{C}$. Ομοίως η μέση θερμοκρασία για την πόλη της Δράμας σε υψόμετρο 115 μ. είναι $15,9^{\circ}\text{C}$, με μέση ελάχιστη στους $9,8^{\circ}\text{C}$ και μέση μέγιστη στους $20,4^{\circ}\text{C}$ (Ε.Μ.Υ.).

Πίνακας 1.1: Μέσες μηνιαίες και μέση ετήσια θερμοκρασία για τον σταθμό των Σερρών, την περίοδο 1971 – 2000.

Μήνες	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
T $^{\circ}\text{C}$	3,9	6,3	9,6	14,4	19,7	24,4	26,4	25,5	21,6	15,7	9,4	5,0

Δεδομένα για τα υψηλότερα σημεία της περιοχής μελέτης δεν υπάρχουν άμεσα, διότι δεν υπάρχουν περισσότεροι μετεωρολογικοί σταθμοί, ωστόσο έχει υπολογιστεί μια κατακόρυφη θερμοβαθμίδα για το όρος Μενοίκιο σε $0,5^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$. Έτσι, η μέση ετήσια θερμοκρασία σε υψόμετρο 200-600 μ υπολογίζεται στους $13,9^{\circ}\text{C}$, σε υψόμετρο 600-1000 μ. στους $11,9^{\circ}\text{C}$ και σε ορεινά τμήματα της περιοχής (1000-2200 μ.) υπολογίζεται στους $7,9^{\circ}\text{C}$ (Ε.Μ.Υ., Βαβλιάκης 1981, Μπαλαφούτης 1977, Παπαφιλίππου – Πέννου 2004).

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι στα 498,2 mm στις πεδινές περιοχές, ενώ στις ορεινές περιοχές αυξάνεται στα 778mm. Οι βροχοπτώσεις αυξάνονται στο τέλος του Φθινοπώρου ώσπου να αρχίσουν να μειώνονται στο τέλος της Άνοιξης. Οι ξηρότεροι μήνες είναι ο Αύγουστος και ο Σεπτέμβριος, ενώ οι πιο υγροί μήνες ο Νοέμβριος και Δεκέμβριος. Τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, σημειώνονται οι περισσότερες καταιγίδες με μέσο αριθμό ημερών βροχής στους 10,9 (Ε.Μ.Υ., Πανταζίδης 2014).

2.1 Βασικές έννοιες ραντάρ – Ιστορική αναδρομή

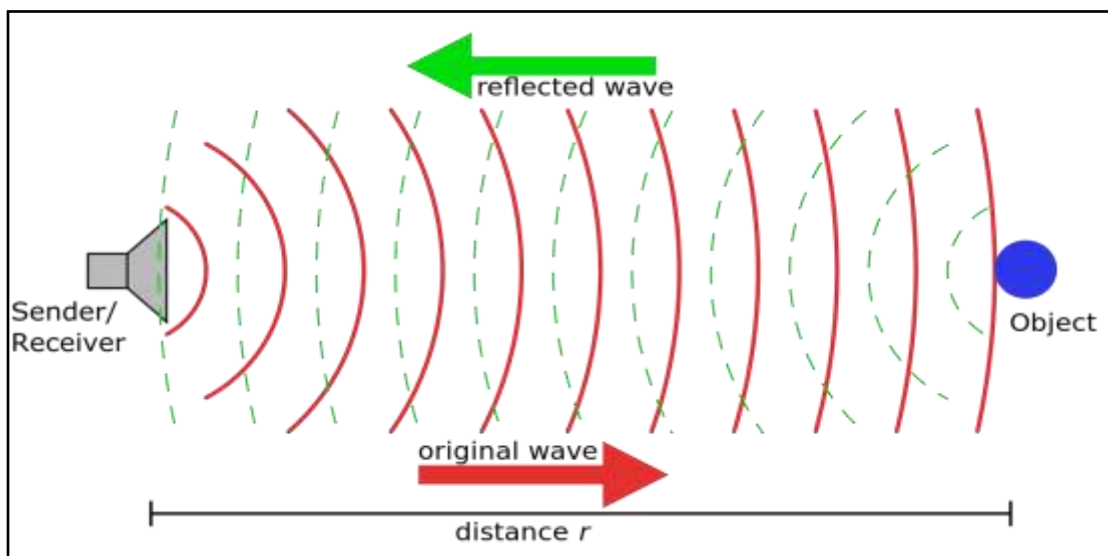


Σχήμα 2.1: Παλμικό ραντάρ

Το Ραντάρ ή αλλιώς Ραδιοεντοπιστής, είναι μια ηλεκτρονική συσκευή ενεργητικής μικροκυματικής τηλεπισκόπησης η οποία εκπέμπει και δέχεται ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με σκοπό την ανίχνευση και μέτρηση αποστάσεων και την παρακολούθηση κινητών και ακίνητων στόχων, σε συνθήκες μη ορατές με το γυμνό μάτι. Ένα ραντάρ λειτουργεί, παράγοντας

ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία διαχέονται στο χώρο, ανακλώνται σε διάφορα σώματα και επιστρέφουν πίσω, καταγράφοντας έτσι την μεταξύ τους απόσταση, τη θέση και την ποιότητα αυτών των σωμάτων. Τέτοια σώματα μπορεί να είναι πλοία, αεροσκάφη, ακτές, κύτταρα καταιγίδων κ.α. (Σάγος, 2018)

Η λειτουργία των ραντάρ, βασίζεται σε ορισμένες ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Αυτές είναι: η **σταθερή ταχύτητα διάδοσης** ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$), η **δυνατότητα εστίασης σε συγκεκριμένη λεπτή δέσμη** ($\lambda = 0,1 \text{ cm} - 1 \text{ m}$), η **ευθύγραμμη διάδοσή τους**, η **ανάκλασή τους** κατά την πρόσπτωση σε ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα και η **διάθλαση τους** όταν διαδίδονται σε ηλεκτρομαγνητικά ανομοιογενή χώρο (Λιναρδάτου Γ. και Λιναρδάτου Δ., 2016).



Σχήμα 2.2: Εκπομπή και λήψη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Κάνοντας μία μικρή ιστορική αναδρομή, η λογική του ραντάρ εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1886 από τον Γερμανό φυσικό Rudolf Herz, όταν απέδειξε ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μπορούν να ανακλαστούν όταν προσπέσουν σε ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα. Όμως η συστηματική τους ανάπτυξη, έγινε την δεκαετία του 1920, από Βρετανούς και Αμερικάνους επιστήμονες, κατά την προσπάθειά τους να μετρήσουν το ύψος των στρωμάτων της ιονόσφαιρας (Τσουκαλάς 2006).

Ωστόσο, οι επερχόμενες πολεμικές συγκρούσεις και οι ανάγκες για έγκαιρη ανίχνευση εχθρικών αεροσκαφών και αποστάσεων, έδωσαν το έναυσμα για την ταχύτατη ανάπτυξη των συστημάτων Ραντάρ. Έτσι ο δεύτερος παγκόσμιος πόλεμος σηματοδοτεί και την έναρξη της διάδοσης αυτών των συσκευών για ευρεία χρήση παγκοσμίως. Στη Μεγάλη Βρετανία κατασκευάστηκε σε όλη τη χώρα ένα δίκτυο ραντάρ έγκαιρης προειδοποίησης που ονομάστηκε "Chain Home" με σκοπό την προειδοποίηση των κατοίκων για επερχόμενες γερμανικές εισβολές. Το καλοκαίρι του 1940, το συγκεκριμένο δίκτυο βοήθησε τη Βρετανία να κερδίσει την Μάχη της Αγγλίας, οδηγώντας τη γερμανική Luftwaffe (πολεμική αεροπορία της Γερμανίας) σε παρακμή (Hatheway 2010).

Παρ όλο που οι μεγαλύτεροι πρόοδοι έγιναν σε καιρό πολέμου, τα ραντάρ ήταν χρήσιμα και στην καθημερινότητα των πολιτών αφού βοηθούσαν στην αποφυγή συγκρούσεων των πλοίων κατά τη διάρκεια κακοκαιριών. Ένα πρόσφατο γεγονός για εκείνη την εποχή ήταν η σύγκρουση του Τιτανικού με παγόβουνο το 1912, η οποία πιθανόν να είχε αποφευχθεί αν στο πλοίο λειτουργούσε κάποιο ραντάρ. Έτσι η συστηματική πρόοδος συνεχίστηκε και μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο (Hatheway 2010).



Σχήμα 2.3: Πρώιμη συσκευή ραντάρ που χρησιμοποιήθηκε στο Β' Παγκόσμιο Πόλεμο.

2.2 Τύποι ραντάρ

Μπορεί ο Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος να έδωσε το έναυσμα, ωστόσο οι ανάγκες της καθημερινότητας και οι συνεχής τεχνολογική άνοδος, συνέχισαν περαιτέρω την ανάπτυξη των ραντάρ. Έτσι ανάλογα με την χρησιμότητα τους, έχουν διακριθεί οι εξής τύποι Ραντάρ:

- **Ραντάρ ανιχνεύσεως επιφάνειας ή ραντάρ ναυσιπλοΐας**

Βρίσκονται τοποθετημένα σε παράκτιες περιοχές και σε πλοία και δίνουν πληροφορίες για αποστάσεις ή για στόχους που εντοπίζουν στην επιφάνεια της θάλασσας ή λίγα μέτρα πάνω από αυτήν. Οι πληροφορίες αυτές παρέχονται ακόμη και σε συνθήκες περιορισμένης ορατότητας.

Ιδιαίτερα για τη ναυσιπλοΐα, ακόμη και σε μη ιδανικές συνθήκες ορατότητας, εντοπίζουν επικίνδυνους στόχους, όπως άλλα πλοία (εχθρικά και μη), ακτές, νησίδες και αεροσκάφη που βρίσκονται σε χαμηλά ύψη. Εξυπηρετούν δηλαδή στην ασφαλή πλοήγηση του πλοίου στην θάλασσα.

- **Ραντάρ ανιχνεύσεως αέρα.**

Αντίστοιχα με τα προηγούμενα ραντάρ, όμως τοποθετημένα σε βουνοκορφές και αεροδρόμια, με σκοπό την ανίχνευση του εναέριου χώρου σε μεγάλες αποστάσεις και ύψη. Λόγω του ότι μπορούν να ανιχνεύσουν σε μεγάλες αποστάσεις, εντοπίζουν έγκαιρα επικίνδυνους στόχους και γι αυτό ονομάζονται και **ραντάρ έγκαιρης προειδοποίησης**.

- **Ραντάρ ελέγχου προσγειώσεως αεροσκαφών.**

Μικρής εμβέλειας, αποκλειστικά για χρήση σε χώρους αεροδρομίων, παρέχουν ακριβείς πληροφορίες αποστάσεων και κατευθύνσεων για την ασφαλή προσγείωση των αεροσκαφών, ακόμη και σε συνθήκες περιορισμένης ορατότητας.

- **Υψομετρικά ραντάρ**

Βρίσκονται τοποθετημένα σε αεροσκάφη, αποκλειστικά για την ακριβή μέτρηση του ύψους πτήσεως τους.

- **Μετεωρολογικό ραντάρ**

Ιδανικά για την παρακολούθηση των ανώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας και την εξέλιξη των ατμοσφαιρικών συστημάτων, για την έγκαιρη πρόγνωση και παρακολούθηση των καταιγίδων και γενικά των ατμοσφαιρικών διαταραχών.

- **Ραντάρ ελέγχου πυρός**

Χρησιμοποιούνται στη πολεμική βιομηχανία και παρέχουν πληροφορίες για τις κινήσεις των τηλεκατευθυνόμενων βλημάτων και γενικά των οπλικών συστημάτων.

- **Ραντάρ μετρήσεως ταχύτητας**

Από τα πιο γνωστά στο ευρύ κοινό, κατασκευασμένα για την μέτρηση της ταχύτητας των οχημάτων σε αυτοκινητόδρομους και δρόμους ταχείας κυκλοφορίας, με σκοπό τον έλεγχο και την τήρηση του ορίου ταχύτητας της εκάστοτε περιοχής (Τσουκαλάς 2006)

2.3 Λειτουργία του ραντάρ

Μία συσκευή ραντάρ αποτελείται από τις επιμέρους λειτουργικές μονάδες:

Τον **πομπό**, ο οποίος λειτουργεί περιοδικά και παράγει ηλεκτρικές ταλαντώσεις κατά παλμούς, υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

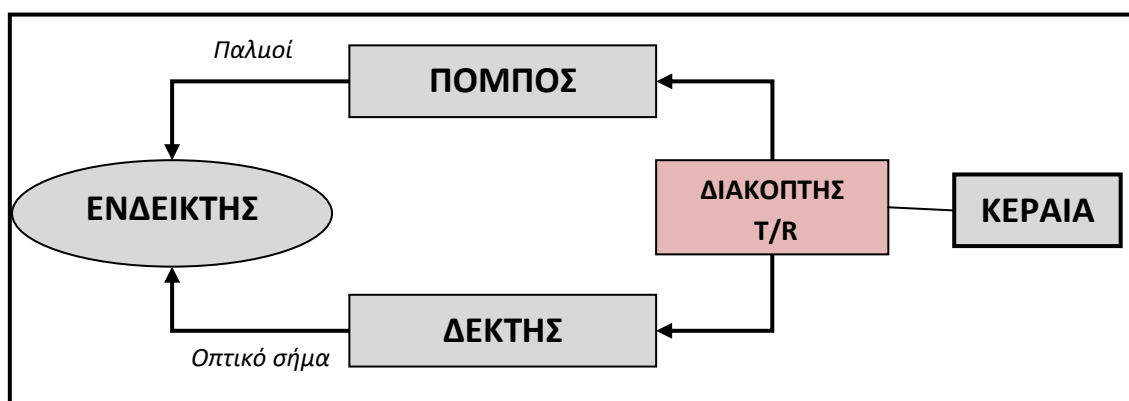
Την **κεραία**, η οποία εκπέμπει αλλά και λαμβάνει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που ανακλάστηκαν σε κάποιο στόχο και επιστρέφουν πίσω σ αυτή.

Τον **δέκτη**, στον οποία φτάνουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που λαμβάνονται από την κεραία, όπου τα ενισχύει και τα μετατρέπει σε οπτικό σήμα, ώστε να το παραλάβει ο ενδείκτης.

Τον **ενδείκτη**, ο οποίος παραλαμβάνει το οπτικό σήμα και δίνει τις πληροφορίες για τον παραπάνω στόχο στον χειριστή του ραντάρ.

Τον **διακόπτη εκπομπής – λήψεως**, ο οποίος είναι ένας ηλεκτρονικός διακόπτης που συνδέει την κεραία, είτε με τον πομπό είτε με τον δέκτη. Έτσι, σε κάποιες περιόδους όπου ο πομπός λειτουργεί και παράγεται υψηλή ισχύς, αυτή εμποδίζεται από τον διακόπτη να εισέλθει στον δέκτη, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η καταστροφή ευαίσθητων κυκλωμάτων της εισόδου του δέκτη. (Τσουκαλάς 2006, Λιναρδάτου Γ. και Λιναρδάτου Δ., 2016)

Οι παραπάνω λειτουργικές μονάδες απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.4: Αρχές λειτουργίας ραντάρ:

2.4 Το μετεωρολογικό ραντάρ

Η ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση των καιρικών συστημάτων, σε συνδυασμό με τα έντονα καιρικά φαινόμενα των τελευταίων ετών, ιδιαίτερα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές ή περιοχές με έντονο οικονομικό ενδιαφέρον, έχουν αναπτύξει την εφαρμογή των ραντάρ και στον τομέα της μετεωρολογίας. Τα μετεωρολογικά ραντάρ ή ραντάρ καιρού, αποτελούν σημαντικό εργαλείο στη πρόγνωση του καιρού και στη μελέτη των καιρικών φαινομένων και επιπλέον, βοηθούν στη πρόληψη και στη λήψη αποφάσεων γύρω από υδρομετεωρολογικά ζητήματα.



Σχήμα 2.5: Τυπικό μετεωρολογικό ραντάρ.

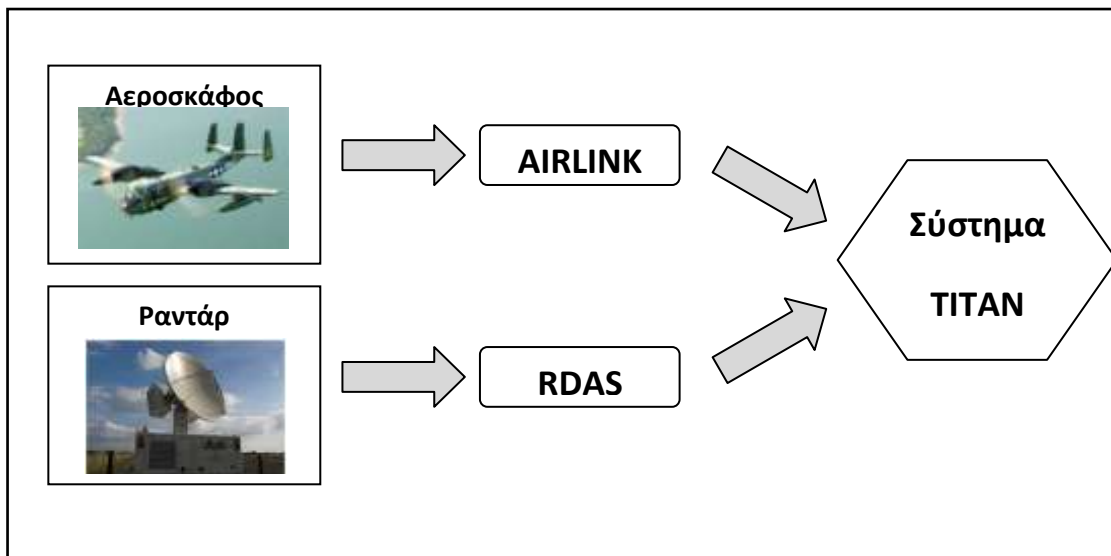
Το μετεωρολογικό ραντάρ είναι ένα επίγειο όργανο τηλεπισκόπησης, το οποίο μπορεί να ανιχνεύει πυρήνες καταιγίδων με μεγάλη ακρίβεια. Δηλαδή μπορεί να παρακολουθεί και να καταγράφει τον υετό και τα νέφη σε ακτίνα που φτάνει τα 200 km, καλύπτοντας μία αρκετά μεγάλη έκταση που φτάνει τα 50.000 km², με μεγάλη ευκρίνεια και σε πραγματικό χρόνο. (Dixon and Weiner 1993, Μπαμπζέλης 2013, 3Δ Α.Ε).

Όπως ένα τυπικό ραντάρ, εκπέμπει μέσω της κεραίας, ηλεκτρομαγνητικά κύματα μικρού μήκους κύματος, ανακλώνται σε κάποιο στόχο και επιστρέφουν ως σήμα πίσω στην ίδια κεραία. Το σήμα που επιστρέφει, καταγράφεται από ένα ενδιάμεσο σύστημα καταγραφής – **RDAS** (Radar Data Acquisition System), το οποίο με κατάλληλο λογισμικό ελέγχει και αποστέλλει το σήμα σε ένα τελικό σύστημα καταγραφής, επεξεργασίας και απεικόνισης που ονομάζεται **σύστημα TITAN (Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting)** (Dixon and Wiener 1993).

Το σύστημα TITAN είναι το τελικό σύστημα καταγραφής, όπου μέσω ενός συνόλου προγραμμάτων, αναλύει την πληροφορία που δέχεται από τα ραντάρ και σε πραγματικό χρόνο ανιχνεύει μεμονωμένα ή συμπλέγματα κυττάρων καταιγίδας, πραγματοποιεί ωριαίες

προγνώσεις και ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία τις απεικονίζει στις οθόνες. Επιπλέον χρησιμοποιείται και για προγράμματα αύξησης υετού και στατιστικής επεξεργασίας αποτελεσμάτων.

