

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εκτίμηση Έντασης Βροχόπτωσης με Χρήση Δορυφορικών Δεδομένων και Νευρωνικών Δικτύων

Ρωμανός - Γαϊτάνου - Φωσκίνης

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: Κωνσταντίνος Καρτάλης, Καθηγητής

Ευθύμιος Λέκκας, Καθηγητής

Κωνσταντίνος Λαγουβάρδος, Διευθυντής Ερευνών

AOHNA

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2019

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εκτίμηση Έντασης Βροχόπτωσης με Χρήση Δορυφορικών Δεδομένων και Νευρωνικών Δικτύων

> **Ρωμανός Γ. Φωσκίνης Α.Μ.:** 201759

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ: Κωνσταντίνος Καρτάλης, Καθηγητής Ευθύμιος Λέκκας, Καθηγητής Κωνσταντίνος Λαγουβάρδος, Διευθυντής Ερευνών

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα εκτίμησης της έντασης της βροχόπτωσης ανά περιοχή, με χρήση νευρωνικών δικτύων τα οποία χρησιμοποιούν δορυφορικά δεδομένα σε real-time εξέλιξη.

Η χρησιμότητα της ποικίλει, καθώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επιχειρησιακή βάση εξάγοντας ποιοτικά το εν δυνάμει μέγεθος της έντασης βροχόπτωσης για πρόληψη και πληροφόρηση πλημμυρικών επεισοδίων, είτε μπορεί να δώσει σε επόμενη φάση δεδομένα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως παράμετροι εκκίνησης των nowcast μοντέλων σε ισχυρής έντασης φαινόμενα, βελτιώνοντας την ακρίβεια των μοντέλων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία επικεντρώνεται στα καταιγιδοφόρα συστήματα μέσης κλίμακας, εξετάζοντας την δυνατότητα σύνδεσης των οπτικών ιδιοτήτων των νεφών με τις επίγειες καταγραφές των βροχομετρικών σταθμών, αναπτύσσοντας νευρωνικά δίκτυα βασισμένα στις δορυφορικές αλλά και επίγειες καταγραφές παρελθόντων βροχοφόρων επεισοδίων. Μέρος της εργασίας εστιάζει στον τρόπο επιλογής της βέλτιστης αρχιτεκτονικής εξετάζοντας τους συνδυασμούς που θα χρησιμοποιηθούν στις εισόδους των νευρωνικών διατηρώντας το φυσικό περιεχόμενο τους δίνοντας το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Η εργασία ολοκληρώνεται δοκιμάζοντας τα ήδη ανεπτυγμένα νευρωνικά σε τρία νέα επεισόδια στα οποία εκτιμάται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων σε σχέση με τις επίγειες καταγραφές.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ.Καρτάλη αλλά και ολόκληρη την τριμελή επιτροπή που μου έδωσαν την δυνατότητα να πραγματοποιήσω αυτήν την εργασία. Θερμές ευχαριστίες επίσης στα άτομα που με βοήθησαν ανά διαστήματα όπως την Θάλεια Μαυράκου, τον κ. Στρατή Βουγιούκα από το Αστεροσκοπείο Αθηνών, την κ. Σταυρούλα Καρατάσου, τους φίλους και συναδέλφους Δημήτρη Κοσμίδη και Κωσταντίνο Γρανάκη, αλλά και την οικογένεια μου που με στηρίζει σε όλη μου την σταδιοδρομία.

Η παρούσα εργασία αφιερώνεται στον πατέρα μου Γαϊτάνο και την μητέρα μου Μαρία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣ	ΑΓΩΓΗ	
1.1	Ορι	σμός των Μέσης Κλίμακας Νεφικών Συστημάτων Κατακόρυφης Ανάπτυξης	11
1.2	Γενι	κά Χαρακτηριστικά των Συστημάτων	11
1.3	Προ	ϋποθέσεις Ανάπτυξης	11
1.4	Μορ	οφή των MCS Συστημάτων	
1.5	Ηφ	υσική της καταιγίδας	
1.6	Στά	δια Εξέλιξης ενός Κυττάρου	13
1.	.6.1	Στάδιο ανάπτυξης	
1.	.6.2	Στάδιο ωρίμανσης	
1.	.6.3	Στάδιο διάλυσης	
1.7	Πολ	υκύτταρη καταιγίδα	15
1.8	Κίνη	ιση MCS	16
1.9	Βρο	χόπτωση συστήματος και είδη	
2.	ΔΕ	۵OMENA	
2.1	Μετ	εωρολογικοί Δορυφόροι	
2.	.1.1	Γενικά	
2.	.1.2	Είδη	
2.	.1.3	Αισθητήρες	
2.2	Χαρ	ακτηρισμός Νεφών στα Δορυφορικά κανάλια	22
2.	.2.1	Γενικά	
2.	.2.2	Δορυφορικά Κανάλια και Ερμηνεία Καναλιών	
2.	.2.3	Ερμηνεία εικόνων στο κανάλι του ορατού (VIS)	
2.	.2.4	Ερμηνεία εικόνων στο κανάλι του υπέρυθρου (IR)	
2.3	Μετ	εωρολογικοί Σταθμοί	33
2.	.3.1	Γενικά	
2.	.3.2	Βροχόμετρα	

3.	ME	ΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ			
3.1	Δορ	υφορικά Δεδομένα	35		
	3.1.1	Μετατροπές Count - Radiation			
3.2	Θερ	μοκρασία Λαμπρότητας	35		
3.3	Δια	φορά θερμοκρασίας λαμπρότητας			
3	3.3.1	Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας καναλιών 5-6			
3	3.3.2	Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας καναλιών 5-9			
3	3.3.3	Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας καναλιών 9-10			
3	3.3.4	Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας καναλιών 4-9			
3	3.3.5	Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας των καναλιών 8-9			
3.4	Τρό	πος λειτουργίας συνδυασμού καναλιών με RGB			
	3.4.1	Συνδυασμός Airmass RGB αερίων μαζών (5-6, 8-9, 5)			
3	3.4.2	Συνδυασμός RGB Convection (5-6, 4-9, 1-3)			
3	3.4.3	Συνδυασμός RGB Microphysical night (9-10,4-9, 9)			
4.	NE	ΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ			
4.1	Γεν	κά	42		
4.2	Δομ	ιή και λειτουργία	42		
4.3 Αρχιτεκτονική Τεχνιτών Νευρικών δικτύων		44			
4.4 Πλεονεκτήματα Τεχνιτών Νευρωνικών Δικτύων		ονεκτήματα Τεχνιτών Νευρωνικών Δικτύων	44		
5.	ME	ΞΘΟΔΟΛΟΓΙΑ			
5.1	Φυ	σικό πρόβλημα / Θεώρηση	45		
6.	TR	AINING CASES STUDIES			
6.1	Υπά	θεση	46		
δ.2 Επεισοδια					
6.3 Σταθμοί Ενδιαφέροντος4					
(5.3.1	Δορυφορική Όψη Σταθμών και αδυναμίες			
(5.3.2	Χρονικοί Περιορισμοί			