Ωστόσο, στο σύστημα καταγραφής TITAN φθάνουν, εκτός από τις καταγραφές του ραντάρ, δεδομένα από αεροσκάφη (που αφορούν τη θέση, την πορεία, το υψόμετρο, τη θερμοκρασία και την ταχύτητα της πτήσης), ηλεκτρικές εκκενώσεις και δορυφορικές εικόνες. Τα στοιχεία αυτά εισάγονται στο TITAN μέσω ενός δεύτερου ενδιάμεσου συστήματος καταγραφής, το **AIRLINK**, που λειτουργεί με βάση το σύστημα δορυφορικού εντοπισμού θέσης (GPS) (Dixon and Weiner 1993, Μπαμπζέλης 2013).



Σχήμα 2.6: Διάταξη δικτύου μέσω του οποίου λαμβάνονται τα δεδομένα από το σύστημα TITAN.

Τα μετεωρολογικά ραντάρ λειτουργούν σε 3 μήκη κύματος από 2 έως 12 GHz. Οι συχνότητες αυτές αντιστοιχούν στα S-band (2-4 GHz), C-band (4-8 GHz) και X-band (8-12 GHz). Τα **S-band** εφαρμόζονται κυρίως σε τροπικές και εύκρατες περιοχές, δηλαδή σε περιοχές με πολύ υψηλά ποσά βροχόπτωσης και χαλαζόπτωσης, τυφώνες και σε περιοχές όπου επικρατούν μουσωνικά συστήματα. Τα **C-band** εφαρμόζονται σε πιο ενδιάμεσου τύπου κλίματα, με μικρότερης έντασης βροχοπτώσεις και κατακρημνίσεων γενικότερα. Για τις μετεωρολογικές εφαρμογές στην Ελλάδα, ενδείκνυνται τα C-band ραντάρ. Τα **X-band**, με μεγαλύτερη ευκρίνεια, εφαρμόζονται για μετεωρολογικές και υδρογεωλογικές εφαρμογές σε τοπική κλίμακα, όπως ένα αστικό κέντρο ή μια κοιλάδα, για μετρήσεις υγρασίας, στάθμης υδάτων κτλ. (Meteoworld, 2015).

Τα μετεωρολογικά ραντάρ στην Ελλάδα είναι ως επί των πλείστων ραντάρ τύπου Doppler C-band. Τα ραντάρ Doppler είναι ικανά για μέτρηση πολλών μεταβλητών στο ίδιο αντικείμενο, δηλαδή δίνουν πληροφορίες για τον πορεία, την απόσταση, το ύψος, αλλά και την ταχύτητα του αντικειμένου. Έτσι, χρησιμοποιώντας τα συγκεκριμένα ραντάρ, λαμβάνονται πληροφορίες για τη δυναμική (ισχύς) ενός νέφους, την ταχύτητα κίνησης του, αλλά και την πιθανή πορεία κίνησης του.

Στη Βόρεια Ελλάδα υπάρχουν 2 ραντάρ τύπου Doppler (C-band 4-8 GHz). Το ένα βρίσκεται στην περιοχή Λιόπρασο Τρικάλων, καλύπτοντας την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας, ενώ το δεύτερο στην περιοχή του Φιλύρου Θεσσαλονίκης, καλύπτοντας ολόκληρη την κεντρική Μακεδονία και τμήμα της Ανατολικής. Η περιοχή μελέτης Σερρών – Δράμας είναι προφανώς εντός της εμβέλειας του ραντάρ του Φιλύρου. Τα ραντάρ λειτουργούν την περίοδο Απριλίου – Σεπτεμβρίου κάθε έτους, σε 24ώρη βάση, εντοπίζοντας νέφη ικανά ή μη, για τη δημιουργία κατακρημνισμάτων, όπως βροχή, χιόνι ή χαλάζι. Όλα τα δεδομένα, αφού επεξεργαστούν από το σύστημα TITAN, αποθηκεύονται και χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ζωντανών εικόνων, για στατιστικές μελέτες και για περιπτώσεις πρόληψης και μηχανισμών προειδοποίησης. Το σύστημα TITAN θα ανιχνεύσει κύτταρα καταιγίδας μόνο όσα πληρούν κάποιες προϋποθέσεις, όπως για παράδειγμα, ορισμένη τιμή ανακλαστικότητας. Λεπτομέρειες θα αναφερθούν στο επόμενο κεφάλαιο (Μπαμπζέλης 2013).

Ένα μετεωρολογικό ραντάρ μπορεί να ανιχνεύσει το σχηματισμό σωρειτόμορφων νεφών, να προσδιορίσει την ύπαρξη νερού μέσα στα νέφη, ενώ μπορεί να υπολογίσει το τύπο και την ένταση της αθροιστικής βροχόπτωσης. Μπορεί να υπολογίσει την τοποθεσία του νέφους μέσω γεωγραφικών συντεταγμένων, την έναρξη και λήξη καθώς και το χρόνο ζωής ενός κυττάρου καταιγίδας, την διεύθυνση και τη ταχύτητα κίνησης και το ύψος και τη βάση των νεφών. Επιπλέον, στην περίπτωση καταιγίδας, μπορεί να ανιχνευθούν οι χαλαζόκοκκοι, το ποσό και το μέγεθος τους. Το τελευταίο είναι σημαντικό για την πρόληψη και την εφαρμογή προγραμμάτων αντιχαλαζιακής προστασίας

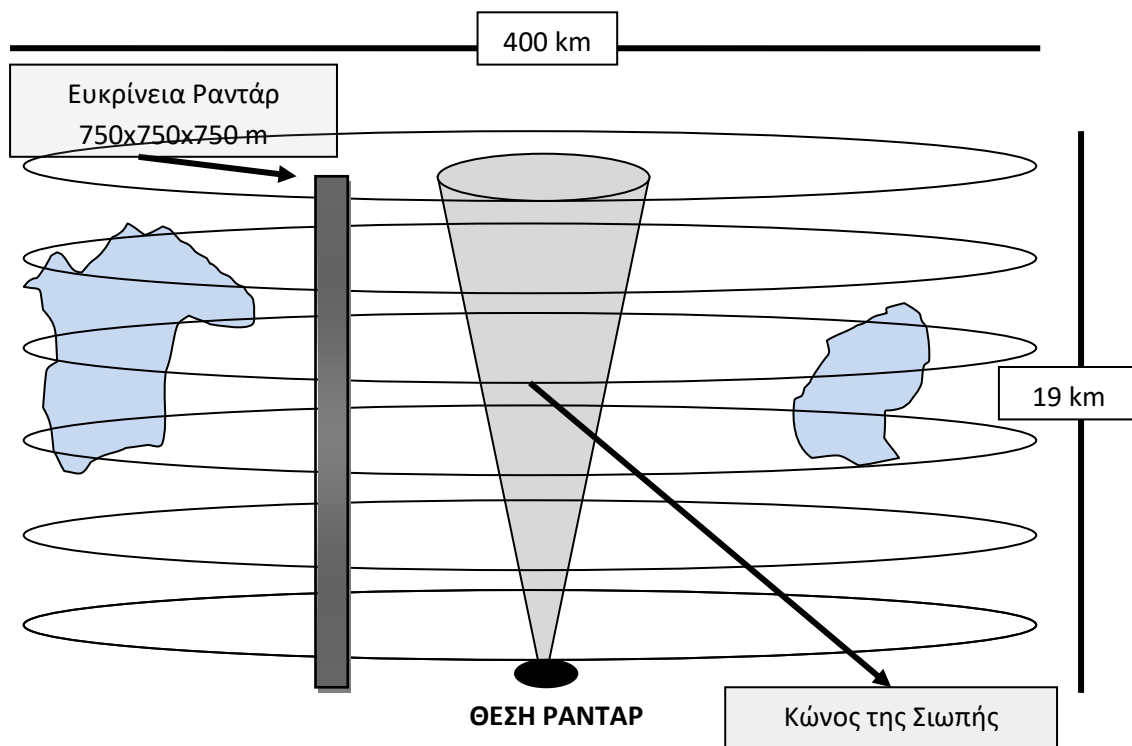


Σχήμα 2.7: Ραντάρ τύπου Doppler στο Φίλυρο (Φωτ. 3DSA).

3.1 Λειτουργία – σάρωση του μετεωρολογικού ραντάρ

Το μετεωρολογικό ραντάρ, στέλνοντας ηλεκτρομαγνητικά κύματα, ανιχνεύει νέφη και υετό σε μία περιοχή μεγάλης εμβέλειας. Συγκεκριμένα, το ραντάρ μπορεί να καλύψει ογκομετρικά, μια περιοχή ακτίνας 200 χιλιομέτρων γύρω από τη θέση του ραντάρ, από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι 19 χιλιόμετρα σε ύψος πάνω από αυτή. Έτσι καλύπτει μια περιοχή σχήματος κυλίνδρου με διάμετρο 400 χιλιόμετρα και ύψος 19 χιλιόμετρα. Στη μέση του κυλίνδρου, αφαιρείται μία έκταση σχήματος ανεστραμμένου κώνου με κορυφή την θέση του ραντάρ, όπου το ραντάρ δεν ανιχνεύει εξαιτίας του τρόπου κατασκευής του. Ο κώνος αυτός ονομάζεται αλλιώς ως **κώνος της σιωπής** (cone of silence) (Μπαμπζέλης 2013)

Μια πλήρης σάρωση (360°) του μετεωρολογικού ραντάρ διαρκεί περίπου 3 λεπτά και 22 δευτερόλεπτα. Ο χρόνος είναι αρκετά μικρός ώστε τα δεδομένα να θεωρούνται πραγματικά. Έτσι, τα δεδομένα ανιχνεύονται από το ραντάρ, καταγράφονται και αποθηκεύονται από το σύστημα TITAN έχοντας ευκρίνεια 750 x 750x 750 μέτρων (Μπαμπζέλης 2013).



Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση της περιοχής εμβέλειας και της ευκρίνειας του μετεωρολογικού ραντάρ.

.Να σημειωθεί ότι οι χρόνοι σάρωσης και ο βαθμός ευκρίνειας αφορούν το μετεωρολογικό ραντάρ του Φιλύρου, το οποίο σαρώνει την περιοχή μελέτης. Ωστόσο οι αριθμοί αυτοί μπορούν να διαφέρουν στα υπόλοιπα μετεωρολογικά ραντάρ.

Τα αποτελέσματα αφού αποθηκεύονται, στην συνέχεια, με κατάλληλη επεξεργασία και προγραμματισμό εξάγονται πληροφορίες σχετικά τον τρόπο ανάπτυξης ενός νέφους που έχει ανιχνευθεί, τα χαρακτηριστικά του και τη δυναμικότητά του. Τα δεδομένα αυτά είναι τόσο χρήσιμα και αντικειμενικά, απαλλαγμένα από κάθε υποκειμενικό ανθρώπινο παράγοντα, ώστε να χρησιμοποιούνται επιχειρησιακά για ποικίλους λόγους.

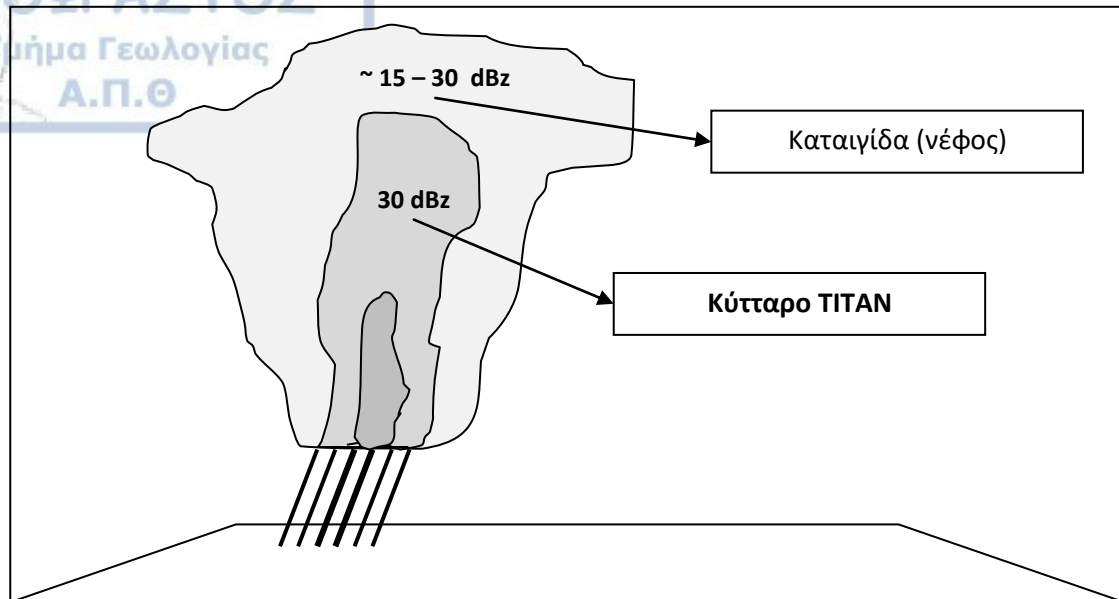
3.2 Αναγνώριση κυττάρων καταιγίδας

Η ανίχνευση και αναγνώριση μιας καταιγίδας πραγματοποιείται μέσω του συστήματος TITAN, το οποίο εντοπίζει μεμονωμένα κύτταρα καταιγίδων. Τα κύτταρα προσδιορίζονται ως ενιαίες περιοχές (όγκος) στις οποίες η ανακλαστικότητα ξεπερνά κάποια καθορισμένη τιμή (τιμή κατωφλίου), η οποία έχει οριστεί μεταξύ 30dBz – 40dBz. Επομένως, κύτταρο καταιγίδας θεωρείται ο συνολικός όγκος νεφών των οποίων η ανακλαστικότητα ξεπερνά την καθορισμένη τιμή κατωφλίου, και όχι νέφη με χαμηλότερες τιμές ανακλαστικότητας (Μπαμπζέλης 2013).

Τα κύτταρα καταιγίδων μπορούν να συνενωθούν και να διαχωριστούν. Ο αλγόριθμος του TITAN μπορεί να καταγράψει κύτταρα αυτά κατατάσσοντάς τα απλά (single cell storm) και σύνθετα (complex cell storm) (Μπαμπζέλης 2013).

Ένα κύτταρο που αναγνωρίζεται, για να θεωρηθεί έγκυρο, πρέπει να ακολουθεί κάποιες προϋποθέσεις. Για τη συγκεκριμένη μελέτη, τα κριτήρια για να θεωρηθεί ένα κύτταρο έγκυρο είναι:

1. Να μην υπάρχουν κενά στα δεδομένα του μετεωρολογικού ραντάρ πριν την πρώτη και μετά την τελευταία ανίχνευση του κυττάρου.
2. Τα κύτταρα να μη βρίσκονται κοντά στο μετεωρολογικό ραντάρ, ώστε να ανιχνεύεται όλη η έκτασή τους.
3. Το κύτταρο πρέπει να έχει τουλάχιστον 15 λεπτά διάρκεια ζωής, ώστε να πραγματοποιούνται τουλάχιστον 5 διαδοχικές ανιχνεύσεις από το ραντάρ.
4. Η ανακλαστικότητα του κυττάρου να ξεπερνά τα 30 dBz, όριο που σχετίζεται με το στάδιο ανάπτυξης ενός σωρειτομελανία (Cb) (Roberts and Rutledge, 2003) (σχήμα 3.2)
5. Ο συνολικός ενιαίος όγκος του κυττάρου, ο οποίος θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 15 km² και η κορυφή του να ξεπερνά σε ύψος τα 3,5 km.



Σχήμα 3.2: Το έγκυρο κύτταρο σύμφωνα με το σύστημα TITAN.

Ωστόσο, τα πολύ μικρά σε μέγεθος και διάρκεια νέφη που ανιχνεύονται από το μετεωρολογικό ραντάρ, απορρίπτονται από τον αλγόριθμο του TITAN και δεν θεωρούνται κύτταρα καταιγίδας. Τα περισσότερα από αυτά μπορεί να είναι μικρότερα νέφη. Τα κύτταρα που ικανοποιούν τις παραπάνω προϋποθέσεις, θεωρούνται από τον αλγόριθμο TITAN, έγκυρα. Στη συνέχεια ακολουθεί μία πιο λεπτομερής ανάλυση και αναγνώριση αυτών από το σύστημα TITAN.

3.3 Χαρακτηριστικά κυττάρων καταιγίδας

Εφόσον το σύστημα TITAN αναγνωρίσει τα έγκυρα κύτταρα καταιγίδας, στη συνέχεια μελετώνται τα χαρακτηριστικά τους, τα οποία διαχωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες (Μπαμπζέλης 2013).

1. Χρονικά χαρακτηριστικά

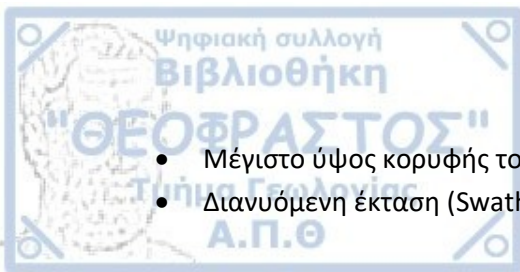
- Χρόνος πρώτης ανίχνευσης του κυττάρου (Start T)
- Χρόνος διάρκειας κυττάρου (Dur)

2. Κινηματικά χαρακτηριστικά

- Ταχύτητα κίνησης κυττάρου S
- Διεύθυνση κίνησης κυττάρου D

3. Χωρικά χαρακτηριστικά

- Όγκος του κυττάρου (Vol)
- Μάζα του κυττάρου (Mass)
- Επιφάνεια του κυττάρου (A)
- Επιφάνεια υετού του κυττάρου (PA)



- Μέγιστο ύψος κορυφής του κυττάρου (Max H)
- Διανυσμένη έκταση (Swath Area)

4. Δυναμικά χαρακτηριστικά

- Ροή υετού (Pflux)
- Μέγιστη ανακλαστικότητα του κυττάρου (Max dBz)

Παρακάτω ακολουθεί μια πιο λεπτομερής περιγραφή των χαρακτηριστικών των κυττάρων, όπως προκύπτουν από τα σύστημα TITAN.

3.3.1. Χρονικά χαρακτηριστικά

Χρόνος πρώτης ανίχνευσης του κύτταρου (Start T) (UTC)

Είναι η χρονική στιγμή (παγκόσμια ώρα – UTC), κατά την οποία ανιχνεύεται για πρώτη φορά ένα έγκυρο κύτταρο καταιγίδας. Ως χρόνος πρώτης ανίχνευσης, ορίζεται ο χρόνος όπου το σύστημα TITAN ανιχνεύει για πρώτη φορά ένα κύτταρο που πληροί τα κριτήρια (προκαθορισμένη τιμή ανακλαστικότητας, διάρκεια ζωής κτλ) για να χαρακτηριστεί έγκυρο κύτταρο. Στη συνέχεια το σύστημα TITAN αποθηκεύει την πληροφορία σε πραγματικό χρόνο UTC.

Χρόνος διάρκειας κυττάρου (Dur) (min)

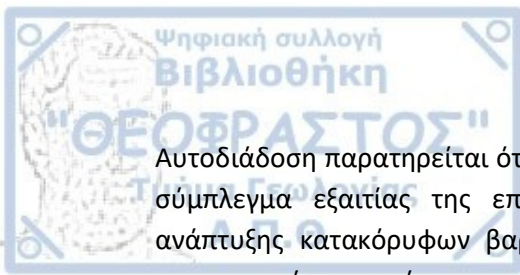
Ο χρόνος διάρκειας ενός κυττάρου ορίζεται ο χρόνος ζωής ενός κυττάρου από την στιγμή που θα χαρακτηριστεί έγκυρο, έως ότου πάψει να πληροί τα χαρακτηριστικά για να θεωρείται έγκυρο. Έτσι, διάλυση ενός κυττάρου ορίζεται η χρονική στιγμή όπου η ανακλαστικότητα πέσει κάτω από την προκαθορισμένη τιμή και όχι όταν διαλυθεί πλήρως το νέφος.

3.3.2. Κινηματικά χαρακτηριστικά

Ταχύτητα κίνησης κυττάρου (S) (Km/hr)

Ως ταχύτητα κίνησης ενός κυττάρου ορίζεται η οριζόντια απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών θέσεων όπου έχει ανιχνευθεί το κύτταρο, προς το χρόνο που κατέγραψε για την μετακίνηση αυτή. Ως θέση του κυττάρου θεωρείται η θέση του κέντρου βάρους ενός έγκυρου κυττάρου.