6.4	Δι	ακριτοποίηση Convective Activity	
6.5	Δc	ορυφορικά Thresholds	49
7.	T]	RAINING ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	
7.1	Εл	ιιλογή Αρχιτεκτονικής	52
7	.1.1	Correlation Analysis	53
7	.1.2	Performance δυνατών Αρχιτεκτονικών	
7.2	M	εταβλητές Εισόδων Νευρωνικών	55
7.3	Do	ownscale Εισόδων	56
7.4	Βέ	λτιστες Αρχιτεκτονικές ανά σταθμό	
7.5	Tra	aining σταθμών	
7	.5.1	Νευρωνικό Κρυονερίου	
7	.5.2	Νευρωνικό Βατερής	
7	.5.3	Νευρωνικό Ζαγοράς	61
8.	P	ERFORMANCE ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	
8.1	Ек	τίμηση Απόδοσης στον Ξενοφών (27/9-1/10/2018)	62
8	.1.1	Σταθμός Κρυονερίου	67
8	.1.2	Σταθμός Πάρνηθας	
8	.1.3	Σταθμός Βατερής	
8	.1.4	Σταθμός Ζαγοράς	
8.2	Ек	τίμηση Απόδοσης στον Δαίδαλο (23/10/2017)	73
8	.2.1	Σταθμός Ζαγοράς	
8.3	Ек	τίμηση Απόδοσης στην Ευρυδίκη (13/11/2017)	77
8	.3.1	Σταθμός Κρυονερίου	
9.	Σ	ΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ορισμός των Μέσης Κλίμακας Νεφικών Συστημάτων Κατακόρυφης Ανάπτυξης

Τα μέσης κλίμακας νεφικά συστήματα κατακόρυφης ανάπτυξης (Mesoscale Convetive System, MCS) είναι συστήματα βροχοφόρων νεφών κατακόρυφης ανάπτυξης αρκετά μεγαλύτερα από μία μεμονωμένη καταιγίδα και συχνά χαρακτηρίζονται από εκτεταμένη νέφωση στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα για εκατοντάδες χιλιόμετρα στην οριζόντια διάσταση. Τα MCS αναπτύσσονται από μεμονωμένους καταιγιδοφόρους πυρήνες που αλληλεπιδρούν και ακολούθως συνενώνονται και δημιουργούν ένα μεγάλο οργανωμένο καταιγιδοφόρο σύστημα που χαρακτηρίζεται από μεγάλη διάρκεια ζωής.

1.2 Γενικά Χαρακτηριστικά των Συστημάτων

Σε ό,τι αφορά την συνοπτική κατάσταση, σημαντικός παράγοντας εκδήλωσης αστάθειας σε ένα MCS, αποτελεί η θερμή μεταφορά αέρα και υγρασίας στα χαμηλά στρώματα της τροπόσφαιρας, η μεταφορά ξηρού αέρα στα μέσα στρώματα της τροπόσφαιρας καθώς και άνεμοι που στρέφονται καθ' ύψος και ενισχύονται σε συνδυασμό με την ύπαρξη αεροχειμάρρου ή μιας διατάραξης σε έναν αυλώνα (trough) της ανώτερης τροπόσφαιρας έχοντας ως αποτέλεσμα την θετική μεταφορά στροβιλισμού (PVA) από 500 μέχρι 300hPa. Πολύ συχνά η εμφάνιση ενός MCS συνοδεύεται με ροή θερμού και υγρού αέρα κάτω από ξηρότερο αέρα ή πάνω από ψυχρότερο αέρα (συνήθως στη θάλασσα), δηλαδή συνθήκες που δημιουργούν δυνητική αστάθεια στην περιοχή.

1.3 Προϋποθέσεις Ανάπτυξης

Τα συστήματα αυτά ευδοκιμούν όταν η ατμόσφαιρα βρίσκεται σε συγκεκριμένες καταστάσεις οι οποίες θα τροφοδοτήσουν και θα υποστηρίξουν την δυναμική τους. Βασικά χαρακτηριστικά είναι η ύπαρξη θερμής μεταφοράς στη μέση τροπόσφαιρα. Οι ανοδικές κινήσεις που συνδέονται με αυτή βοηθούν στη δημιουργία αλλά και στη συντήρηση του MCS. Τα συστήματα αυτά συνήθως δημιουργούνται στη δεξιά είσοδο ή στην αριστερή έξοδο του αεροχειμάρρου, όπου εκεί επικρατούν ανοδικές κινήσεις. Επίσης η ύπαρξη ισχυρής ροής (low –level jet) στο επίπεδο των 850 hPa που μεταφέρει θερμό και υγρό αέρα στην περιοχή ανάπτυξης του MCS, καθώς και η σύγκλιση του αέρα στην επιφάνεια συνήθως λόγω της ύπαρξη μετωπικών επιφανειών.