Η κίνηση των κυττάρων σχετίζεται με τρεις παράγοντες: την οριζόντια μεταφορά, τη δυναμική μεταφορά και την αυτοδιάδοση. Οριζόντια μεταφορά είναι η φυσική μετακίνηση ενός κυττάρου που παρασύρεται από το μέσο άνεμο στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Δυναμική μεταφορά παρατηρείται όταν το κύτταρο κινείται προς μια κατεύθυνση εξαιτίας εξωτερικών επιδράσεων, όπως κάποιο βαρομετρικό χαμηλό ή κάποια μετωπική επιφάνεια.



Αυτοδιάδοση παρατηρείται όταν ένα κύτταρο δημιουργεί παρόμοια κύτταρα μέσα στο ίδιο σύμπλεγμα εξαιτίας της επιτάχυνσης κάποιου ανοδικού ή καθοδικού ρεύματος ή ανάπτυξης κατακόρυφων βαροβαθμίδων. Τα κύτταρα καταιγίδας, γενικά, μπορούν να επηρεαστούν και από τους τρεις παράγοντες (Cotton and Anthes, 1989).

Διεύθυνση κίνησης κυττάρου D (⁰)

Η διεύθυνση κίνησης μεταξύ δύο διαδοχικών ανιχνεύσεων του κυττάρου σε μοίρες, σύμφωνα με τη φορά του διανύσματος κίνησης του.

3.3.3. Χωρικά χαρακτηριστικά

Όγκος του κυττάρου (Vol) (Km³)

Ένα από τα κριτήρια για να θεωρείται ένα κύτταρο έγκυρο είναι ο όγκος του να ξεπερνά τα 15 km³. Επομένως, ο όγκος του κυττάρου προσδιορίζεται από τον μέσο όρο των επιμέρους όγκων που έχουν ανιχνευθεί από το σύστημα TITAN.

Μάζα του κυττάρου (Mass) (ktons)

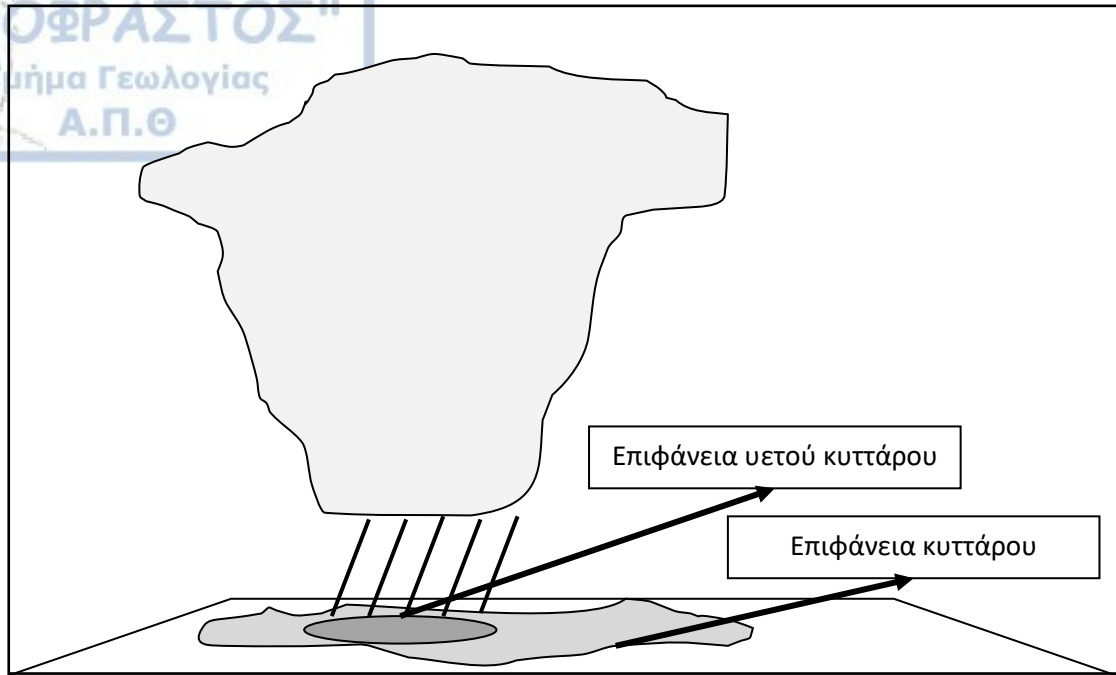
Ως μάζα του κυττάρου ορίζεται, σύμφωνα με τη σχέση $Mass = \int Md(Vol)$, το ολοκλήρωμα της μάζας του νερού που υπάρχει στη μονάδα του όγκου για όλες τις περιοχές όπου η ανακλαστικότητα ξεπερνά την προκαθορισμένη τιμή. Επομένως, η μάζα προκύπτει από τον συνολικό όγκο του νερού που υπάρχει μέσα στο κύτταρο, είτε σε υγρή, είτε σε στερεή κατάσταση και όχι από τη μάζα των υδροσταγονιδίων ή των παγοκρυστάλλων αντίστοιχα.

Επιφάνεια του κυττάρου (A) (Km²)

Επιφάνεια του κυττάρου ορίζεται η προβολή της τρισδιάστατης περιοχής του κυττάρου πάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Να σημειωθεί ότι καταγραφείσα επιφάνεια είναι η προβολή του έγκυρου μέρους του κυττάρου και όχι του μέρους που δεν πληροί τα κριτήρια για να χαρακτηριστεί κύτταρο. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχει ένα νέφος με μεγαλύτερη, θεωρητικά, προβολή στο έδαφος, όμως η ανακλαστικότητά του είναι κάτω του ορίου, με αποτέλεσμα να μην καταγράφεται η επιφάνειά του από τον αλγόριθμο του TITAN.

Επιφάνεια υετού του κυττάρου (PA) (Km²)

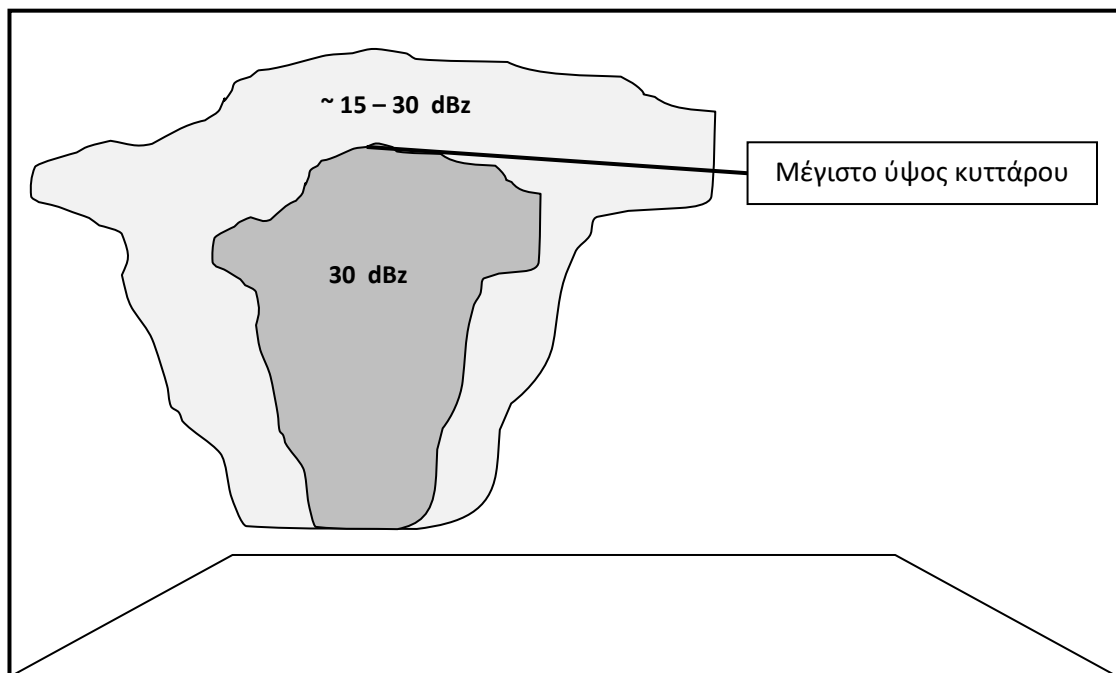
Επιφάνεια υετού χαρακτηρίζεται η προβολή της επιφάνειας του κυττάρου πάνω στην επιφάνεια του εδάφους όπου παρατηρείται υετός. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.3, η επιφάνεια υετού είναι μικρότερη από την επιφάνεια του κυττάρου.



Σχήμα 3.3: Σχηματική απεικόνιση της επιφάνειας κυττάρου και της επιφάνειας υετού του κυττάρου.

Μέγιστο ύψος κορυφής του κυττάρου (Max H) (Km)

Μέγιστο ύψος ορίζεται το μέγιστο ύψος που φτάνει ένα έγκυρο κύτταρο μέσα την ατμόσφαιρα. Και σε αυτή την περίπτωση, το μέγιστο ύψος χαρακτηρίζει το ύψος που φτάνει το έγκυρο μέρος του κυττάρου (με τιμή ανακλαστικότητας πάνω από την προκαθορισμένη) και όχι το ύψος του απλού νέφους, το οποίο πιθανώς να είναι μεγαλύτερο (σχήμα 3.4)

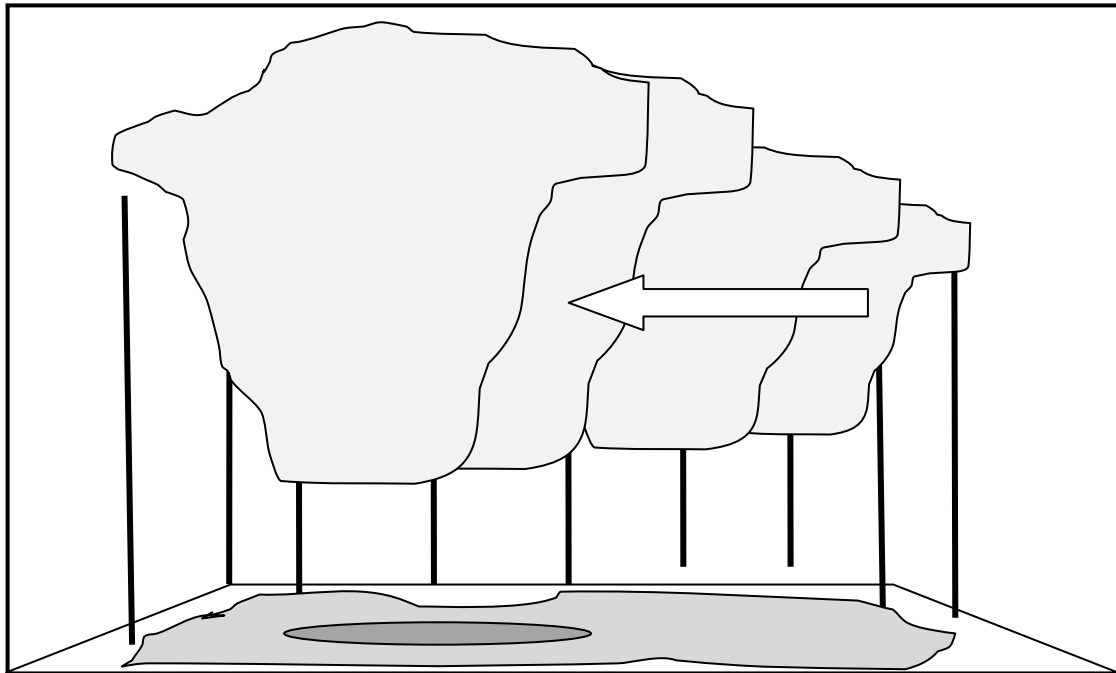


Σχήμα 3.4: Σχηματική απεικόνιση του μέγιστου ύψους ενός κυττάρου.

Διανυόμενη έκταση (Swath Area) (Km²)

Διανυόμενη έκταση χαρακτηρίζεται η επιφάνεια του εδάφους όπου διανύει και προβάλλεται ένα έγκυρο κύτταρο από την στιγμή της πρώτης ανίχνευσης έως ότου παύσει να θεωρείται έγκυρο. Σε αντίθεση με την επιφάνεια του κυττάρου όπου καταγράφει την

επιφάνεια σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η διανυόμενη έκταση καταγράφει την επιφάνεια που κινήθηκε το κύτταρο καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του. Εξαρτάται από την ταχύτητα κίνησης του κυττάρου, τη διάρκεια ζωής του και την προβολή του όγκου του στο έδαφος (σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5: Σχηματική απεικόνιση της διανυόμενης έκτασης.

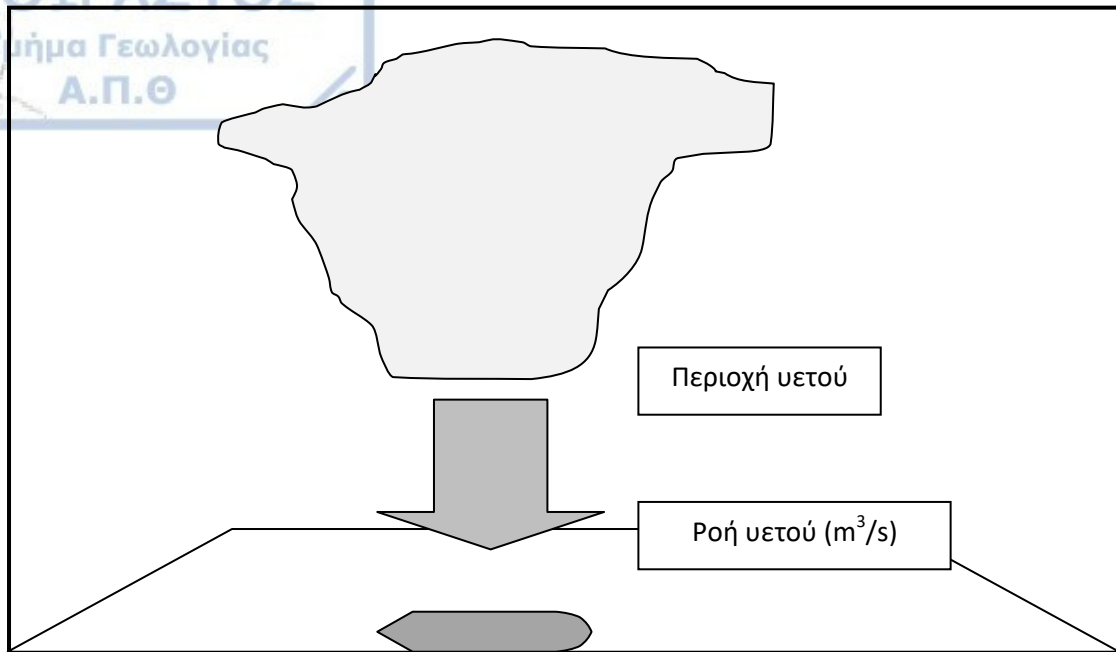
3.3.4. Δυναμικά χαρακτηριστικά

Ροή υετού (Pflux) (m³/s)

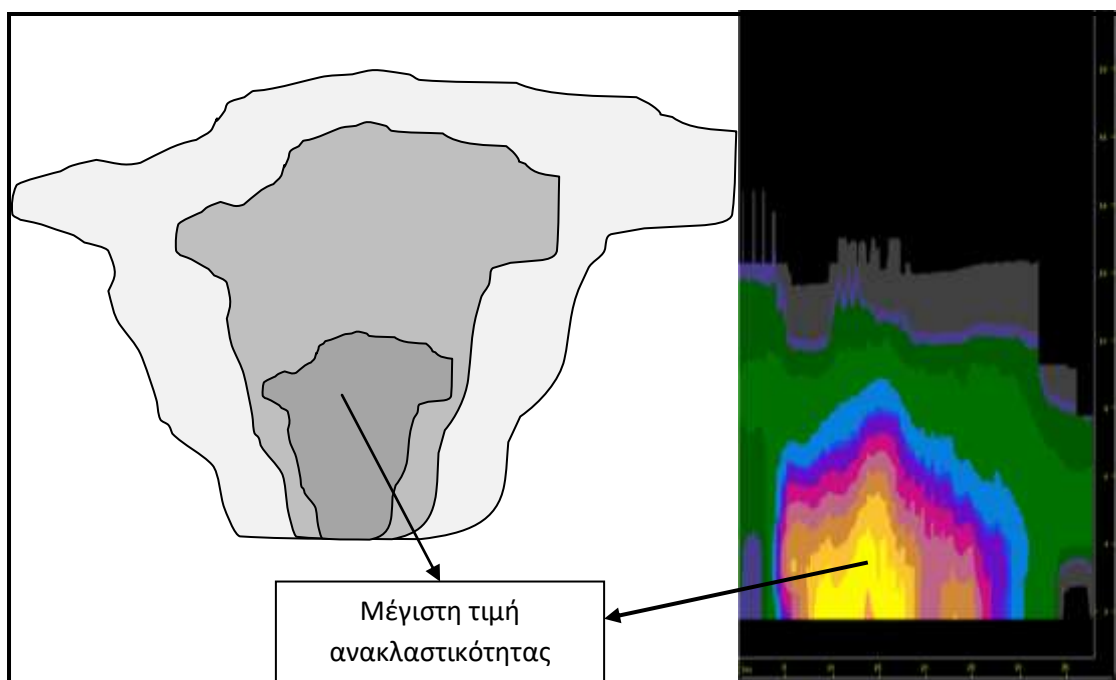
Είναι ο όγκος του υετού που εμφανίζεται στη βάση του κυττάρου στη μονάδα το χρόνου. Εκφράζεται με τη σχέση $Pflux = \int Rd(A)$ όπου A η περιοχή υετού του κυττάρου σε Km² και R ο ρυθμός υετού σε mm/hr. (σχήμα 3.6)

Μέγιστη ανακλαστικότητα του κυττάρου (Max dBz) (dBz)

Εκφράζει τη μέγιστη τιμή ανακλαστικότητας που θα καταγράψει ένα κύτταρο από το σύστημα TITAN, ανεξάρτητα από τον όγκο, το ύψος ή τη χρονική στιγμή που παρατηρείται. Η μέγιστη ανακλαστικότητα είναι και αυτή ένα μέτρο της έντασης του κυττάρου (σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.6: Σχηματική απεικόνιση της ροής υετού (Pflux).



Σχήμα 3.7: Σχηματική απεικόνιση της μέγιστης ανακλαστικότητας (αριστερά) και γραφική απεικόνιση της ανακλαστικότητας, όπως προκύπτει από το μετεωρολογικό ραντάρ (δεξιά).

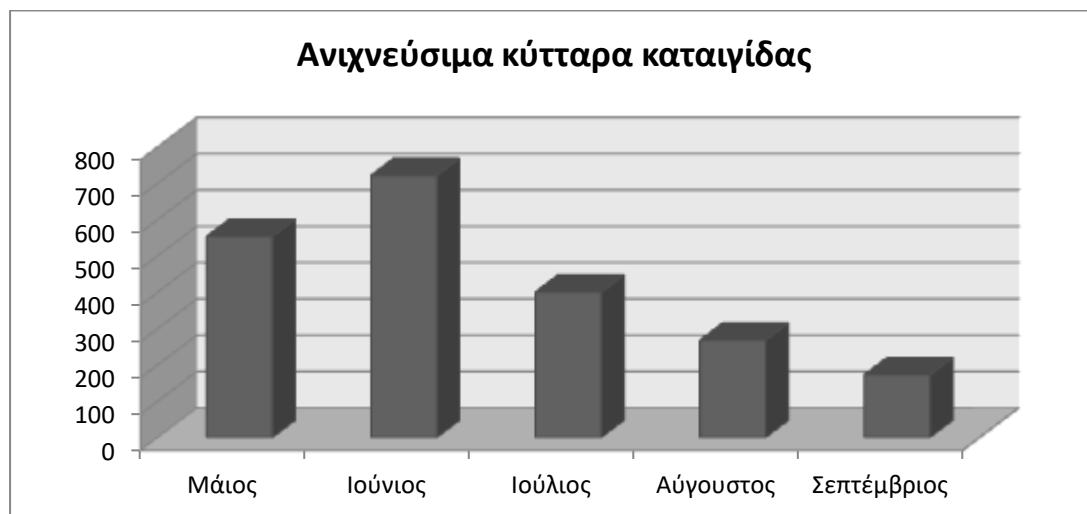
Στο επόμενο κεφάλαιο, θα μελετηθούν τα παραπάνω χαρακτηριστικά των κυττάρων καταιγίδας με πραγματικά δεδομένα, όπως αυτά προέκυψαν από το μετεωρολογικό ραντάρ του Φιλύρου, την περίοδο 2016 – 2020, για τους μήνες Μάιο – Σεπτέμβριο, για την περιοχή Σερρών - Δράμας.

4.1 Ανάλυση δεδομένων

Τα κύτταρα καταιγίδας, τα οποία έχουν χαρακτηριστεί από τον αλγόριθμο TITAN ως έγκυρα, διαχωρίζονται στη συνέχεια, ανάλογα με το είδος τους σε απλά (single) και σύνθετα (complex). Στην περιοχή Σερρών – Δράμας (περιοχή μελέτης), για τη θερινή περίοδο 2016 – 2020, έχουν ανιχνευθεί συνολικά 3.128 εκ των οποίων 2.118 απλά και 1.010 σύνθετα. Τα κύτταρα δεν έχουν διαχωριστεί χωρικά, δηλαδή ανά περιοχή εμφάνισης (ορεινή – πεδινή), ανάλογα δηλαδή με το που ανιχνεύθηκε πρώτη φορά το κύτταρο. Επομένως η ανάλυση των αποτελεσμάτων γίνεται μόνο ανάλογα με το είδος των κυττάρων και συγκεκριμένα μόνο για τα απλά κύτταρα. Αυτό συμβαίνει διότι τα απλά κύτταρα αποτελούν ένα είδος μοναδιαίου στοιχείου και έτσι μπορούν να μελετηθούν και να συγκριθούν καλύτερα μεταξύ τους. Τα σύνθετα κύτταρα είναι περισσότερο πολύπλοκα και εμφανίζουν ελαφρώς διαφοροποιημένα χαρακτηριστικά συγκρινόμενα μεταξύ τους. Γι αυτό το λόγο η παρακάτω ανάλυση των αποτελεσμάτων γίνεται **μόνο για τα απλά κύτταρα**, χωρίς να διαχωρίζεται η περιοχή εμφάνισης.

Τα χαρακτηριστικά των απλών κυττάρων καταιγίδας έχουν διαχωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες, όπως αναφέρθηκε παραπάνω: Χρονικά, κινηματικά, χωρικά και δυναμικά χαρακτηριστικά. Τα χαρακτηριστικά αυτά αναλύονται ως προς τις μέσες τιμές που εμφανίζουν ανά μήνα και συνολικά, αλλά και ως προς τις σχετικές συχνότητες.

Το παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 4.1), απεικονίζει αριθμητικά, τα κύτταρα που έχουν ανιχνευθεί ανά μήνα στην περιοχή μελέτης:



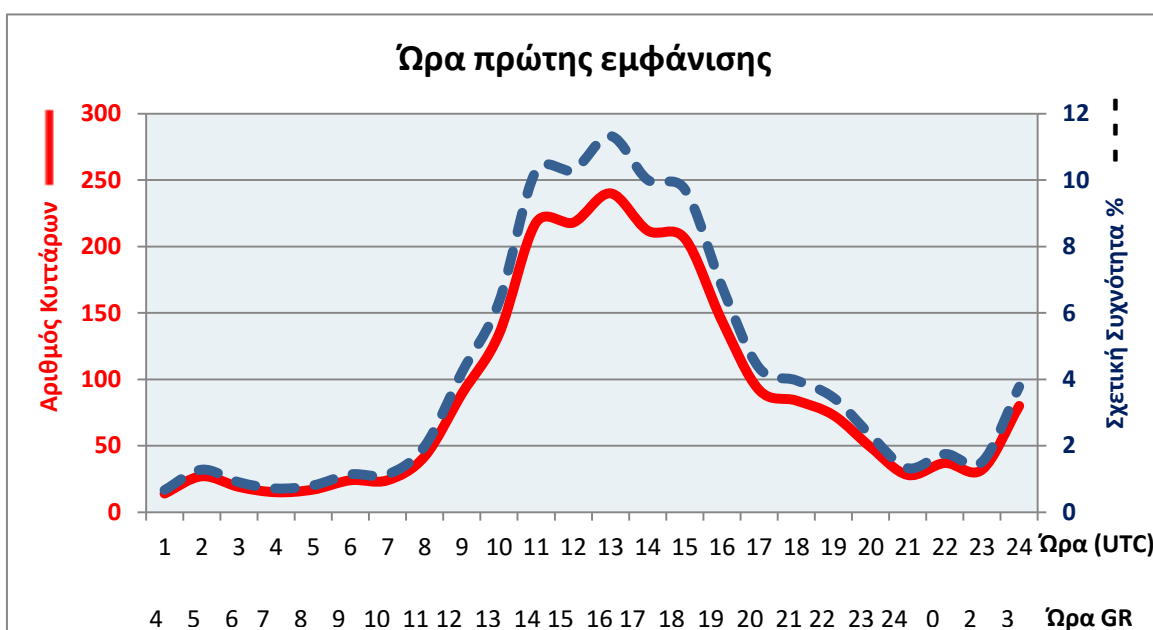
Σχήμα 4.1: Μηνιαία κατανομή των ανιχνευμένων κυττάρων κατά το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα.

Από τα 2.118 απλά κύτταρα που έχουν ανιχνευθεί την θερινή περίοδο κατά την 5ετία 2016 – 2020, τα 554 αφορούν το μήνα Μάιο, 722 τον Ιούνιο, 401 τον Ιούλιο, 268 τον Αύγουστο και 173 το Σεπτέμβριο. Παρατηρείται, δηλαδή, ότι στην αρχή της θερινής περιόδου δημιουργούνται περισσότερες καταιγίδες και μειώνονται προοδευτικά προς το τέλος της θερινής περιόδου. Αυτό συμβαίνει διότι η αρχή του καλοκαιριού, χαρακτηρίζεται από περισσότερη αστάθεια, εξαιτίας της διέλευσης περισσότερων μετωπικών υφέσεων σε σχέση με τη θερμή περίοδο. Επίσης, την περίοδο αυτή, ο αέρας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους θερμαίνεται απότομα, σε σχέση με την υπόλοιπη ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται συνθήκες αστάθειας.

4.2 Ανάλυση χρονικών χαρακτηριστικών των κυττάρων καταιγίδας

4.2.1 Ώρα πρώτης εμφάνισης

Ως ώρα πρώτης εμφάνισης ορίζεται η χρονική στιγμή (σε παγκόσμια ώρα – UTC), όπου ένα κύτταρο που ανιχνεύεται από το μετεωρολογικό ραντάρ, πληροί τα κριτήρια ώστε να χαρακτηριστεί έγκυρο, δηλαδή έχει ανακλαστικότητα μεγαλύτερη από 30 dBz, τουλάχιστον 15 λεπτά διάρκεια ζωής, 5 διαδοχικές ανιχνεύσεις κτλ.



Σχήμα 4.2: Αριθμός κυττάρων και σχετικές συχνότητες με βάση το χρόνο πρώτης εμφάνισης.

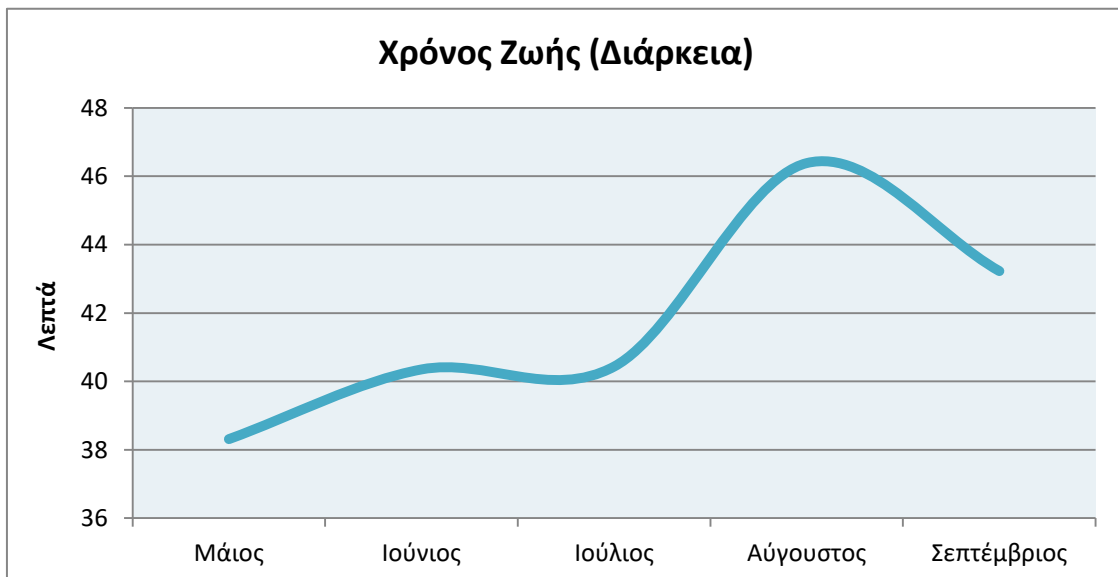
Στο παραπάνω σχήμα (4.2) απεικονίζεται ο αριθμός των κυττάρων και η σχετική συχνότητα % αυτών ανά ώρα UTC και ώρα Ελλάδας. Παρατηρείται ότι ο μέγιστος αριθμός κυττάρων και η μέγιστη σχετική συχνότητα εμφανίζονται τις μεσημβρινές ώρες της ημέρας μεταξύ 11:00 – 15:00 UTC (14:00 – 18:00 ώρα Ελλάδας). Αυτό συμβαίνει διότι τις συγκεκριμένες ώρες συντελείται η μέγιστη θέρμανση επιφάνειας του εδάφους και της παρακείμενης ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία θερμικής ύφεσης (θερμικό χαμηλό) και άρα

την ανάπτυξη καταιγιδοφόρων νεφών. Η μέγιστη συχνότητα εμφάνισης (11,3%) και ο μέγιστος αριθμός κυττάρων που έχουν ανιχνευθεί στο εξεταζόμενο χρονικό διάστημα (240) παρατηρούνται μεταξύ 12:00 – 13:00 UTC (15:00 – 16:00 ώρα Ελλάδας). Οι ελάχιστες σχετικές συχνότητες και τα λιγότερα ανιχνεύσιμα κύτταρα παρατηρούνται κατά τις νυχτερινές ώρες.

4.2.2. Χρόνος Ζωής (Διάρκεια)

Ο χρόνος ζωής ενός κυττάρου ορίζεται το χρονικό διάστημα από την στιγμή όπου ένα κύτταρο ξεπεράσει την προκαθορισμένη τιμή ανακλαστικότητας (30 dBz) και θεωρείται πια έγκυρο, έως τη στιγμή όπου η τιμή θα πέσει κάτω από την προκαθορισμένη τιμή. Το νέφος έχει προφανώς μεγαλύτερη διάρκεια ζωής αφού ένα νέφος υπάρχει και κινείται και με χαμηλότερες τιμές ανακλαστικότητας, ωστόσο αυτές δεν καταγράφονται από το σύστημα TITAN.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, οι μέσες μηνιαίες τιμές της διάρκειας ζωής των κυττάρων (σχήμα 4.3) εμφανίζουν μικρή απόκλιση (~0,6hr=36 λεπτά έως 0,8hr=48 λεπτά) στη διάρκεια της θερινής περιόδου. Ο μέσος χρόνος ζωής για όλο το εξεταζόμενο διάστημα είναι 0,68hr, δηλαδή 40,8 λεπτά. Υπάρχει ωστόσο μια τάση για μεγαλύτερη διάρκεια τον μήνα Αύγουστο και μικρότερη τον μήνα Μάιο. Συγκρίνοντας με τον αριθμό των ανιχνευμένων κυττάρων, συμπεραίνεται ότι προς το τέλος της θερινής περιόδου, όσο μειώνεται ο αριθμός των έγκυρων κυττάρων, τόσο αυξάνεται η διάρκεια ζωής αυτών.



Σχήμα 4.3: Μηνιαία κατανομή (σε λεπτά) του χρόνου ζωής των κυττάρων.

Όσον αφορά τη σχετική συχνότητα (σχήμα 4.4), οι μικρότερες διάρκειες ζωής, παρουσιάζουν μεγαλύτερες συχνότητες. Μεγαλύτερη συχνότητα (47% (~50%)) παρουσιάζει το χρονικό διάστημα 0,3 - 0,5 ώρες, δηλαδή από 18 έως 30 λεπτά. Αισθητή μείωση της

συχνότητας παρουσιάζουν τα κύτταρα με διάρκεια μεγαλύτερη των 30 λεπτών της ώρας, ενώ σπανιότερα, ανιχνεύθηκαν κύτταρα με διάρκεια μεγαλύτερη της μίας ώρας.



Σχήμα 4.4: Σχετικές συχνότητες της διάρκειας ζωής των κυττάρων καταιγίδας

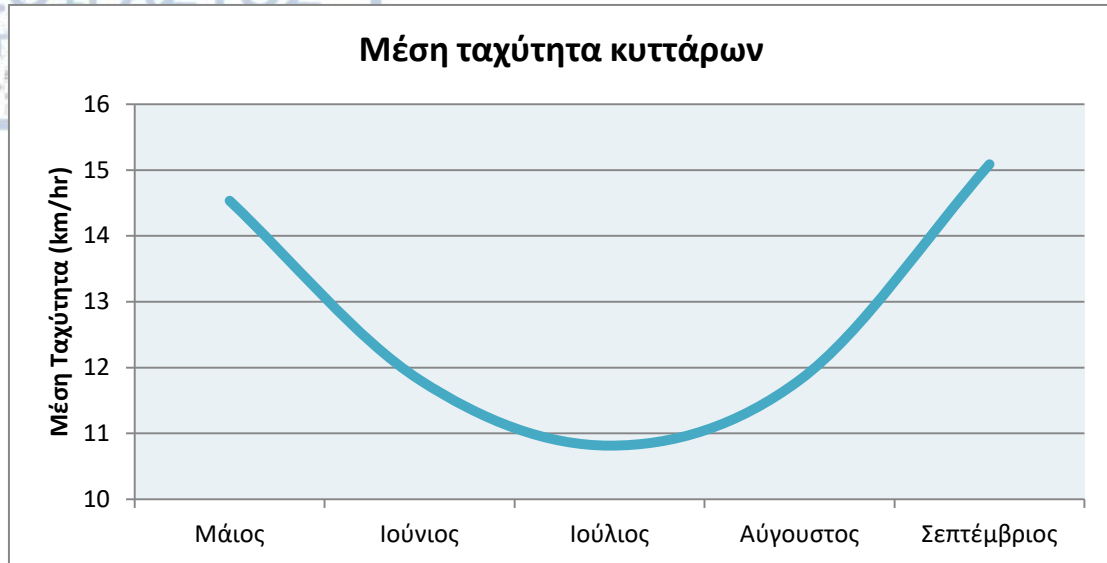
4.3 Ανάλυση κινηματικών χαρακτηριστικών των κυττάρων καταιγίδας

4.3.1 Μέση ταχύτητα κίνησης

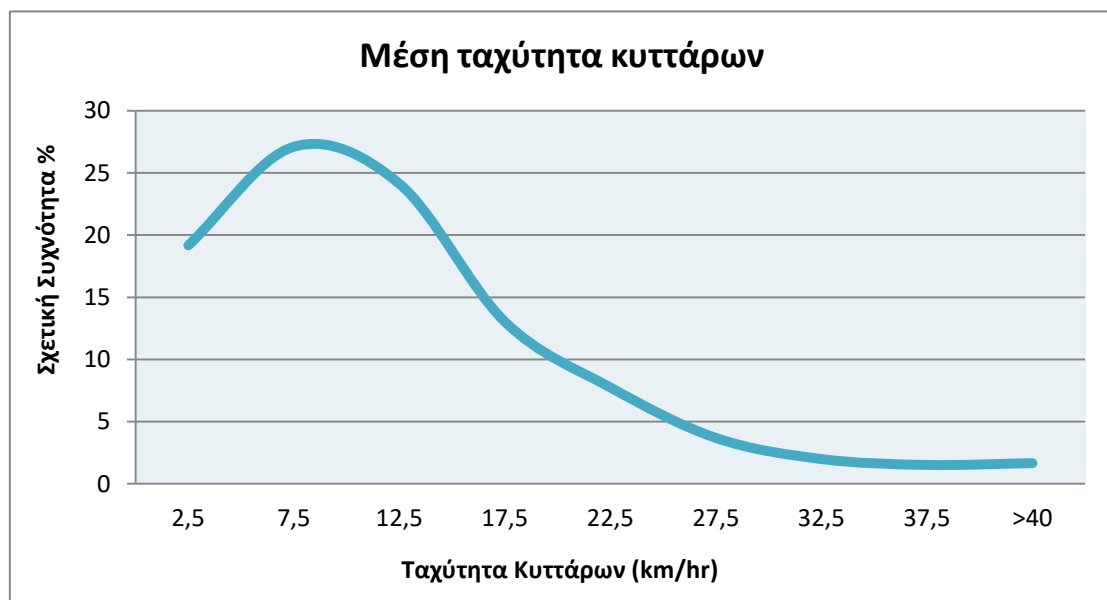
Η μέση ταχύτητα κίνησης για ολόκληρο το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα στην περιοχή μελέτης είναι 12,6 km/hr. Η μηνιαία κατανομή των μέσων ταχυτήτων απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 4.5).

Οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται στην αρχή και στο τέλος της θερινής περιόδου, ενώ κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι τιμές ελαχιστοποιούνται. Αυτό συμβαίνει διότι κατά τις μεταβατικές περιόδους, υπάρχουν περισσότερες διελεύσεις μετωπικών υφέσεων σε σχέση με τη θερινή περίοδο.

Όσον αφορά τη σχετική συχνότητα (σχήμα 4.6), τα περισσότερα κύτταρα (>20%) εμφανίζουν μικρές μέσες ταχύτητες, 5 έως 15 km/hr. Σπανιότερα (<2%) εμφανίζονται κύτταρα με μέσες ταχύτητες μεγαλύτερες από 30 km/hr.



Σχήμα 4.5: Μηνιαία κατανομή της μέσης ταχύτητας των κυττάρων καταιγίδας.

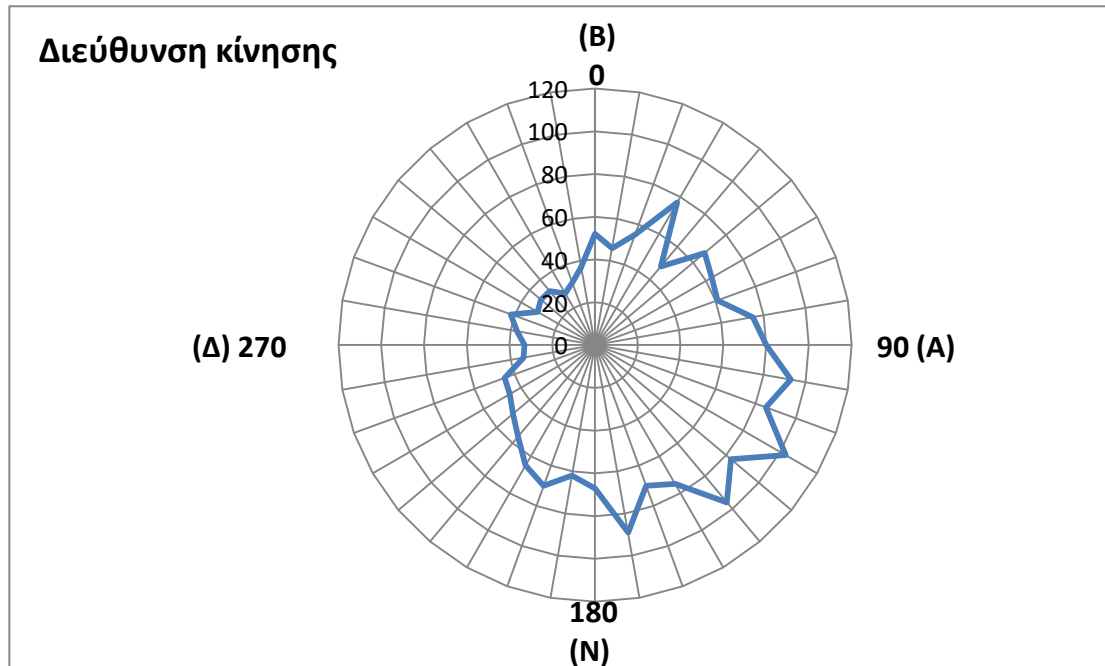


Σχήμα 4.6: Σχετική συχνότητα μέσης ταχύτητας των κυττάρων.