1.4 Μορφή των MCS Συστημάτων

Τα MCS συχνά εμφανίζονται με διάφορα σχήματα, όπως κυκλικά ή ελλειπτικά, είτε σε οργανωμένες μορφές γραμμών και τόξων, καταιγιδοφόρων νεφών. Σε ό,τι αφορά τα μεγέθη φαίνεται να έχουν εξάρτηση με το σχήμα τους, καθώς τα κυκλικά τείνουν να έχουν διαμέτρους που κυμαίνονται από 100-400 km ενώ στην περίπτωση των ελλειπτικών ο κυρίαρχος άξονας συχνά ξεπερνά τα 1000 km

1.5 Η φυσική της καταιγίδας

Ως καταιγίδα ορίζονται τα φαινόμενα μέσης κλίμακας τα οποία χαρακτηρίζονται από μικρή οριζόντια επέκταση, τάξης των μερικών δεκάδων χιλιομέτρων, με επίσης μικρή διάρκεια χρόνου, μερικών ωρών, ενώ οι ταχύτητες των ανοδικών ρευμάτων που αναπτύσσονται είναι ιδιαίτερα μεγάλες και κυμαίνονται από 10-30 m/s. Επίσης σημαντική είναι η κατακόρυφη έκταση τους καθώς οι κορυφές των καταιγιδοφόρων νεφών φθάνουν και μπορούν σε ιδιαίτερες περιπτώσεις να ξεπεράσουν την τροπόπαυση. Τα αίτια δημιουργίας ή αλλιώς εκκίνησης μίας κατακόρυφης ανάπτυξης μπορεί να επιτελέσει οποιοσδήποτε εξαναγκασμός, ο οποίος μπορεί να οφείλεται είτε σε θερμικό, είτε σε δυναμικό αίτιο. Αυτός ο εξαναγκασμός οδηγεί μία αέρια μάζα μέσα σε ένα θερμοδυναμικά ασταθές περιβάλλον, στο οποίο πυροδοτούνται διαδοχικές αντιδράσεις, όπως αδιαβατική εκτόνωση του δεδομένου όγκου, συμπύκνωση των περιεχόμενων υδρατμών και έκλυση λανθάνουσας θερμότητας στο περιβάλλον. Σε συνέχεια η εκλυόμενη ενέργεια μπορεί να ενισχύσει την αστάθεια του χώρου τροφοδοτώντας τον κύκλο δημιουργίας. Παράλληλα του κύκλου από την εκάστοτε συμπύκνωση δημιουργούνται νέφη κατακόρυφης μορφής σωρειτών (Cu), των οποίων η κατακόρυφη ανάπτυξη τελικά εξαρτάται από το πάχος του ατμοσφαιρικού στρώματος στο οποίο θα επικρατήσει η αστάθεια.

Όταν πια η ατμοσφαιρική αστάθεια έχει επεκταθεί σε μεγάλο ύψος μέσα στην ατμόσφαιρα, τότε τα νέφη μπορούν να αναπτυχθούν κατακόρυφα μέχρι την τροπόπαυση, έχοντας αναπτύξει ισχυρά ανοδικά ρεύματα (deep convection) και συλλέξει μεγάλες ποσότητες νερού και πάγου. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται σωρειτομελανίες (Cb) οι οποίοι προκαλούν τις καταιγίδες. Σε μετέπειτα φάση, όταν η αέρια μάζα συναντήσει ένα ευσταθές ατμοσφαιρικό στρώμα κατά την κατακόρυφη κίνησή της (π.χ. αναστροφή θερμοκρασίας), τότε σταματάει η κατακόρυφη ανάπτυξη του νέφους, η κορυφή του οποίου αποκτά οριζόντια εξάπλωση, ακριβώς στη βάση της αναστροφής, με αποτέλεσμα τη δημιουργία στρωματοσωρειτών (Sc). Χαρακτηριστικό των σωρειτών είναι ο εμπρόσθιος άκμονας ο οποίος είναι αποτέλεσμα της ευστάθειας της ατμόσφαιρας πάνω από την κορυφή του νέφους, σε συνδυασμό με την οριζόντια κίνηση του ανέμου.

Εξετάζοντας την σύσταση του νέφους καθ' ύψος, στα χαμηλά στρώματα περιέχει υδροσταγονίδια, σε ενδιάμεσα ύψη παρατηρείται συνύπαρξη υδροσταγονιδίων και παγοκρυστάλλων, ενώ στα ανώτερα στρώματα περιέχονται αποκλειστικά οι παγοκρύσταλλοι, των οποίων το μέγεθος μπορεί σε πρώτη φάση να συσχετιστεί με την ένταση των ανοδικών ρευμάτων.

1.6 Στάδια Εξέλιξης ενός Κυττάρου

Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να διακριθεί σε επιμέρους στάδια, στα οποία κυριαρχούν διαφορετικές διεργασίες (Εικόνα 1). Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα στάδια ανάπτυξης ενός τυπικού καταιγιδοφόρου νέφους ενός κυττάρου (single cell).

1.6.1 Στάδιο ανάπτυξης

Το πρώτο καλείται "στάδιο της ανάπτυξης". Είναι το ταχύτερο των υπολοίπων, καθώς η διάρκεια του κυμαίνεται μεταξύ των πέντε με δέκα λεπτών. Στο αναπτυσσόμενο κύτταρο της καταιγίδας δημιουργείται σύγκλιση στην βάση του, ενώ καθ' ύψος επικρατούν μόνο ανοδικές κινήσεις. Η διάμετρός του σε πρώτη φάση αυξάνει φτάνοντας δύο ως και οκτώ χιλιόμετρα. Σε αυτήν την φάση επικρατεί η "φυσική της καταιγίδας" που προαναφέρθηκε. Πιο συγκεκριμένα, καθώς η θερμή και υγρή αέρια μάζα ανέρχεται, έπεται συμπύκνωση των υδρατμών, έχοντας ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νεφών και την απελευθέρωση λανθάνουσας θερμότητας, η οποία διατηρεί τον ανερχόμενο αέρα θερμότερο από τον περιβάλλοντα ατμοσφαιρικό αέρα. Η ανάπτυξη του νέφους στην κατακόρυφο συνεχίζεται για όσο διαρκεί ο ανεφοδιασμός του νέφους με θερμότερο και πιο υγρό αέρα από τα κατώτερα επίπεδα. Κατά την διάρκεια της ανάπτυξης συχνά παρατηρούνται ηλεκτρικές εκκενώσεις μεταξύ νεφών-νεφών, είτε νεφών-εδάφους.