4.3.2 Διεύθυνση κίνησης

Η διεύθυνση κίνησης με τη μεγαλύτερη συχνότητα στην περιοχή μελέτης είναι η από νοτιοανατολική προς βορειοδυτική διεύθυνση (σχήμα 4.7). Μεγάλες συχνότητες παρουσιάζουν και οι βορειοανατολικές και νοτιοδυτικές διευθύνσεις, ωστόσο όσο πιο νοτιοανατολικά, τόσο περισσότερα κύτταρα έχουν ανιχνευθεί. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι, από τις θαλάσσιες περιοχές του κόλπου της Καβάλας και του Στρυμονικού κόλπου (οι οποίες βρίσκονται ΝΑ της περιοχής μελέτης) λόγω θαλάσσιας αύρας, πιθανώς

να υπάρχει εισροή υδρατμών και γενικά αερίων μαζών πλούσιων σε υγρασία, με αποτέλεσμα τη συμπύκνωση αυτών και τη δημιουργία κυττάρων καταιγίδας. Επιπλέον οι λεκάνες Δράμας και Σερρών έχουν γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, με αποτέλεσμα οι αέριες μάζες να καναλίζονται και να ακολουθούν αυτή τη διεύθυνση. Αντίθετα, παρατηρείται πολύ μικρή συχνότητα κυττάρων από την αντίθετη διεύθυνση.



Σχήμα 4.7: Κατανομή των διευθύνσεων κίνησης των κυττάρων.

Στον παρακάτω γεωμορφολογικό χάρτη απεικονίζεται η παράταξη των Λεκανών Σερρών και Δράμας, η οποία έχει διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ, διεύθυνση που συμπίπτει με τη διεύθυνση κίνησης των κυττάρων. Οι λεκάνες χωρίζονται από τον ορεινό όγκο του Μενοικίου. Η τροφοδοσία υδρατμών πιθανών να γίνεται από τη θαλάσσια περιοχή της Καβάλας στα νοτιοανατολικά των λεκανών και στη συνέχεια καναλίζονται μέσα στις λεκάνες, ανάμεσα στα Όρη Φαλακρό, Παγγαίο και Μενοίκιο για τη Δράμα, και Μενοίκιο και Κερδύλια όρη για τη λεκάνη Σερρών.



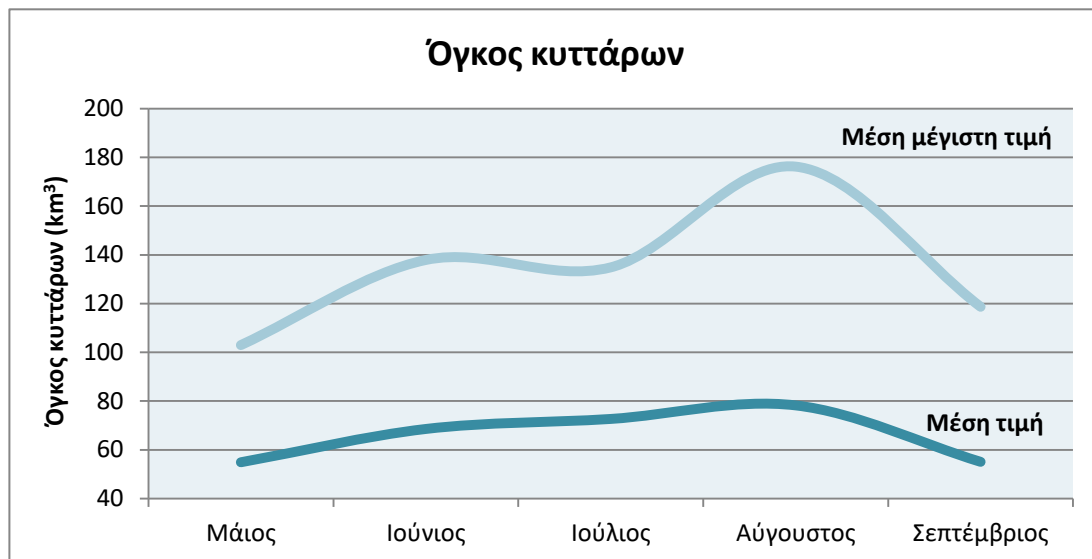
Σχήμα 4.8: Γεωμορφολογικός χάρτης Ανατολικής Μακεδονίας (πηγή: Google Earth).

4.4 Ανάλυση χωρικών χαρακτηριστικών των κυττάρων καταιγίδας

4.4.1 Όγκος των κυττάρων

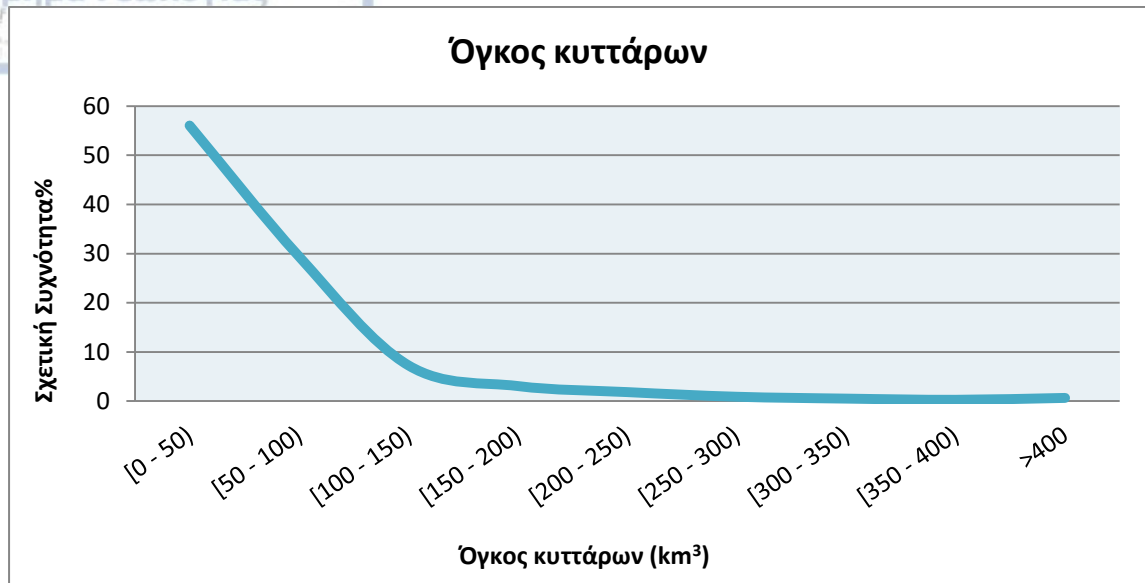
Ο όγκος ενός κυττάρου καταιγίδας προσδιορίζεται από το μέσο όρο των επιμέρους όγκων ανά ανίχνευση από το μετεωρολογικό ραντάρ. Ένα κύτταρο για να θεωρείται έγκυρο πρέπει ο όγκος του να ξεπερνά τα 15 km^3 . Στο εξεταζόμενο χρονικό διάστημα στη περιοχή μελέτης, έχουν ανιχνευθεί 2.118 απλά κύτταρα. Το σύστημα TITAN έχει προσδιορίσει τη μέση τιμή του όγκου κάθε κυττάρου, αλλά και τη μέγιστη τιμή αυτών. Για όλο το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα, η μέση τιμή των όγκων των ανιχνευμένων κυττάρων είναι $65,9 \text{ km}^3$, ενώ η μέση μέγιστη τιμή είναι $131,5 \text{ km}^3$.

Γενικά παρατηρείται μικρή αύξηση του μέσου όγκου των κυττάρων τους θερινούς μήνες (σχήμα 4.9). Οι μέσες μέγιστες τιμές παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση. Σε κάθε περίπτωση οι μέγιστες τιμές παρατηρούνται το μήνα Αύγουστο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο μέσο της θερινής περιόδου υπάρχει μεγάλη θέρμανση της επιφάνεια της γης, με αποτέλεσμα αυξημένη αστάθεια και άρα μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη των κυττάρων, το οποίο μεταφράζεται με αυξημένες τιμές του όγκου. Η αύξηση του όγκου προκαλεί περισσότερη εισροή υδρατμών, αυξάνοντας αναλογικά και τη μάζα του κυττάρου. Το Σεπτέμβριο, ο όγκος ελαχιστοποιείται απότομα.



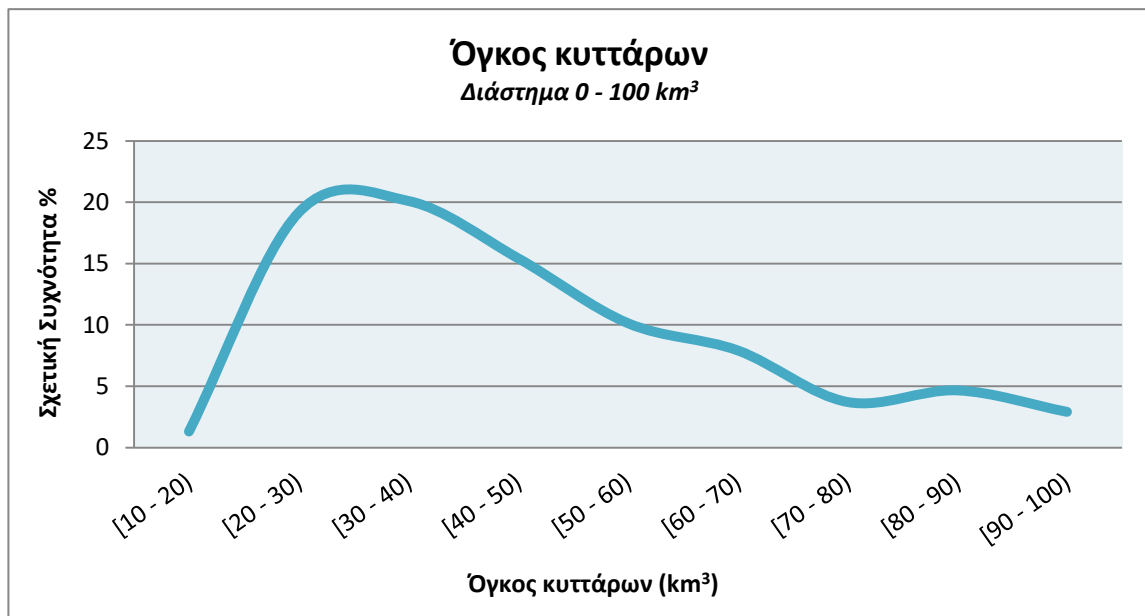
Σχήμα 4.9: Μηνιαία κατανομή της μέσης και μέσης μέγιστης τιμής του όγκου των κυττάρων.

Όσον αφορά τη σχετική συχνότητα (σχήμα 4.10), περισσότερο από το 50% των κύτταρων, έχει μέση τιμή όγκου μεταξύ 10 έως 50 km^3 . Το 30% εμφανίζει τιμές μεταξύ $50 - 100 \text{ km}^3$, ενώ σημαντική μείωση της συχνότητας παρατηρείται όσο αυξάνεται περαιτέρω ο όγκος.



Σχήμα 4.10: Σχετική συχνότητα της μέσης τιμής του όγκου των κυττάρων.

Για την καλύτερη απεικόνιση της κατανομής της σχετικής συχνότητας μεταξύ 10 – 100 km³, το διάστημα που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συχνότητα (~86%), δίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 4.11). Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κυττάρων (40%) έχει μέση τιμή όγκου μεταξύ 20 – 40 km³, ενώ σταδιακά ελαττώνεται ο αριθμός των κυττάρων με μεγαλύτερες τιμές όγκων.

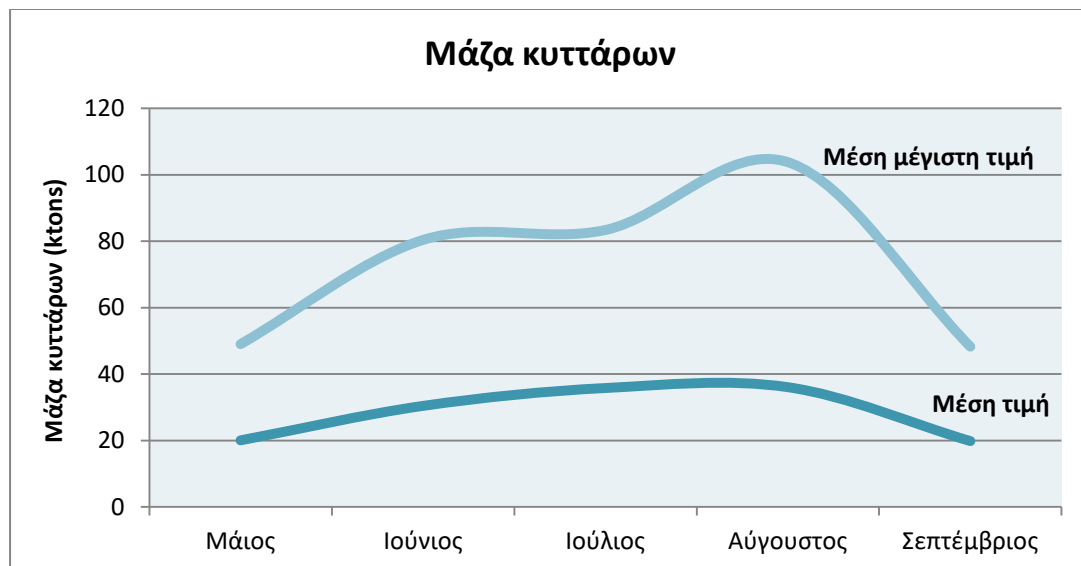


Σχήμα 4.11: Σχετική συχνότητα του μέσου όγκου των κυττάρων στο διάστημα μεταξύ 0 έως 100 km³ (διάστημα με τη μεγαλύτερη συχνότητα).

4.4.2 Μάζα των κυττάρων

Ως μάζα κυττάρου ορίζεται το ολοκλήρωμα της μάζας του νερού που υπάρχει στη μονάδα του όγκου και προκύπτει από τον συνολικό όγκο του νερού που υπάρχει μέσα στο κύτταρο, είτε σε υγρή είτε σε στερεή κατάσταση. Από τον αλγόριθμο, έχει προσδιοριστεί η μέση και η μέγιστη μάζα κάθε κυττάρου. Κατά το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα, η μέση μάζα των κυττάρων είναι 28,6 ktons, ενώ η μέση μέγιστη μάζα είναι 73,0 ktons.

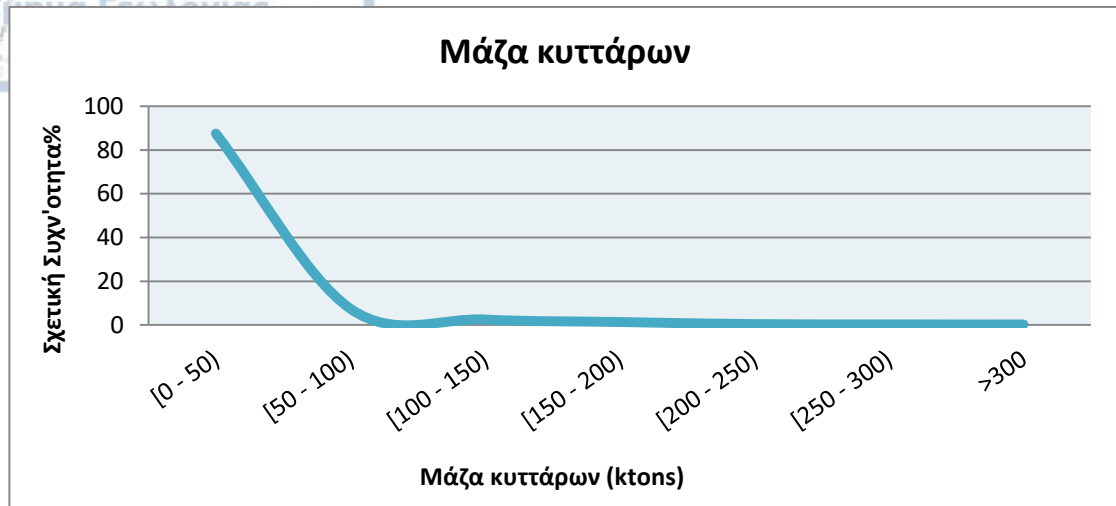
Σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα (4.12), η μηνιαία κατανομή της μάζας παρουσιάζει απλή κύμανση, ωστόσο η μέση μέγιστη έχει μια διαφοροποίηση τους θερινούς μήνες με μέγιστη τιμή το μήνα Αύγουστο. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τον Αύγουστο, παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες τιμές όγκου στα κύτταρα, κάτι που προκάλεσε την εισροή περισσότερων υδρατμών και αύξησε αναλογικά και τη μάζα των κυττάρων την περίοδο αυτή. Τον Σεπτέμβριο, οι μέσες τιμές της μάζας των κυττάρων μειώνονται απότομα.



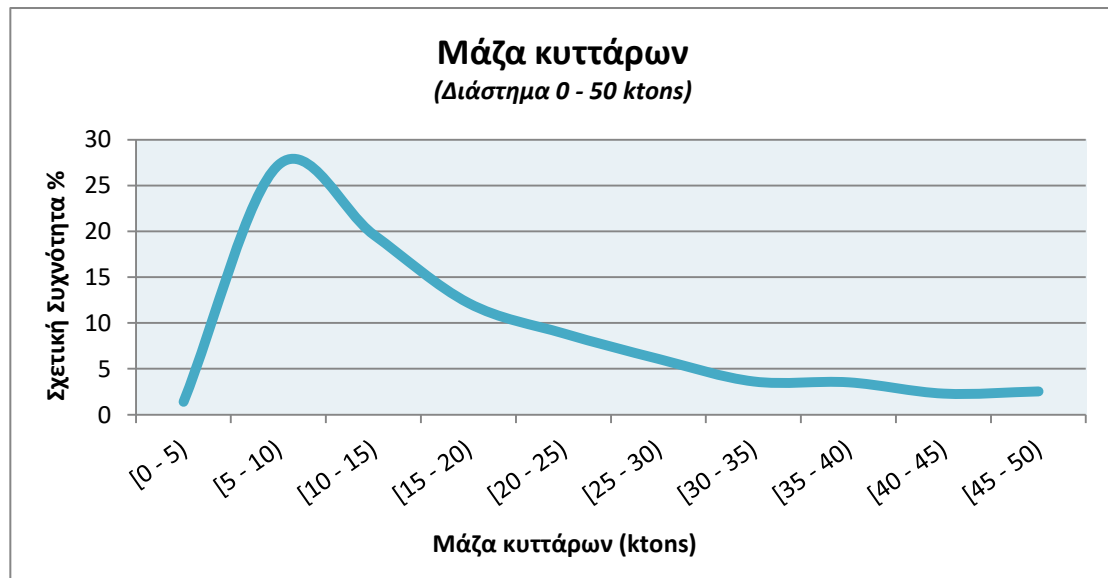
Σχήμα 4.12: Μηνιαία κατανομή της μέσης και της μέσης μέγιστης τιμής της μάζας των κυττάρων.

Όσον αφορά τις σχετικές συχνότητες (σχήμα 4.13), η συντριπτική πλειοψηφία των κυττάρων καταιγίδας (~87,5%) έχει μέση τιμή μάζας μεταξύ 0 – 50 ktons. Το 7,5 % των κυττάρων έχει τιμή μάζας μεταξύ 50 -100 ktons, ενώ ελάχιστα είναι τα κύτταρα με μάζα μεγαλύτερη των 100 ktons.

Για τη καλύτερη απεικόνιση της κύμανσης της μέσης μάζας, στο παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 4.14) παρουσιάζονται οι τιμές ανά 5 ktons, μεταξύ 0 – 50 ktons (διάστημα με τη μεγαλύτερη συχνότητα). Μεγαλύτερες συχνότητες (46,8%) παρατηρούνται σε κύτταρα με μέση μάζα από 5 έως 15 ktons, ενώ σταδιακή ελάττωση της συχνότητας παρατηρείται όσο αυξάνεται η μάζα.



Σχήμα 4.13: Σχετική συχνότητα της μέσης τιμής της μάζας των κυττάρων.

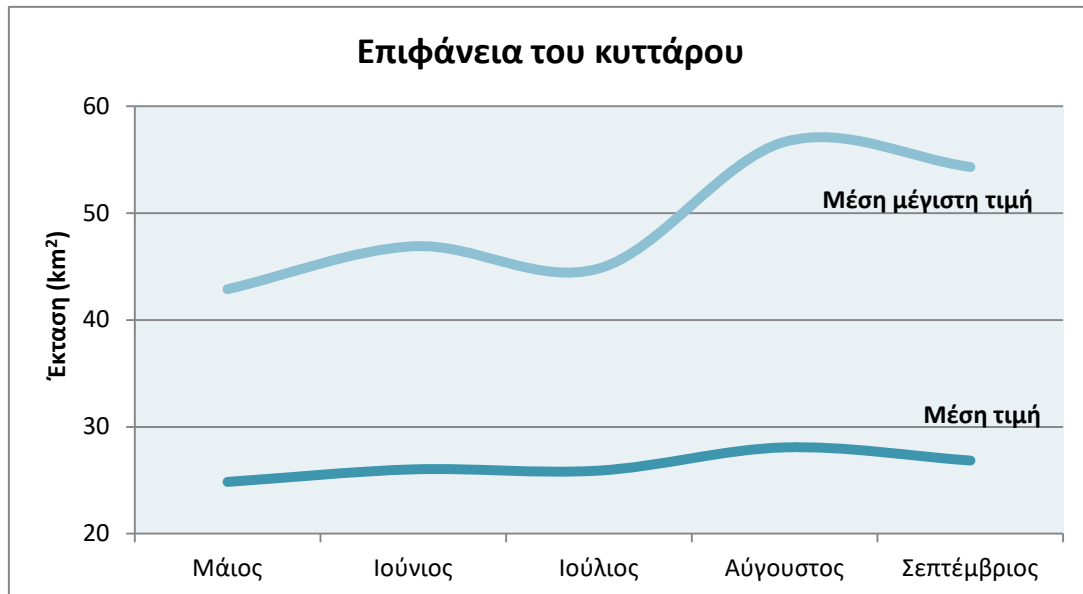


Σχήμα 4.14: Σχετική συχνότητα της μέσης τιμής της μάζας των κυττάρων στο διάστημα μεταξύ 0 έως 50 ktons (διάστημα με τη μεγαλύτερη συχνότητα).

4.4.3 Επιφάνεια του κυττάρου

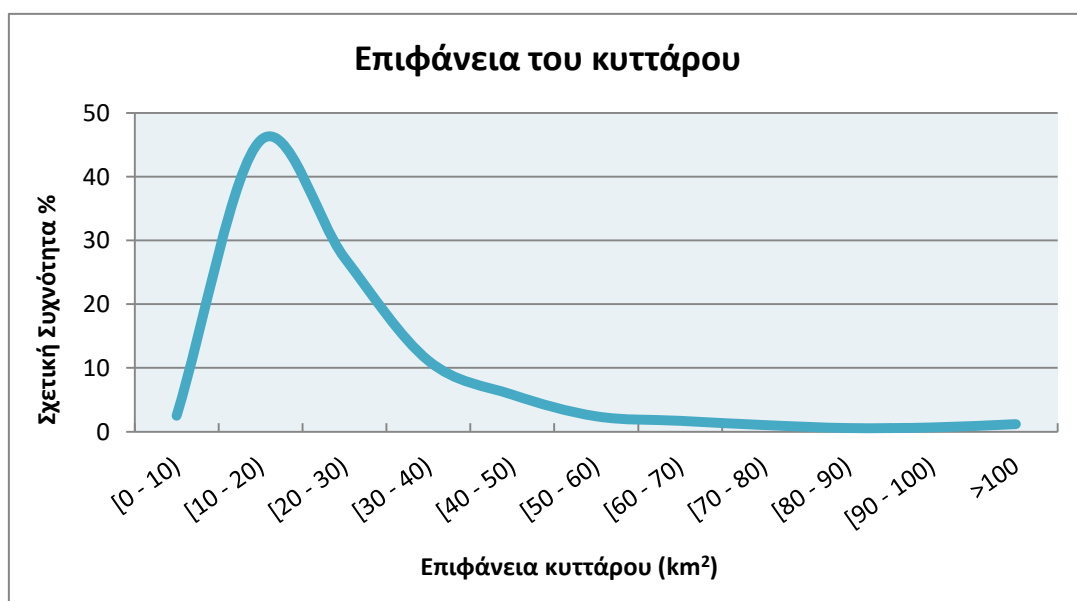
Ως επιφάνεια του κυττάρου ορίζεται η προβολή του έγκυρου μέρος του κυττάρου στην επιφάνεια του εδάφους. Η επιφάνεια αυτή, στην πραγματικότητα, είναι μεγαλύτερη, αφού υπάρχει μέρος του νέφους που δεν αναγνωρίζεται από τον αλγόριθμο TITAN. Το σύστημα έχει προσδιορίσει την τιμή της μέσης αλλά και της μέγιστης τιμής κάθε κυττάρου. Η μέση επιφάνεια όλων των κυττάρων πάνω στο έδαφος είναι 26,03 km² και η μέση μέγιστη επιφάνεια είναι 47,3 km².

Σύμφωνα με την μηνιαία κατανομή (σχήμα 4.15), η μέση επιφάνεια του κυττάρου δεν παρουσιάζει κάποια διακύμανση κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, ωστόσο υπάρχει μια διαφοροποίηση στη μέση μέγιστη τιμή, η οποία αυξάνεται αρκετά στο τέλος της θερινής περιόδου και συγκεκριμένα τον Αύγουστο και τον Σεπτέμβριο. Παρόμοια αποτελέσματα υπήρχαν και στις τιμές του όγκου και της μάζας των κυττάρων. Συνεπώς παρατηρείται ότι τα μέτρα αυτά είναι ανάλογα μεταξύ τους, δηλαδή η επιφάνεια του κυττάρου στο έδαφος, επηρεάζεται από την αύξηση ή τη μείωση της μάζας ή του όγκου.



Σχήμα 4.15: Μηνιαία κατανομή της μέσης και της μέσης μέγιστης τιμής της επιφάνειας του κυττάρου.

Η πλειοψηφία των κυττάρων (73%) έχουν μέση τιμή επιφάνειας μεταξύ 10 έως 30 km². Το 45% των κυττάρων έχει τιμή επιφάνειας 10 - 20 km². Για τιμές μεγαλύτερες από 30 km² οι σχετικές συχνότητες παρουσιάζουν εκθετική μείωση (σχήμα 4.16).

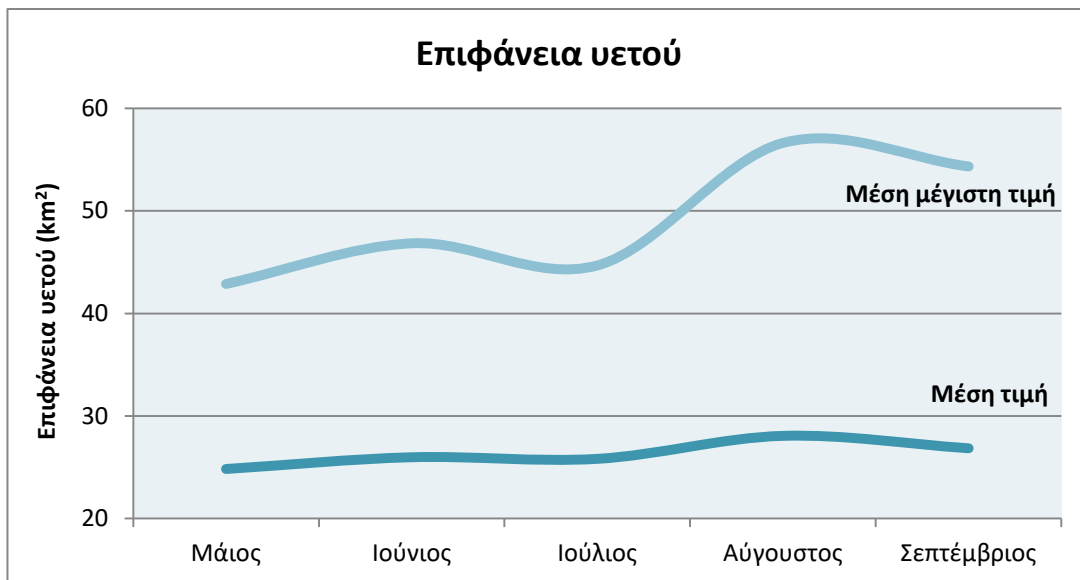


Σχήμα 4.16: Σχετική συχνότητα της μέσης τιμής της επιφάνειας του κυττάρου.

4.4.4 Επιφάνεια υετού του κυττάρου

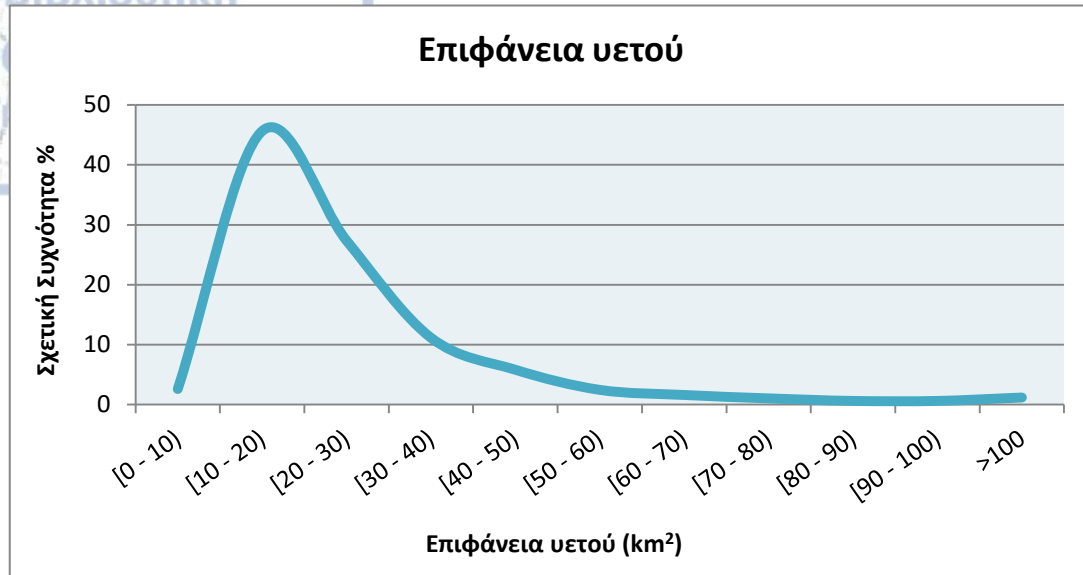
Επιφάνεια υετού ορίζεται η προβολή του κυττάρου στο έδαφος, με διαφορά ότι εδώ προσδιορίζεται μόνο η περιοχή στην επιφάνεια του εδάφους όπου παρατηρείται υετός. Σε σχέση με την επιφάνεια του κυττάρου, η επιφάνεια του υετού είναι ελαφρώς μικρότερη, αφού δεν παρατηρείται, σε όλη την έκταση του κυττάρου, υετός. Η μέση τιμή της επιφάνειας υετού είναι 25,99 km², ενώ η μέση μέγιστη τιμή 47,24 km².

Η μηνιαία κατανομή της επιφάνειας υετού, έχει απόλυτη ταύτιση με την ολική επιφάνεια του κυττάρου (διαφορά της τάξης του ενός δεκαδικού). Η μέση τιμή της επιφάνειας υετού δεν παρουσιάζει κάποια διακύμανση κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, ωστόσο η μέση μέγιστη τιμή έχει μια αύξηση τον μήνα Αύγουστο, ανάλογη της επιφάνειας του κυττάρου, του όγκου και της μάζας (σχήμα 4.17).



Σχήμα 4.17: Μηνιαία κατανομή της μέσης και της μέσης μέγιστης τιμής της επιφάνειας υετού του κυττάρου.

Ανάλογη διακύμανση παρουσιάζουν και οι σχετικές συχνότητες (σήμα 4.18). Το 72,9% των κυττάρων έχει μέση τιμή επιφάνειας υετού μεταξύ 10 -30 km², από τα οποία, το 45% έχει τιμή μεταξύ 10 – 20 km². Στη συνέχεια, όπως και στην ολική επιφάνεια του κυττάρου, όσο αυξάνεται η μέση τιμή της επιφάνειας υετού, οι σχετικές συχνότητες παρουσιάζουν εκθετική μείωση.



Σχήμα 4.18: Σχετική συχνότητα της μέσης τιμής της επιφάνειας υετού.

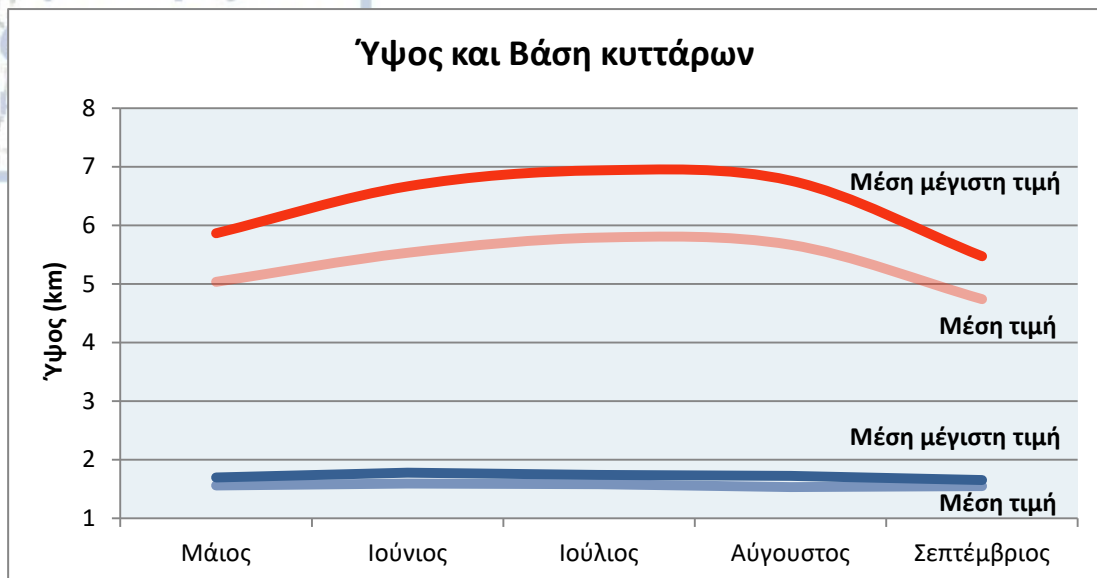
4.4.5 Ύψος κορυφής και βάση του κυττάρου

Ύψος κυττάρου θεωρείται το ύψος που φτάνει ένα κύτταρο όσο εκτείνεται κατακόρυφα μέσα στην ατμόσφαιρα. Και για την περίπτωση το ύψους, προσδιορίζεται μόνο το έγκυρο μέρος του κυττάρου και όχι ολόκληρο το νέφος, το οποίο θα βρίσκεται πιθανώς υψηλότερα. Αντίστοιχα, βάση νέφους θεωρείται το κατώτερο ύψος που βρίσκεται κάποιο κύτταρο μέσα στην ατμόσφαιρα, το οποίο σε κάθε περίπτωση είναι σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους.

Σε όλο το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα, το μέσο ύψος των κυττάρων είναι 5,4 χιλιόμετρα, ενώ το μέσο μέγιστο ύψος είναι 6,4 χιλιόμετρα. Αξίζει να αναφερθεί ότι το μέγιστο ύψος που έχει ανιχνευτεί από το μετεωρολογικό ραντάρ είναι 12,6 χιλιόμετρα. Η μέση τιμή της βάσης των κυττάρων είναι 1,57 χιλιόμετρα, ενώ η μέση μέγιστη τιμή είναι 1,73 χιλιόμετρα.

Σύμφωνα με την μηνιαία κατανομή του ύψους και της βάσης των κυττάρων (σχήμα 4.19), το μέσο και το μέσο μέγιστο ύψος παρουσιάζουν αύξηση κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου με μέγιστες τιμές το μήνα Ιούλιο. Εξαιτίας της θέρμανσης της ατμόσφαιρας, ο αέρας διαστέλλεται και αρχίζει να ανεβαίνει προς τα πάνω, ωθώντας πιθανώς και τα νέφη σε υψηλότερα επίπεδα.

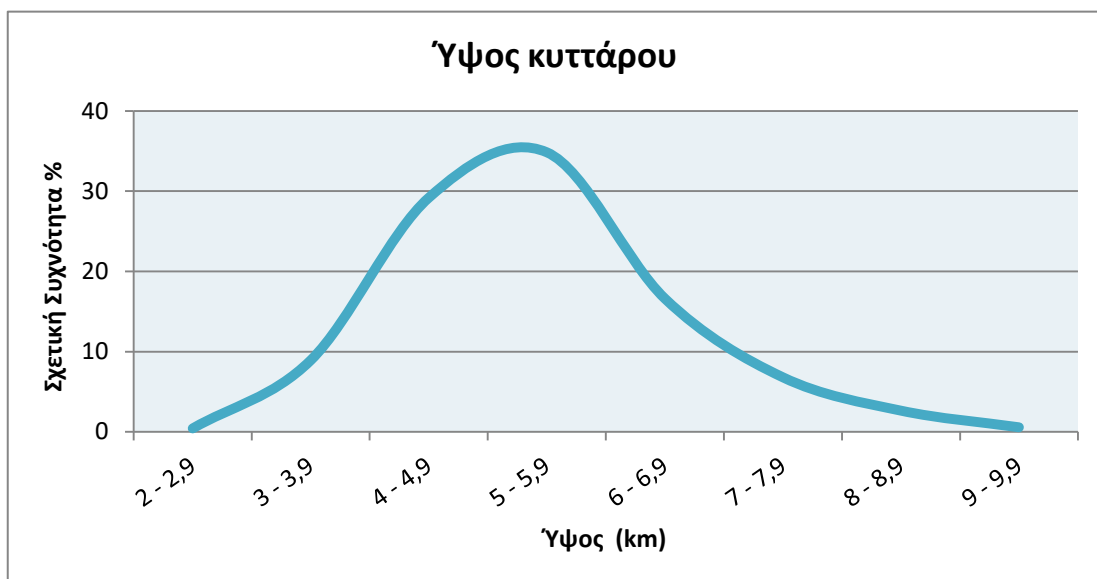
Αντίθετα, οι βάσεις των νεφών δεν παρουσιάζουν κάποια διακύμανση κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, ακολουθώντας μια ομαλή κατανομή. Επίσης, οι διαφορές των μέσων και των μέσων μέγιστων τιμών, δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.



Σχήμα 4.19: Μηνιαία κατανομή του ύψους και της βάσης του κυττάρου.

(Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι τιμές για το ύψος και με μπλε χρώμα οι τιμές για τη βάση).

Όσον αφορά τις σχετικές συχνότητες (σχήμα 4.20), τα περισσότερα κύτταρα (64%) έχουν μέση τιμή ύψους 4 έως 6 χιλιόμετρα. Για τιμές μεγαλύτερες των 6 χιλιομέτρων ή μικρότερες των 4, οι σχετικές συχνότητες είναι μικρότερες, ακολουθώντας εκθετική μείωση αντίστοιχα.



Σχήμα 4.20: Σχετικές συχνότητες της μέσης τιμής του ύψους του κυττάρου.

(Οι μέσες τιμές της βάσης των κυττάρων δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οπότε δεν κρίνεται σκόπιμο να μελετηθούν οι σχετικές συχνότητές τους)

4.4.6 Διανυόμενη έκταση

Διανυόμενη έκταση (swath area) είναι η συνολική επιφάνεια που διανύει ένα κύτταρο καταϊγίδας από τη στιγμή της πρώτης ανίχνευσης του μέχρι τη στιγμή που θα σταματήσει να θεωρείται έγκυρο. Η διανυόμενη έκταση καταγράφει όλη την επιφάνεια που διένυσε ένα κύτταρο καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του, σε αντίθεση με την επιφάνεια του κυττάρου ή την επιφάνεια υετού, τα οποία καταγράφουν επιφάνειες για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Γι αυτό το λόγο, η διανυόμενη έκταση εξαρτάται από τη διάρκεια ζωής του κυττάρου, την ταχύτητα κίνησής του και την προβολή του όγκου του στο έδαφος.