1.6.2 Στάδιο ωρίμανσης

Το αμέσως επόμενο στάδιο ορίζεται όταν αρχίζουν να εμφανίζονται καθοδικές κινήσεις οι οποίες προκαλούνται αρχικά από την αδυναμία του ανοδικού ρεύματος να διατηρήσει την αιώρηση των σωματιδίων μέσα στο νέφος, λόγω αύξησης του βάρους τους. Σε συνέχεια τα σωματίδια επιταχύνονται καθοδικά, δημιουργώντας το καθοδικό ρεύμα. Στη φάση αυτή, η μέγιστη ένταση με ισχυρή βροχόπτωση και χαλαζόπτωση βρίσκεται την στιγμή, που επικρατούν καθοδικές και ανοδικές κινήσεις και η κορυφή του νέφους έχει φθάσει στην τροπόπαυση παίρνοντας πεπλατυσμένο (σαν αμόνι) σχήμα.

1.6.3 Στάδιο διάλυσης

Το επακόλουθο και τερματικό στάδιο είναι αυτό της διάλυσης. Στην φάση αυτή επικρατούν μόνο καθοδικά ρεύματα και ασθενής βροχόπτωση, έως ότου επέλθει η πλήρης διάλυση του νέφους. Πλέον ο κατερχόμενος αέρας αποδυναμώνει τα ανοδικά ρεύματα, σχηματίζοντας το μέτωπο των ριπών, το οποίο αντικαθιστά και απομακρύνει τον θερμό και υγρό αέρα κάτω από το κύτταρο, δρώντας ως μηχανισμός ανάδρασης, με αποτέλεσμα να σταματά η τροφοδότησή του.



Εικόνα 1 Σχέδιο της τυπικής ανάπτυξης ενός καταιγιδοφόρου κυττάρου σε τρία στάδια του κύκλου ζωής του που δείχνει (α) το στάδιο του ανάπτυξης,(β) ώριμη φάση, και (γ) στάδιο διάλυσης. Η οριζόντια κλίμακα συμπιέζεται κατά περίπου 30% σε σχέση με την κατακόρυφη κλίμακα του σχήματος. Οι ισόθερμες των 0 °C και -40 °C υποδεικνύονται με κόκκινο χρώμα. [Adapted from The Thunderstorm, U.S. Government Printing Office (1949).]

1.7 Πολυκύτταρη καταιγίδα

Όταν όμως εξακολουθούν να υπάρχουν συνθήκες ανάπτυξης στην ευρύτερη περιοχή, τότε έχοντας ως σημείο εκκίνησης ένα κύτταρο, μπροστά στο μέτωπο των ριπών, μπορούν να αναπτυχθούν νέα κύτταρα καταιγίδας. Έτσι μπορούν να συνυπάρχουν στη σειρά πολλές καταιγίδες σε διάφορες φάσεις ανάπτυξης. Τότε το καταιγιδοφόρο σύστημα έχει πολυπλοκότερη μορφή και η καταιγίδα ονομάζεται πολυκύτταρη (multi-cell storm). Η δημιουργία αυτή των νέων κυττάρων ξεκινά λίγο πριν τη διάλυση των παλαιών με συνέπεια την αύξηση της διάρκειας, απ' ότι μιας μεμονωμένης καταιγίδας (single-cell storm).

Όταν τελικά διατάσσονται πολλά κύτταρα οργανώνουν μεγάλα καταιγιδοφόρα νεφικά συστήματα, τα ονομαζόμενα Μέσης Κλίμακας Κατακόρυφης Ανάπτυξης Συστήματα (ΜΚΣ), που ο χρόνος ζωής τους κυμαίνεται μεταξύ (6-12 ώρες). Σε αυτές τις περιπτώσεις η δυναμική τους είναι πιο σύνθετη από αυτή των μεμονωμένων ή σε ζώνες σωρειτομελανίων (Cb). Γενικά κινούνται αργά, προκαλώντας πλημμύρες, χαλαζόπτωση, ισχυρούς ανέμους και συνεχόμενη βροχόπτωση κατά μήκος μιας περιοχής 100 km.



Εικόνα 2 Σχηματική αναπαράσταση ατμοσφαιρικών ροών και κατακόρυφων αναπτύξεων κατά την φορά κίνησης ενός τυπικού καταιγιδοφόρου συστήματος. Adapted from Zipser [1977].

1.8 Κίνηση MCS

Χαρακτηριστικό της συνολικής ανάπτυξης ενός MCS είναι η κίνηση. Μπορεί να διακριθεί κατά forward και backward motion (Εικόνα 3). Η κίνηση του συστήματος εξαρτάται από την διεύθυνση κίνησης των κυττάρων, αλλά και από την διεύθυνση δημιουργίας νέων κυττάρων. Οι επιπτώσεις της κίνησης των MCS αφορούν την διάρκεια "παραμονής" μιας καταιγιδοφόρου δραστηριότητας πάνω από μία περιοχή, καθώς η backward τείνει να έχει παρατεταμένη διάρκεια.



Εικόνα 3 Αναπαράσταση κίνησης ενός καταιγίδοφόρου συστήματος σε σχέση με την φορά ανάπτυξης νέων κυττάρων. Bader et al [1995]

1.9 Βροχόπτωση συστήματος και είδη

Εξετάζοντας την βροχόπτωση, είναι χρήσιμο να διακρίνουμε δύο τύπους με βάση το αίτιο δημιουργίας της. Η ένταση της βροχόπτωσης συσχετίζεται με το ύψος της κορυφής και της βάσης του νέφους, κατ' επέκταση και με το πάχος του νέφους. Στο παρακάτω διάγραμμα 1 (Πηγή: The Met. Office, 1993.) μπορεί να γίνει αντιληπτό ότι η έντονη βροχόπτωση οφείλεται σε νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης (Convective Rain), ενώ η ασθενής βροχόπτωση οφείλεται κυρίως σε στρωματόμορφα χαμηλά νέφη (Statiform Rain).



Διάγραμμα 1 Συσχέτιση του πάχους των νεφών με την ένταση της βροχόπτωσης. Πηγή: The Met. Office [1993]

2. Δεδομένα

2.1 Μετεωρολογικοί Δορυφόροι

2.1.1 Γενικά

Οι παρατηρήσεις με δορυφόρους, αλλιώς η δορυφορική Τηλεπισκόπηση υπήρξε η πιο εντυπωσιακή εξέλιξη στην ιστορία των μετεωρολογικών μετρήσεων. Ένα μεγάλο βήμα έγινε το 1959, όταν ένας αμερικανικός πύραυλος έστειλε φωτογραφίες νεφικών συστημάτων από ύψος 1.100 km. Η αληθινή όμως επανάσταση στον τομέα αυτό έγινε το 1960, με την τοποθέτηση σε τροχιά του αμερικανικού μετεωρολογικού δορυφόρου TIROS, το όνομα του οποίου προέρχεται από τις λέξεις Television and InfraRed Observation Satellite (δορυφόρος τηλεόρασης και παρατήρησης με υπέρυθρη ακτινοβολία). Ο πρώτος TIROS είχε δύο τηλεοπτικές μηχανές και μπορούσε να καλύψει με την περιστροφή του ένα μικρό μέρος της γήινης επιφάνειας. Όταν όμως παρόμοιοι δορυφόροι μπήκαν σε τροχιά, δημιουργήθηκε ένα δίκτυο που κάλυψε και τις πιο απρόσιτες περιοχές. Οι μετεωρολογικοί οργανισμοί που ελέγχουν τους δορυφόρους, όπως για παράδειγμα η Eumetsat στην Ευρώπη, δεν παρέχουν μόνο μετεωρολογικές μετρήσεις και παρατηρήσεις στους επιχειρησιακούς μετεωρολόγους. Σε δεύτερο στάδιο, επεξεργάζονται τις πρωταρχικές μετρήσεις και παράγουν ολοκληρωμένα δορυφορικά προϊόντα, όπως κατακόρυφα προφίλ θερμοκρασίας, υγρασίας στο σύνολο της Τροπόσφαιρας, εκτίμηση βροχόπτωσης, αναγνώριση τοπολογίας, είδη εδαφών κ.λ.π. Αναπτύχθηκαν επιπλέον και δορυφορικά προϊόντα που εκτιμούν το βαθμό αστάθειας της ατμόσφαιρας με την εφαρμογή εξειδικευμένων αλγορίθμων, οι οποίοι μεταφράζουν μαθηματικά τις πρωταρχικές μετρήσεις των οργάνων των δορυφόρων και υπολογίζουν γνωστούς δείκτες αστάθειας. Το 1964 δοκιμάστηκε ένας πιο εξελιγμένος τύπος, ο Nimbus που έστελνε στη Γη περίπου 1.000 φωτογραφίες την ημέρα. Σήμερα υπάρχουν σε τροχιά πολυάριθμοι μετεωρολογικοί δορυφόροι, οι οποίοι στέλνουν συνεχώς πολύτιμες πληροφορίες για τις συνθήκες της ανώτερης ατμόσφαιρας και παρακολουθούν κάθε στιγμή τις θύελλες που ξεσπούν σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη μας. Δεν είναι υπερβολή να πούμε ότι πολλές ανθρώπινες ζωές σώθηκαν χάρη στην έγκαιρη πληροφόρηση που είχαν οι αρχές από τους δορυφόρους. Η τεχνολογία των μετεωρολογικών δορυφόρων σχετίζεται με το είδος της αποστολή τους, τα μετρητικά τους όργανα, τη συχνότητα μετρήσεων, το υψόμετρο της τροχιάς τους, τη διακριτική τους ικανότητα κ.α. Μερικές από τις βασικές αρχές που διέπουν τη λειτουργία τους, παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους. Η καθημερινή ραγδαία ανάπτυξη των

τεχνολογιών των μετεωρολογικών δορυφόρων συμπληρώνει την κατανόηση των φυσικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας και αποτελούν χρησιμότατο εργαλείο όχι μόνο στους επιχειρησιακούς μετεωρολόγους αλλά και στους κλιματολόγους οι οποίοι μελετούν τις παγκόσμιες κλιματικές αλλαγές.

2.1.2 Είδη

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες μετεωρολογικών δορυφόρων με κριτήριο το ύψος της τροχιάς τους (Φείδας και Καρτάλης, 2003). Το υψόμετρο των δορυφόρων κυμαίνεται συνήθως από 800 ως 1500 km ενώ υπάρχουν περιπτώσεις όπου το υψόμετρο είναι πολύ μεγαλύτερο και φτάνει τα 36.000km. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς και στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι δορυφόροι υψηλής τροχιάς ή γεωστάσιμοι. Οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των τροχιών τους χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

 Ισημερινής τροχιάς (equatorial – orbiting satellites) των οποίων η τροχιά βρίσκεται μέσα στο ισημερινό επίπεδο.

 Πολικής τροχιάς (polar – orbiting satellites) των οποίων η τροχιά βρίσκεται σε επίπεδο που διέρχεται από τον άξονα της γης, δηλαδή η απόκλιση της τροχιάς τους είναι 90ο. Οι δορυφόροι αυτοί κινούνται από τον ένα πόλο της γης στον άλλο και κάθε διαδοχική τροχιά του διέρχεται από τον ισημερινό σε διαφορετική ηλιακή ώρα.

Πλάγιας ή σχεδόν πολικής τροχιάς (oblique – orbiting ή near-polar orbit satellites) των
οποίων η απόκλιση της τροχιάς είναι διαφορετική των 90ο.

Οι δορυφόροι υψηλής τροχιάς ή γεωστάσιμοι περιστρέφονται γύρω από τη γη σε μεγάλο ύψος (περίπου 36.000 km) στο επίπεδο του ισημερινού της γης. Η ταχύτητα περιστροφής τους είναι ταυτόσημη με αυτή του πλανήτη με αποτέλεσμα να αντικρίζουν μονίμως το ίδιο παράθυρο του γήινου δίσκου. Συνεπώς, ο δορυφόρος εμφανίζεται στάσιμος πάνω από μία περιοχή και για αυτό το λόγο ονομάζεται γεωστάσιμος. Λόγω του μεγάλου ύψους της περιστροφής του πάνω από την επιφάνεια της γης, περιορίζεται σημαντικά η χωρική διακριτική ικανότητα των οργάνων μέτρησης που βρίσκονται επάνω σε αυτούς. Οι γεωστάσιμοι δορυφόροι χρησιμοποιούνται κατεξοχήν σε μετεωρολογικές εφαρμογές καθώς και στην παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης μετεωρολογικών φαινομένων, αφού είναι σε θέση να παρέχουν πληροφορίες κάθε 15 λεπτά της ώρας.