Η μέση διανυόμενη έκταση κατά το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα υπολογίστηκε στα 146,3 km². Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι η μεγαλύτερη έκταση που έχει διανύσει κύτταρο καταϊγίδας είναι 6.314 km², τον Σεπτέμβριο του 2018, ενώ η ελάχιστη έκταση που έχει καταγράψει το ραντάρ είναι 18 km². Η μηνιαία κατανομή της διανυόμενης έκτασης (Σχήμα 4.21) παρουσιάζει σημαντική διακύμανση κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου. Από μια μέση τιμή στην αρχή της θερινής περιόδου, στο μέσο αυτής της περιόδου οι τιμές ελαχιστοποιούνται. Ωστόσο, προς το τέλος της θερινής περιόδου και ιδιαίτερα τον μήνα Σεπτέμβριο, οι τιμές της διανυόμενης έκτασης παρουσιάζουν σημαντική αύξηση.



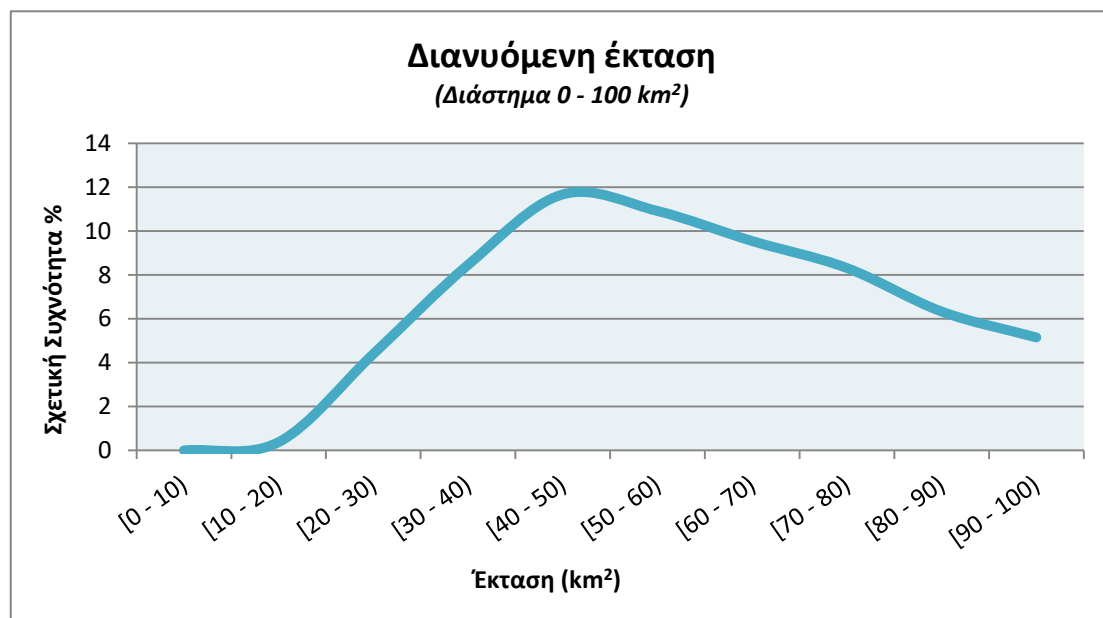
Σχήμα 4.21: Μηνιαία κατανομή μέσης τιμής της διανυόμενης έκτασης.

Η συντριπτική πλειοψηφία των κυττάρων (86%) (Σχήμα 4.22) έχουν τιμές διανυόμενης έκτασης από 18 έως 200 km². Τα περισσότερα κύτταρα (65%), όμως, είναι μεταξύ 18 – 100 km². Στη συνέχεια οι τιμές παρουσιάζουν εκθετική μείωση, ενώ ελάχιστα είναι τα κύτταρα μεγαλύτερα από 600 km².



Σχήμα 4.22: Σχετικές συχνότητες της μέσης τιμής της διανυόμενης έκτασης.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το 65% των κυττάρων έχουν τιμή μεταξύ 18 – 100 km². Για την καλύτερη απεικόνιση, δίνονται οι σχετικές συχνότητες για το συγκεκριμένο διάστημα (Σχήμα 4.23). Οι τιμές παρουσιάζουν σχεδόν γραμμική αύξηση και μείωση, με μέγιστες τιμές στο διάστημα 40 – 50 km².



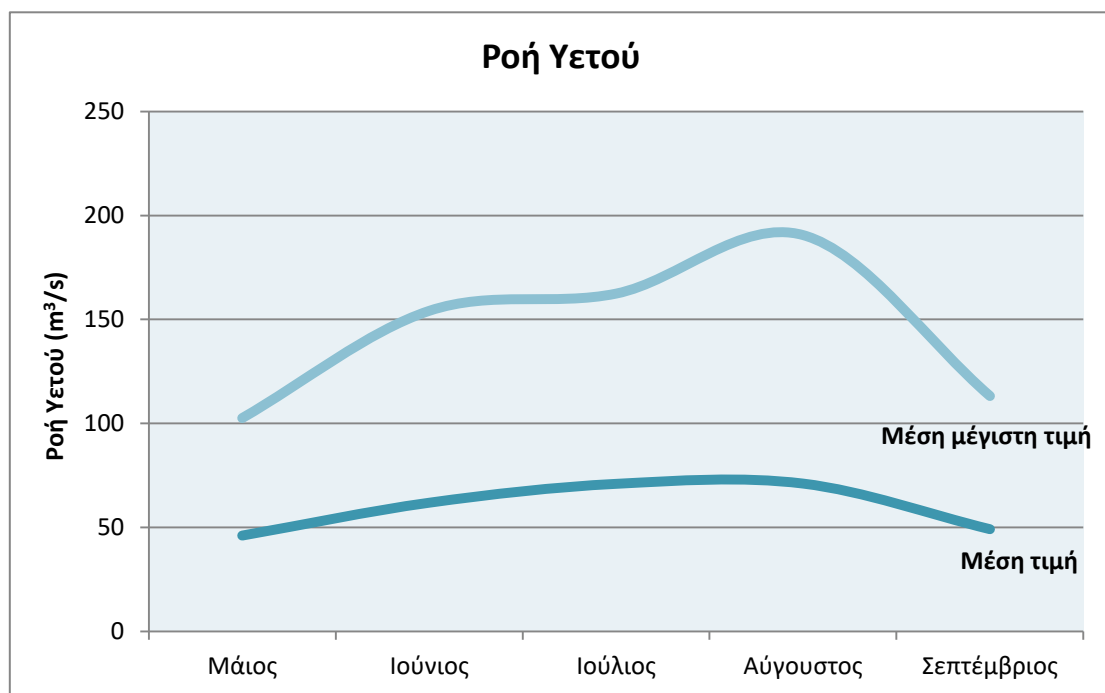
Σχήμα 4.23: Σχετικές συχνότητες της μέσης διανυόμενης έκτασης για το διάστημα 0 – 100 km².

4.5 Ανάλυση δυναμικών χαρακτηριστικών των κυττάρων καταιγίδας

4.5.1 Ροή υετού

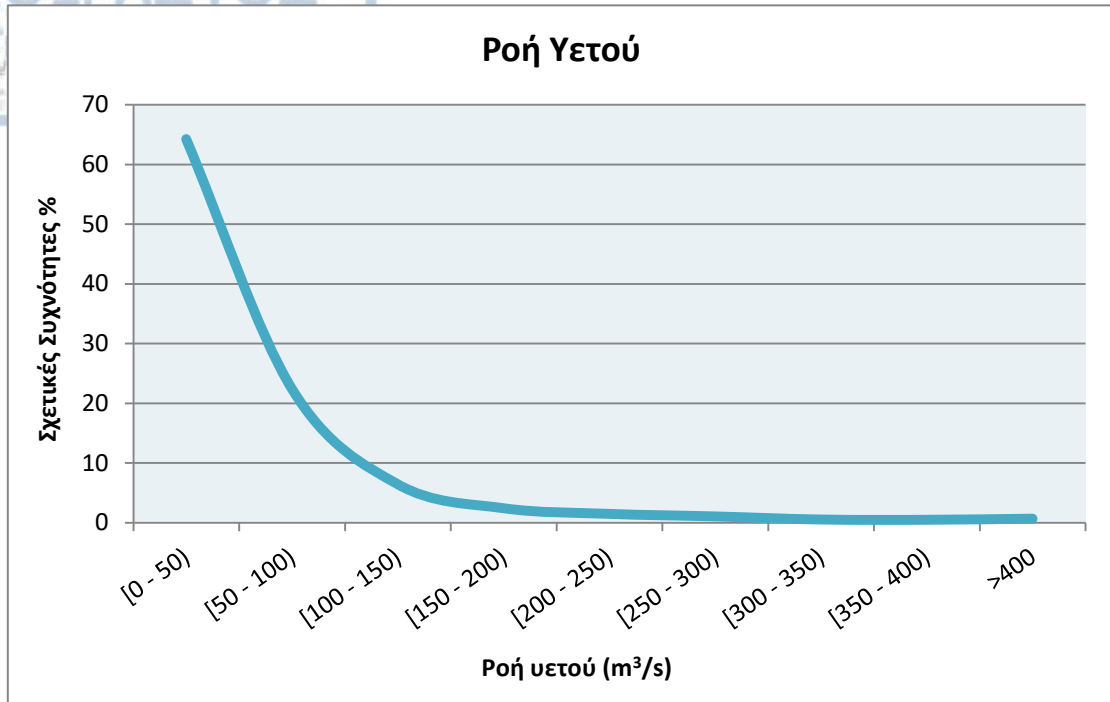
Η ροή υετού (Pflux) είναι το ολοκλήρωμα του ρυθμού υετού στο σύνολο του κυττάρου. Δίνεται από τη σχέση $Pflux = \int R d(A)$, όπου R ο ρυθμός υετού σε mm/hr και A η περιοχή υετού του κυττάρου σε km^2 , και μετριέται σε m^3/s .

Η μέση τιμή της ροής υετού σε όλο το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα υπολογίστηκε σε $59,6 m^3/s$, ενώ η μέση μέγιστη τιμή σε $143,5 m^3/s$. Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου (σχήμα 4.24), η μέση τιμή της ροής υετού παρουσιάζει σταθερή κατανομή, με μια μικρή αύξηση στο μέσο της περιόδου. Αντίθετα, η μέση μέγιστη τιμή έχει περισσότερες διαφορές μεταξύ των μηνών. Παρατηρείται μια απότομη αύξηση τον Ιούνιο και στη συνέχεια μια ακόμη μεγαλύτερη αύξηση τον Αύγουστο. Στο τέλος της θερινής περιόδου, οι μέσες μέγιστες τιμές επιστρέφουν στα αρχικά επίπεδα.



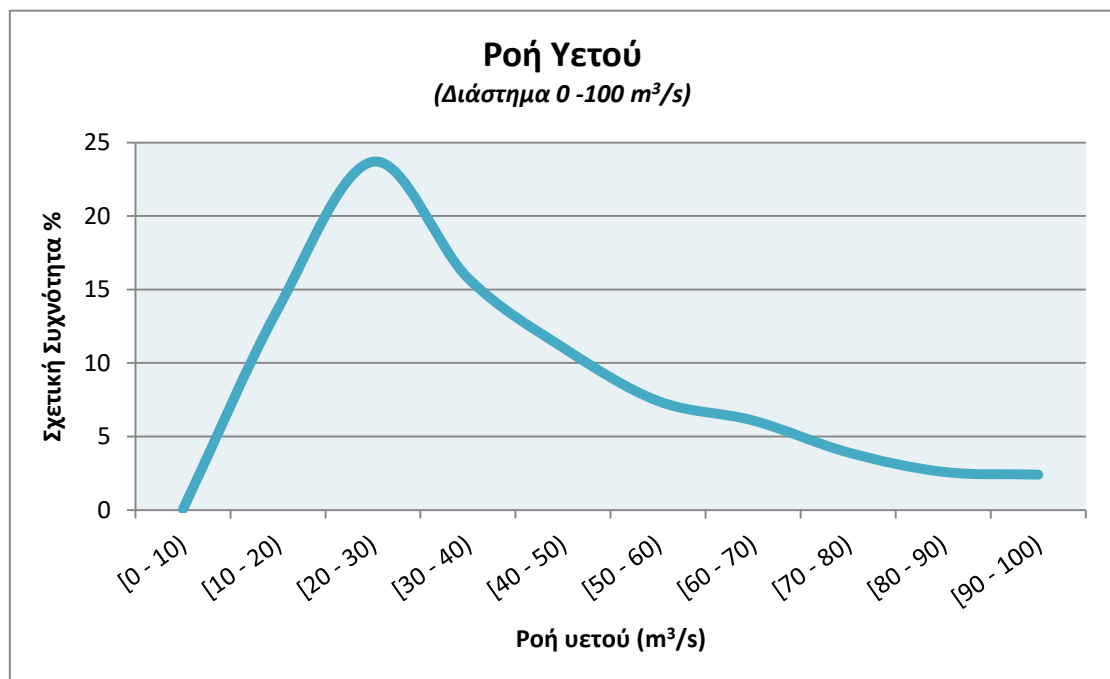
Σχήμα 4.24: Μηνιαία κατανομή της ροής υετού.

Οι σχετικές συχνότητες της μέσης τιμής της ροής υετού (σχήμα 4.25) παρουσιάζουν μια τυπική εκθετική μείωση όσο αυξάνεται το μέτρο της ροής (αντίστοιχη μείωση με τα προηγούμενα μεγέθη, όγκος, μάζα κτλ). Το 86% των κυττάρων έχει μέτρο ροής υετού από $9,4$ (η χαμηλότερη τιμή που καταγράφηκε) έως $100 m^3/s$. Το 8 % των κυττάρων έχει τιμή ροής $100 - 200 m^3/s$, ενώ το 2,5% έχει τιμή $200 - 300 m^3/s$. Τα κύτταρα με τιμές μεγαλύτερες των $300 m^3/s$ είναι ελάχιστα (<1%).



Σχήμα 4.25: Σχετικές συχνότητες της μέσης τιμής της ροής υετού.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το 86% των κυττάρων έχει μέση τιμή ροής υετού έως $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Για την καλύτερη απεικόνιση της σχετικής συχνότητας παρουσιάζεται το διάγραμμα (σχήμα 4.26) για τιμές από $0 - 100 \text{ m}^3/\text{s}$. Τα περισσότερα κύτταρα (24%) έχουν μέση τιμή ροής $20 - 30 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ παρατηρείται μια σχεδόν γραμμική ελάττωση της συχνότητας όσο αυξάνεται το μέτρο της ροής.



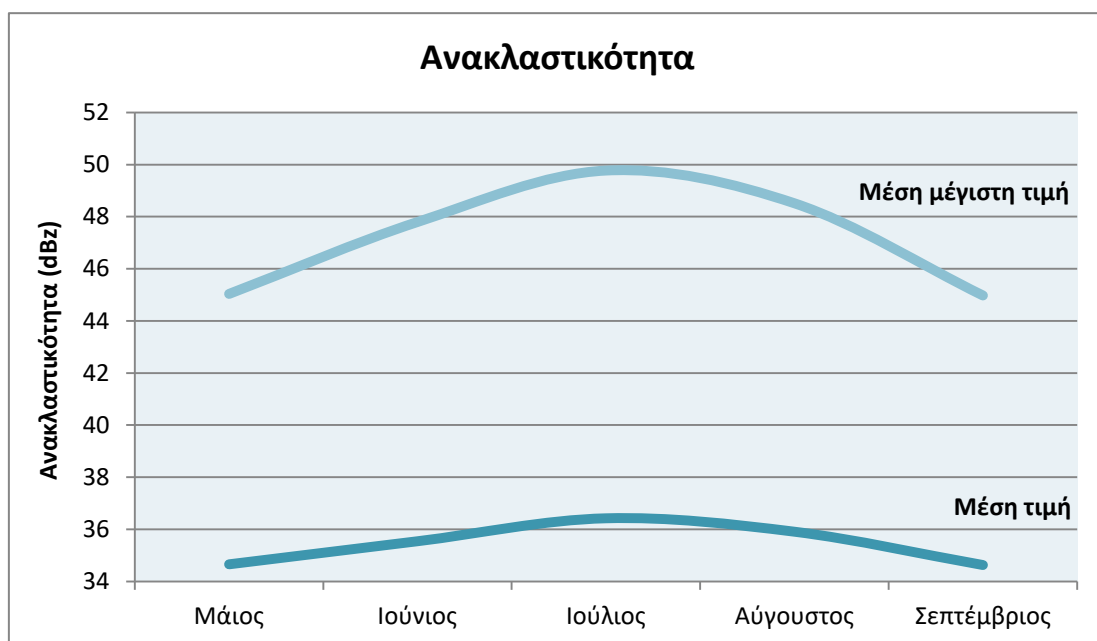
Σχήμα 4.26: Σχετικές συχνότητες της μέσης τιμής της ροής υετού για το διάστημα $0 - 100 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.5.2 Ανακλαστικότητα

Η ανακλαστικότητα είναι ένα από τα πιο βασικά μεγέθη για την μελέτη των κυττάρων καταιγίδας. Σχετίζεται με το ποσό, το είδος και το μέγεθος των σωματιδίων που υπάρχουν μέσα στο νέφος. Όσο περισσότερα σωματίδια μέσα στο νέφος, τόσο περισσότερη ακτινοβολία ανακλάται πίσω στο ραντάρ και άρα το κύτταρο έχει μεγαλύτερη δυναμικότητα. Η ανακλαστικότητα δηλαδή, αποτελεί ένα μέτρο της έντασης του κυττάρου. Επιπλέον, αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο ώστε να χαρακτηριστεί ένα κύτταρο καταιγίδας έγκυρο, αφού ορίζεται μια ελάχιστη τιμή (τιμή κατωφλίου) μεταξύ 30 – 40 dBz, όπου κάτω από αυτήν την τιμή ένα κύτταρο δεν αναγνωρίζεται από το σύστημα TITAN και δεν θεωρείται έγκυρο.

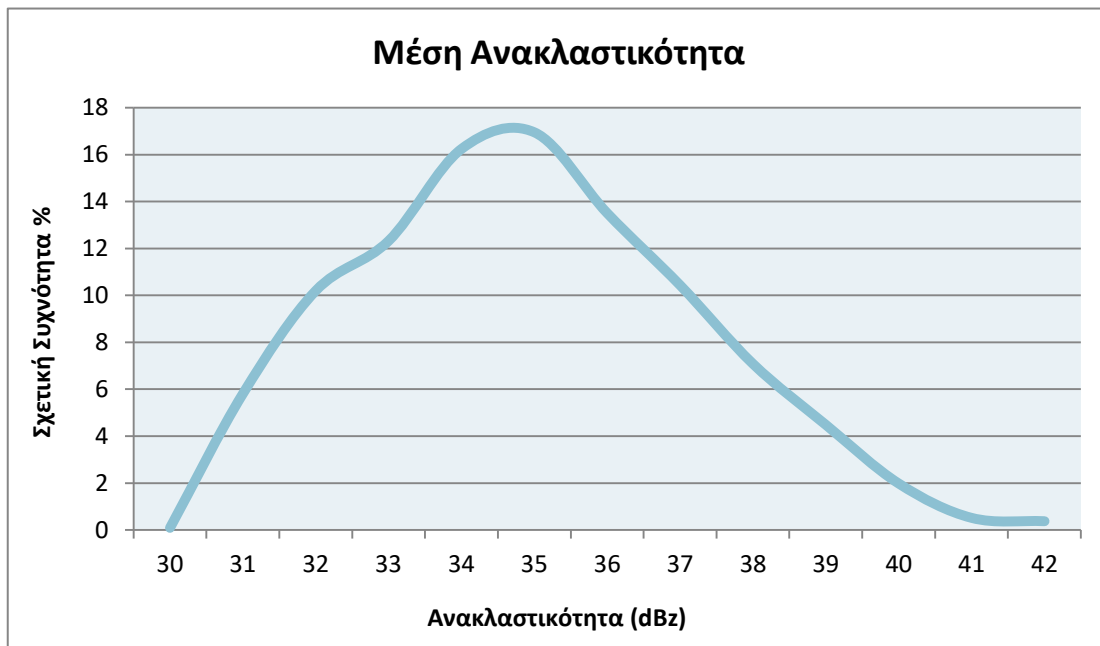
Στο εξεταζόμενο χρονικό διάστημα 2016 – 2020, η κατώτερη τιμή ανακλαστικότητας είναι 30 dBz, δηλαδή δεν υπάρχουν κύτταρα με τιμές ανακλαστικότητας κάτω από 30 dBz. Από το μετεωρολογικό ραντάρ έχουν προσδιοριστεί οι μέσες και οι μέγιστες τιμές ανακλαστικότητας των κυττάρων, ανεξάρτητα από το ύψος ή την χρονική στιγμή που παρατηρείται κάποιο κύτταρο.