2.1.3 Αισθητήρες

Οι δορυφορικοί αισθητήρες είναι τα όργανα που καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται από την επιφάνεια της γης και τα νέφη. Βασικό χαρακτηριστικό των δορυφορικών αισθητήρων ή αλλιώς απεικονιστών είναι η διακριτική ικανότητά τους (Φείδας - Καρτάλης, 2003), η οποία διακρίνεται σε:

 Χωρική διακριτική ικανότητα (Spatial Resolution). Είναι η διακριτική εκείνη ικανότητα του απεικονιστή να ξεχωρίζει δύο ξεχωριστά αντικείμενα που βρίσκονται πολύ κοντά και χαρακτηρίζεται από το ελάχιστο εκείνο μέγεθος που έχει ένα σώμα για να μπορεί να ανιχνευτεί. Ένα άλλο μέγεθος που έχει σημασία είναι το στιγμιαίο πεδίο κατόπτευσης (Instantaneous Field of View, IFOV) που εκφράζει τη στερεά γωνία με την οποία ο αισθητήρας «βλέπει» και καθορίζει και την περιοχή της γήινης επιφάνειας, που κατοπτρεύεται από συγκεκριμένο ύψος λήψης σε μία δεδομένη στιγμή. Η περιοχή της γης που αντιστοιχεί στο στιγμιαίο πεδίο κατόπτευσης ονομάζεται κελί ανάλυσης (resolution cell) και είναι αυτό που καθορίζει και τη χωρική διακριτική ικανότητα του αισθητήρα. Η απόλυτη τιμή της χωρικής διακριτικής ικανότητας ενός ανιχνευτή εξαρτάται από το ύψος της τροχιάς του δορυφόρου αλλά και από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα. Οι γεωστατικοί δορυφόροι, οι οποίοι βρίσκονται σε μεγάλο ύψος, ενώ καταγράφουν μεγάλες περιοχές, έχουν μικρή διακριτική ικανότητα σε αντίθεση με τους αντίστοιχους πολικής τροχιάς, που έχουν κατά κανόνα καλύτερη διακριτική ικανότητα λόγω μικρού ύψους τροχιάς. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η διακριτική ικανότητα ενός αισθητήρα εξαρτάται και από το μήκος κύματος της προσλαμβάνουσας ακτινοβολίας. Είναι γνωστό ότι η ενέργεια ακτινοβολίας μειώνεται με την αύξηση του μήκους κύματος, οπότε οι αισθητήρες που καταγράφουν ακτινοβολία στο θερμικό υπέρυθρο παρουσιάζουν μικρότερη διακριτική ικανότητα από τους αισθητήρες καταγραφής στο ορατό λόγω μικρότερου μήκους κύματος του τελευταίου.

• Φασματική διακριτική ικανότητα (Spectral Resolution) η οποία έχει να κάνει με το εύρος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που καταγράφει ένας πολυφασματικός ανιχνευτής καθώς και με το πλήθος των φασματικών καναλιών που χρησιμοποιεί. Όσο μεγαλύτερη είναι η φασματική διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή τόσο μικρότερο το εύρος της φασματικής περιοχής που καταγράφει. Το εύρος αυτό αντικατοπτρίζει μία ζώνη καταγραφής και όσο μικρότερες οι ζώνες καταγραφής, τόσο μεγαλύτερος ο αριθμός ζωνών που καταγράφονται και παρέχουν περισσότερες πληροφορίες. Η φασματική διακριτική ικανότητα βοηθά στον καλύτερο εντοπισμό του

είδους των επιφανειών. Κάθε αντικείμενο, ανάλογα με το είδος του, ακτινοβολεί σε μία συγκεκριμένη φασματική περιοχή, που ονομάζεται και φασματική υπογραφή. Ένας ανιχνευτής που καταγράφει σε μεγάλο πλήθος φασματικών ζωνών είναι σε θέση να αναγνωρίσει περισσότερα αντικείμενα ή επιφάνειες.

Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (Radiometric Resolution) ορίζεται η ευαισθησία
του ανιχνευτή να ανιχνεύει διαφορές στην ισχύ του εισερχόμενου σήματος, δηλαδή
διαφορές στην μετρούμενη ισχύ της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ακτινοβολίας από την
επιφάνεια της γης. Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή συνδέεται άμεσα
με τη πραγματική πληροφορία που εμπεριέχεται στα δορυφορικά δεδομένα.
Οποιαδήποτε μεταβολή στη ραδιομετρική ισχύ σχετίζεται άμεσα με τη δυνατότητα

• Χρονική διακριτική ικανότητα (Temporal Resolution) η οποία σχετίζεται με τη χρονική συχνότητα λήψης των δορυφορικών εικόνων για την ίδια περιοχή. Η χρονική διακριτική ικανότητα εξαρτάται από τη τροχιά του δορυφόρου και κυμαίνεται από τα 15΄ της ώρας για τον MSG (γεωστατικός δορυφόρος), έως και μερικές εβδομάδες για τους δορυφόρους πολικής τροχιάς (π.χ. 18 ημέρες για τον Landsat-5). Η υψηλή χρονική διακριτική ικανότητα είναι σημαντική για πλήθος εφαρμογών που εξελίσσονται γρήγορα (πυρκαγιές, πλημμύρες, καταιγίδες κ.λ.π.). Στην περίπτωση μελέτης χρήσης ή κάλυψης γης, που αλλάζουν με μικρή χρονική συχνότητα, η υψηλή χρονική διακριτική ικανότητα παίζει δευτερεύοντα ρόλο.

2.2 Χαρακτηρισμός Νεφών στα Δορυφορικά κανάλια

2.2.1 Γενικά

Σε αυτό το σημείο καλούμαστε να συνδέσουμε τις πληροφορίες για έναν δεδομένο στόχο παρατήρησης, στην προκειμένη περίπτωση, τα νέφη που έχουμε την δυνατότητα να εξάγουμε από το περιεχόμενο μίας εικόνας, με γνωστές ιδιότητες. Πιο συγκεκριμένα εξετάζουμε τον τρόπο αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας με τα διάφορα σώματα. Αυτή η μέθοδος καλείται χαρακτηρισμός.

Κάθε σώμα αλληλεπιδρά με την ακτινοβολία παθητικά και ενεργητικά. Η πρώτη περίπτωση περιλαμβάνει τους μηχανισμούς κατά την πρόσπτωση μιας δέσμης στο σώμα. Τότε η δέσμη αυτή μπορεί να ανακλαστεί, να διαθλαστεί είτε να απορροφηθεί. Η δεύτερη περίπτωση περιλαμβάνει την εκπομπή ακτινοβολίας από το ίδιο το σώμα. Αυτή η ακτινοβολία ονομάζεται "ακτινοβολία μέλανος σώματος" και το ποσό της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται, σύμφωνα με το νόμο των Steffan-Boltzmann, από τη θερμοκρασία της πηγής.

Για την μελέτη αυτής της αλληλεπίδρασης χρησιμοποιούνται πολλά κανάλια καταγραφής στενών φασματικά περιοχών, ώστε να εξετάζεται απομονωμένα σε κάθε ένα από αυτά η δράση της ακτινοβολίας, εντός ενός φάσματος (από 0.6 -12.0 μm). Έχει παρατηρηθεί ότι οι καταγραφόμενες τιμές σε κάθε κανάλι, εντός αυτού του φάσματος, διαφέρουν σε σχέση με την θερμοκρασία, την φάση, το μέγεθος και το σχήμα του σώματος. Αυτό δίνει την χαρακτηριστική, όπως ονομάζεται, φασματική υπογραφή του σώματος.

Εστιάζοντας στα νέφη τα οποία αποτελούνται από υδρομετέωρα σε υγρή (υδροσταγόνες) και στερεά φάση (ice crystals,hail,snow crystals,drizzle), με βάση την φασματική τους υπογραφή, έχουμε την δυνατότητα να τα διακρίνουμε εντός ενός νέφους. Σε συνέχεια αυτά δίνουν ερμηνεία για τις συνθήκες που επικρατούν κατά την εξέλιξη ενός νέφους.

Εξετάζοντας τους βασικούς τύπους νεφών, η παρακάτω απεικόνιση (Εικόνα 4) παρουσιάζει την σχέση μεταξύ των οριζόντιων και κατακόρυφων διαστάσεων τους, καθώς και το ύψος ανάπτυξης. Επίσης χαρακτηρίζει τρεις ζώνες καθ' ύψος με τις αναμενόμενες καταστάσεις του περιεχομένου των νεφών.

ALC: NO.	H	GH CLOUDS			
Cirrocumulus	Cirrostratus	Cloud	types	5	Anvil top
(Mackerel sky)		Cin	rus		
—— 7000 m ———	Halo around sun	Ice	00 ft		
			Altostratus		
Alto		/(supercod	oled) wate	r 🥻	
and the second		(Sur	n dimly visible)	12	
2000 m	MI	DDLE CLOUDS 6,50	00 ft	Cumulonimbus	
Nir	nbostratus				
	Ľ	ow clouds Wat	CLOUDS VERTICAL DEV	WITH ELOPMENT	
CLANDING TH	Stratus	Stratocumulus	Cumulus		A Property in
×	Steady precipitation	n		Showery precipitation	2 August

Εικόνα 4: Αναπαράσταση τύπων νεφών σε σχέση με το ύψος ανάπτυξης και το περιεχόμενο τους. Πηγή: Thomson Higher Education [2007] Η διαφοροποίηση μεταξύ των καταστάσεων του περιεχομένου μπορεί να εξεταστεί σύμφωνα με τις σχέσεις απορρόφησης – εκπομπής. Στο διάγραμμα 2 εμφανίζεται η διαφορά της απορρόφησης μεταξύ των δύο φάσεων του νερού, επισημαίνοντας τις σημαντικές διαφορές που καταγράφονται σε κανάλια των 1.6 και 3.9μm αλλά και στα υπόλοιπα.



Διάγραμμα 2: Διακύμανση της απορρόφησης ανά μήκος κύματος μεταξύ της υγρής και στερεής φάσης του νερού.

Ενώ εξετάζοντας την εκπομπή των περιεχομένων στις καταστάσεις υγρής και κρυσταλλικής μορφής, η διακύμανση παρουσιάζεται στο διάγραμμα 3.



Διάγραμμα 3: Η εκτιμώμενη διακύμανση της εκπομπής ανά μήκος κύματος των υδροσταγόνων και των παγοκρυστάγων. Πηγή: Irvine and Pollack [1968].

Στο παρακάτω σχήμα 1 παρουσιάζεται η επίπτωση στο μέγεθος των υδροσταγόνων και παγοκρυστάλλων κατά την ύπαρξη ισχυρών ανοδικών ρευμάτων κατά την ανάπτυξη του νέφους. Μικρά σωματίδια παρατηρούνται και σε άλλες περιπτώσεις, όπως σε νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης όπου αναπτύσσονται σε σύντομα διαστήματα, σε νεφικούς σχηματισμούς σε κορυφές βουνών, αλλά και σε ρυπασμένα νέφη.



Σχήμα 1: Σχηματική αναπαράσταση της επίδρασης των ισχυρών ανοδικών ρευμάτων στο μέγεθος τον νεφοσωματιδίων. Πηγή: EumeTrain.

Η διαφοροποίηση μεταξύ των μεγεθών των περιεχομένων μπορεί να εξεταστεί με διάφορους τρόπους, όπως διακρίνοντας με βάση την ανακλαστικότητα σε ένα μήκος κύματος (ενδείκνυται στα 3.9 και 1.6 μm), αλλά και με την χρήση διαφορών μεταξύ δύο καναλιών όπως μεταξύ 3.9 και 10.8 μm ή μεταξύ 8.7 και 10.8 μm Στο διάγραμμα 4 παρακάτω, παρουσιάζεται η ανακλαστικότητα στα 3.9 μm ως συνάρτηση του μεγέθους των σωματιδίων για τις περιπτώσεις παγοκρυστάλλων και υδροσταγόνων.



Διάγραμμα 4: Ανακλαστικότητα της ακτινοβολίας στα 3.9 μm για τα υδροσταγονίδια και τους παγοκρυστάλλους σε σχέση με την διάμετρο τους.