Η μέση τιμή ανακλαστικότητας έχει υπολογιστεί στα 35,4dBz, ενώ η μέση μέγιστη τιμή στα 47,3 dBz. Η μεγαλύτερη τιμή ανακλαστικότητας που έχει προσδιοριστεί είναι 65,5 dBz τον Αύγουστο του 2016. Σύμφωνα με την μηνιαία κατανομή (σχήμα 4.27), οι τιμές της μέσης και της μέγιστης ανακλαστικότητας παρουσιάζουν μια αύξηση στο μέσο της θερινής περιόδου. Οι μέγιστες τιμές παρουσιάζουν μεγαλύτερη αύξηση συγκριτικά με τις μέσες τιμές. Επομένως, παρόλο που μειώνονται αριθμητικά τα κύτταρα προς το μέσο της θερινής περιόδου, αυτά παρουσιάζουν μεγαλύτερη δυναμικότητα την περίοδο αυτή.



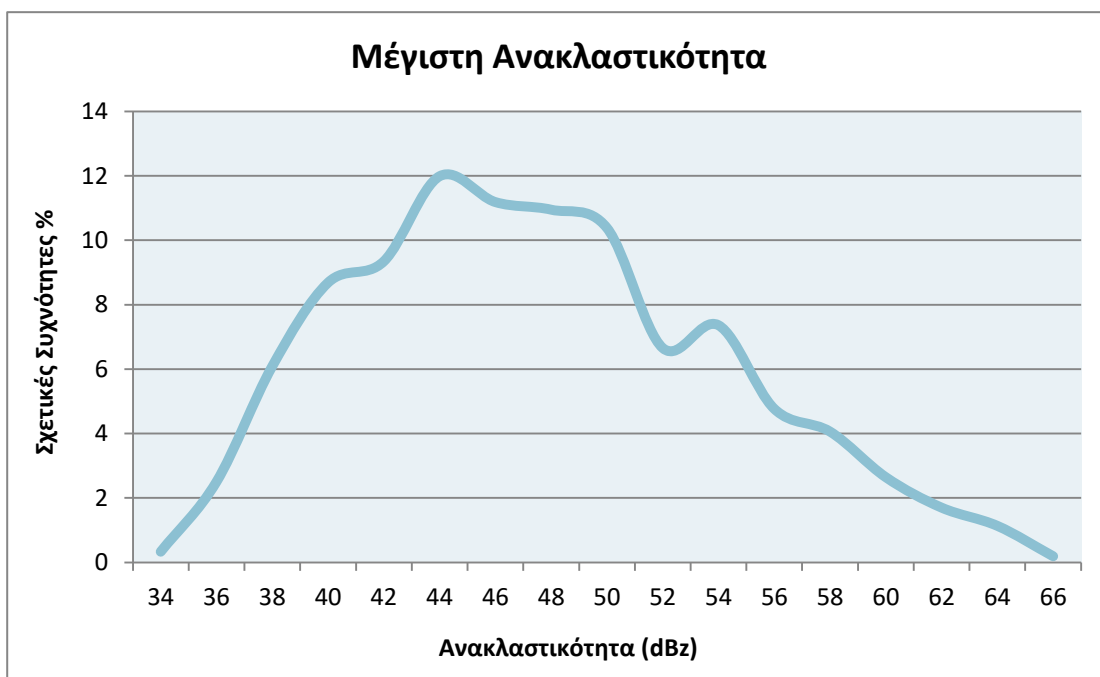
Σχήμα 4.27: Μηνιαία κατανομή της μέσης και μέγιστης τιμής ανακλαστικότητας.

Όσον αφορά τις σχετικές συχνότητες της μέσης ανακλαστικότητας (σχήμα 4.28), αυτές παρουσιάζουν μέγιστο στα 35 dBz (17%). Στη συνέχεια παρουσιάζουν σχεδόν γραμμική μείωση έως τα 42dBz.



Σχήμα 4.28: Σχετικές συχνότητες της μέσης ανακλαστικότητας.

Τέλος, οι σχετικές συχνότητες της μέγιστης ανακλαστικότητας (σχήμα 4.29), παρουσιάζουν περισσότερη ανομοιογένεια. Η κατανομή έχει μέγιστο στα 44 dBz, ωστόσο οι τιμές της σχετικής συχνότητας δεν παρουσιάζουν ομαλή μείωση όσο αυξάνεται η τιμή της ανακλαστικότητας.



Σχήμα 4.29: Σχετικές συχνότητες της μέγιστης ανακλαστικότητας.

5.1 Σύνοψη

Στο παρόν κεφάλαιο μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά των κυττάρων ανά κατηγορία (χρονικά – κινηματικά - χωρικά – δυναμικά). Τα κύτταρα καταιγίδας ανιχνεύθηκαν από το μετεωρολογικό ραντάρ και αφού αναγνωρίστηκαν ως έγκυρα από το σύστημα TITAN, διαχωρίστηκαν σε απλά και σύνθετα. Έτσι κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου 2016 – 2020 στην περιοχή μελέτης (Σερρών – Δράμας) ανιχνεύθηκαν 3.128 κύτταρα καταιγίδας, εκ των οποίων τα 2.118 είναι απλά και τα 1.010 σύνθετα. Επειδή τα σύνθετα κύτταρα είναι περισσότερο πολύπλοκα και εμφανίζουν διαφοροποιημένα χαρακτηριστικά, η μελέτη των χαρακτηριστικών επικεντρώθηκε μόνο στα απλά κύτταρα. Η μελέτη εστιάστηκε στη μηνιαία κατανομή και στις σχετικές συχνότητες (ανά μέγεθος) που εμφανίζουν τα απλά κύτταρα.

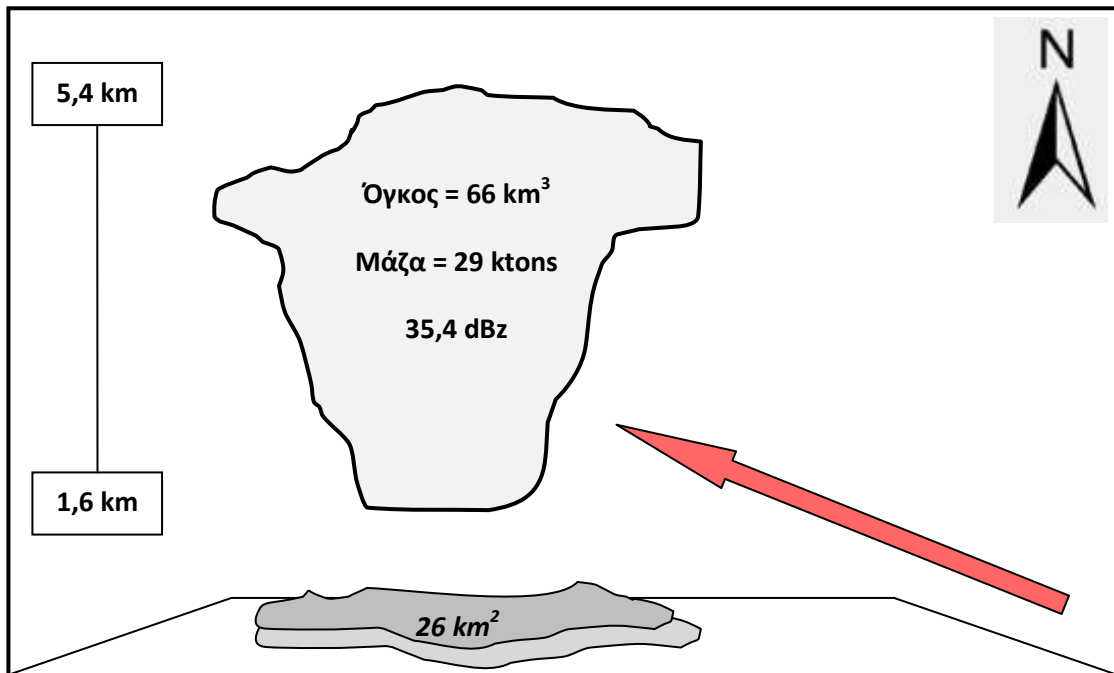
5.2 Επιμέρους συμπεράσματα

Ανάλογα με τον μήνα εμφάνισης

- Τα περισσότερα κύτταρα εντοπίζονται τον μήνα Ιούνιο (αρχή θερινής περιόδου) ενώ σταδιακά μειώνονται προς το τέλος του καλοκαιριού.
- Η ώρα όπου εμφανίζονται (ανιχνεύονται για πρώτη φορά) τα κύτταρα είναι τις μεσημβρινές ώρες μεταξύ 11.00 – 15.00 UTC (14.00 – 18.00 ώρα Ελλάδας).
- Η μέση διάρκεια των κυττάρων είναι από ~36 έως ~48 λεπτά ενώ οι μεγαλύτερες διάρκειες εντοπίζονται τον μήνα Αύγουστο. Ωστόσο μεγαλύτερη συχνότητα έχουν μικρότερης διάρκειας κύτταρα (18 – 30 λεπτά).
- Οι μέσες ταχύτητες των κυττάρων έχουν μέγιστες τιμές στην αρχή και στο τέλος της θερινής περιόδου με ελάχιστες τιμές τον μήνα Ιούλιο. Τα περισσότερα κύτταρα έχουν μέσες ταχύτητες από 5 έως 15 km/hr.
- Τα κύτταρα κινούνται κυρίως από ΝΑ προς ΒΔ διεύθυνση, ακολουθώντας πιθανώς τη παράταξη των λεκανών Σερρών και Δράμας.
- Ο όγκος, η μάζα και η ροή υετού των κυττάρων έχουν απλή κύμανση κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου. Οι μέγιστες τιμές όμως, έχουν μεγαλύτερη διακύμανση, με μέγιστες τιμές τον μήνα Αύγουστο.
- Η επιφάνεια του κυττάρου και η επιφάνεια υετού των κυττάρων δεν έχουν μεγάλη διαφορά μεταξύ τους. Οι διαφορές τους κυμαίνονται στην τάξη του ενός δεκαδικού. Η μηνιαία κατανομή παρουσιάζει απλή κύμανση, ωστόσο οι μέσες μέγιστες τιμές έχουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις με μέγιστα τον Αύγουστο.

- Το μέσο ύψος των κυττάρων κυμαίνεται από 4 έως 6 χιλιόμετρα, με αύξηση του ύψους στο μέσο της θερινής περιόδου και στη συνέχεια ελάττωση στα αρχικά επίπεδα. Οι βάσεις των κυττάρων δεν παρουσιάζουν διακύμανση κατά τη διάρκεια της περιόδου.
- Τα κύτταρα διανύουν μικρότερες εκτάσεις προς το μέσο της θερινής περιόδου, με μικρότερες τιμές τον Ιούλιο, ωστόσο προς το τέλος της περιόδου, οι τιμές της διανυόμενης έκτασης αυξάνονται απότομα.
- Η ανακλαστικότητα, που είναι ανάλογη της έντασης του κυττάρου, έχει μέγιστες τιμές τον μήνα Ιούλιο. Ομοίως, οι μέγιστες τιμές ανακλαστικότητας παρατηρούνται τον Ιούλιο, αλλά με μεγαλύτερη διακύμανση από τους υπόλοιπους μήνες.

Συμπερασματικά, αν θέλουμε να προσδιορίσουμε ένα μέσο κύτταρο καταιγίδας για όλο το εξεταζόμενο διάστημα, αυτό έχει περισσότερες πιθανότητες να εμφανιστεί το μήνα **Ιούλιο**, μεταξύ **14:00 – 18:00** (ώρα Ελλάδος). Η διάρκεια ζωής του θα είναι περίπου **40 λεπτά** και η ταχύτητα κίνησης του θα είναι **12,6 km/hr**. Η διεύθυνση κίνησής του θα είναι από **ΝΔ προς ΒΔ**. Ο όγκος του κυττάρου θα είναι περίπου **66 km³** και η μάζα **29 ktons**. Η επιφάνεια του κυττάρου πάνω στο έδαφος θα είναι **26 km²**, ίδια με την επιφάνεια υετού. Το κύτταρο θα ξεκινάει από τα **1,6 χιλιόμετρα**, θα φτάνει σε ύψος τα **5,4 χιλιόμετρα** και θα διανύει περίπου **146 km² έκταση**. Η ροή υετού θα είναι στα **60 m³/s** και η ανακλαστικότητα θα είναι περίπου **35,4 dBz** (σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1: Σχηματική απεικόνιση ενός μέσου κυττάρου καταιγίδας.



Cotton, W. R., and R. A. Anthes, 1989: Storm and Cloud Dynamics. Academic Press, Inc., San Diego, CA, 880pp.

Dixon, M. J., and G. Wiener, 1993: TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting: A Radar-based Methodology. J. Atmos. And Oceanic Technol., 10, 6, 785-797.

Meteoworld, 2015: Meteorological Radar at the World Radiocommunication Conference.

Roberts R.D., and S. Rutledge, 2003: Nowcasting storm Initiation and Growth using GOES-8 and WSR-88D data. Wea. Forecasting, 18, Issue 4, 562-584.

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σπυρίδης Α. – Κουταλού Β. Ο.Ε. – «ΥΕΤΟΣ», Περγλέρος Β., Λιόνης Μ., Λεβογιάννης Μ.: Έλεγχος χημικής ποιότητας αρδευτικών υδάτων (επιφανειακών και υπόγειων) σε κλίμακα λεκανών απορροής ποταμών Μακεδονίας – Θράκης και Θεσσαλίας: Αποτελέσματα λεκάνης Στρυμόνα: Αποτελέσματα λεκάνης Αγγίτη Δράμας: Υδρογεωλογικές εργασίες.

Βαβλιάκης Ε., 1981: Μελέτη των επιφανειών διάβρωσης, καρστικών, παγετώδων μορφών του όρους Μενοικίου (στην Α. Μακεδονία) από γεωμορφολογικής και μορφογενετικής πλευράς., Διδακτορική Διατριβή, σ.1-192.

ΓΕΑ – ΕΜΥ – Μετεωρολογικός Σταθμός Σερρών – 606: Μηνιαία στατιστικά.

Λιναρδάτου Γ. και Λιναρδάτου Δ., 2016: Ραντάρ: Εκπαιδευτικό Κείμενο Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού.

Μακρογιάννης Τ.Ι. – Σαχσαμανόγλου Χ.Σ. , 2004: Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας, 414pp.

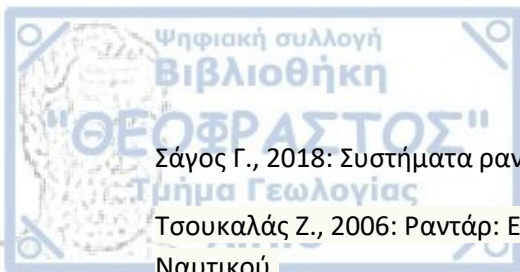
Μπαλαφούτης Χ., 1977: Συμβολή εις την μελέτη του κλίματος της Μακεδονίας και Δυτικής Θράκης., Διδακτορική Διατριβή, σ.1-110.

Μπαμπζέλης Δ. , 2013: Διερεύνηση συνθηκών εφαρμογής προγραμμάτων αύξησης βροχής: Εφαρμογή στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλίας., Διδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μουντράκης Δ., 2010: Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδα, 373pp.

Πανταζίδης Γ., 2014: Τεύχος τεχνικών δεδομένων: Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο (Γ.Π.Σ.) Δήμου Δράμας.

Παπαφίλιππου – Πέννου Ε., 2004: Δυναμική εξέλιξη και σύγχρονες εξωγενείς διεργασίες του υδρογραφικού συστήματος της ταφρολεκάνης Σερρών., Διδακτορική διατριβή, σ.1-238.



Σάγος Γ., 2018: Συστήματα ραντάρ και ηλεκτρονικού πολέμου.

Τσουκαλάς Ζ., 2006: Ραντάρ: Εκπαιδευτικό κείμενο Ανώτερων Δημόσιων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού.

Ιστοσελίδες

[1] www.windows2universe.org

[2] www.3dsa.gr

[3] www.stravon.gr

[4] el.wikipedia.org



Η ανάγκη για τη μελέτη και την παρακολούθηση του καιρού, οδήγησε στη ανάπτυξη νέων, σύγχρονων μεθόδων ανάλυσης και ποσοτικοποίησης των χαρακτηριστικών των κατακρημνισμάτων. Ένα σύγχρονο μέσο παρακολούθησης είναι το μετεωρολογικό ραντάρ, ένα επίγειο όργανο τηλεπισκόπησης, το οποίο ανιχνεύει κύτταρα καταιγίδας, δηλαδή νεφελώματα που μπορεί να δώσουν ένα ικανοποιητικό ποσό βροχόπτωσης. Έπειτα, το ραντάρ, διαμέσου ενός αλγορίθμου, ποσοτικοποιεί τα χαρακτηριστικά αυτών των κυττάρων, δηλαδή καταγράφει την ταχύτητα, τη διεύθυνση, τη διάρκεια ζωής, την ανακλαστικότητα, καθώς και χωρικά χαρακτηριστικά όπως η μάζα, ο όγκος, η επιφάνεια υετού, το ύψος και η βάση των κυττάρων. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται μελέτη των χαρακτηριστικών των κυττάρων για την θερινή περίοδο 2016 – 2020 (περίοδος λειτουργίας του μετεωρολογικού ραντάρ στο Φίλυρο Θεσσαλονίκης) για περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας και συγκεκριμένα για την λεκάνη Σερρών και Δράμας και τους γύρω ορεινούς όγκους. Σε πρώτο στάδιο αναφέρονται τα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των κυττάρων με βάση συγκεκριμένων κριτηρίων ανίχνευσης και στη συνέχεια, αναλύονται τα χαρακτηριστικά αυτά με βάση την μηνιαία τους κατανομή και τη σχετική τους συχνότητα. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι τα δυναμικά χαρακτηριστικά των κυττάρων καταιγίδας όπως ανακλαστικότητα και ύψος κορυφής που εμφανίζονται στην περιοχή παρατηρούνται κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο ενώ ο μέγιστος αριθμός κυττάρων τον Ιούνιο. Τα κύτταρα εμφανίζονται κυρίως τις απογευματινές ώρες και η μέση διάρκειά τους δεν ξεπερνά τα 40 λεπτά.

Abstract

The need of studying and monitoring weather issues, developed new, modern methods to analyze and quantify precipitation characteristics. Weather radar is one of those new monitor equipment. Weather radar is ground equipment that detects storm cells. Storm cells are nebulae that can produce a significant amount of precipitation. The radar then, through an algorithm, quantifies the characteristics of these cells and writes down their speed, direction, duration, reflectivity and spatial characteristics, such as mass, volume, precipitation area, top and base of cells. In this bachelor thesis, a study is made to determine characteristics of the cells for the period May – September, between 2016 – 2020, in the study area of Serres – Drama, specifically for the Serres and Drama basins and the surrounding mountains. During that period the weather radar in Filiro, Thessaloniki is fully operational. In the first stage, the characteristics of the study area are mentioned, and the characteristics of the cells are described based on specific detection criteria and then, in the next stage, these characteristics are analyzed based on their monthly distribution and relative frequency. Results indicate that cell dynamical characteristics such as reflectivity and cloud top are observed during July and August while the maximum number of cells is observed in June. Cells tend to develop during the afternoon hours while their average duration does not exceed 40 minutes.