2.2.2 Δορυφορικά Κανάλια και Ερμηνεία Καναλιών

2.2.2.1 Κανάλι 1 ορατού στα 0.6 μm

Στο κανάλι 1 καταγράφεται η φασματική περιοχή του ορατού με κέντρο τα 0.6 μm, δηλαδή καταγράφεται η ανακλώμενη, από τα διάφορα σώματα, ηλιακή ακτινοβολία. Ως εκ τούτου τα κανάλια του ορατού χρησιμοποιούνται μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας με την παρουσία του ηλιακού φωτός. Με την καταγραφή αυτής της ακτινοβολίας μπορούν να αναγνωριστούν νέφη αλλά και η σύστασή τους, πιθανή χιονοκάλυψη σε μία περιοχή και χαρακτηριστικά του εδάφους. Η λαμπρότητα λοιπόν, στις εικόνες του ορατού εκφράζει τη λευκαύγεια του εδάφους (μεγάλη λευκαύγεια ισοδυναμεί με φωτεινές αποχρώσεις κ.ο.κ.), ενώ όσον αφορά τα νέφη η ερμηνεία γίνεται λίγο πιο πολύπλοκη, καθώς η λαμπρότητά τους εξαρτάται από:

α. τη γωνιακή θέση του δορυφόρου σε σχέση με τον δορυφόρο και τον ήλιο και β. την ανακλαστικότητα του νέφους, ενώ η ανακλαστικότητα εξαρτάται από:

- α. το πάχος του νέφους,
- β. το μέγεθος των υδροσταγονιδίων,
- γ. το περιεχόμενο του νέφους σε νερό και

δ. τη σύνθεση του νέφους (υδροσταγόνες ή παγοκρύσταλλοι).

Έτσι, ένα οπτικά μεγάλου πάχους νέφος απεικονίζεται με πολύ λευκά και φωτεινά χρώματα ,(εξαιρούνται τα νέφη stratocumulus, των οποίων η μεγάλη ανακλαστικότητα οφείλεται στα μικρού μεγέθους υδροσταγονίδια),ενώ ένα λεπτό νέφος (πχ τύπου Cirrus) εμφανίζεται ως ημιδιαφανές με σκουρότερες αποχρώσεις, καθώς ανακλώμενη ακτινοβολία από τη γη το διαπερνά και τα νέφη ομίχλης έχοντας επίσης σκούρες αποχρώσεις εμφανίζονται συνήθως με περιορισμένα όρια λόγω της μορφολογίας της εκάστοτε περιοχής.

Επίσης, γενικά ισχύει ότι η ανακλαστικότητα ενός νέφους είναι μεγαλύτερη όταν αυτό αποτελείται από σχετικά μικρότερες σταγόνες ή παγοκρυστάλλια και το περιεχόμενό του σε νερό ή πάγο είναι μεγάλο (Φείδας, 2010). Σύμφωνα με έρευνα των Torricella et al. (2008), υπάρχει θετική συσχέτιση η οποία όμως είναι σχετικά ασθενής μεταξύ του οπτικού πάχους των νεφών και της βροχόπτωσης που σημειώνεται στη γήινη επιφάνεια. Η έρευνα συγκεκριμένα έγινε πάνω στις καταιγίδες που σημειώθηκαν τις πρώτες 15 ημέρες του Ιουνίου του 2007, απ' όπου και φάνηκε ότι πολύ υψηλή ανακλαστικότητα συνήθως

συνδέεται με βροχόπτωσεις οι οποίες, όμως, σε λίγες μόνο περιπτώσεις μπορεί να ξεπερνάνε τα 25 mm/h.

2.2.2.2 Κανάλι 3 εγγύς υπερύθρου στα 1.6 μm

Το χαρακτηριστικό αυτού του καναλιού είναι η διαφορετική απορρόφηση της ακτινοβολίας των 1.6 μm από τους υδρατμούς σε σχέση με τους παγοκρυστάλλους. Συγκεκριμένα, η απορρόφηση της συγκεκριμένης ακτινοβολίας από τα παγοκρυστάλλια είναι μεγαλύτερη, ενώ η ανακλαστικότητα τους είναι αρκετά μικρότερη από αυτή των υδρατμών. Αυτή η διαφορά έχει ως αποτέλεσμα, τα νέφη αποτελούμενα από υδρατμούς να απεικονίζονται με πολύ φωτεινά χρώματα, ενώ νέφη αποτελούμενα από παγοκρυστάλλους εμφανίζονται με σκουρότερες αποχρώσεις (Φείδας, 2010).

2.2.2.3 Κανάλι 4 υπερύθρου στα 3.9 μm

Στο συγκεκριμένο κανάλι, όπου καταγράφεται ακτινοβολία με μήκη κύματος κοντά στην περιοχή των 3.9 μm, η ανακλώμενη και η εκπεμπόμενη από τη γη ακτινοβολία αλληλεπικαλύπτονται. Η ερμηνεία των εικόνων αυτής της φασματικής περιοχής διαφέρει όταν αυτές αναφέρονται σε νυχτερινές ώρες, ή σε ώρες όπου η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να ανακλαστεί από τις διάφορες επιφάνειες (Feidas 2010, Kerkmann 2004). Έτσι, τις νυχτερινές ώρες ακολουθούνται οι βασικές αρχές ερμηνείας των εικόνων στο υπέρυθρο, αφού λαμβάνεται μόνο υπέρυθρη ακτινοβολία, όπου οι υψηλές θερμοκρασίες που απεικονίζονται με σκουρότερες αποχρώσεις, υποδηλώνουν μεγάλο ποσό ακτινοβολίας και τελικά νέφη χαμηλών υψών, ενώ το αντίθετο ισχύει για υψηλότερα νέφη. Στον αντίποδα, την ημέρα οι εικόνες αυτού του καναλιού προκύπτουν από το άθροισμα της ηλιακής και της γήινης υπέρυθρης ακτινοβολίας, με την πρώτη όμως να υπερισχύει. Σε αυτήν την περίπτωση η ερμηνεία των εικόνων είναι παρόμοια με αυτήν στο ορατό φάσμα, όπου τα μεγάλα ποσά ανακλαστικότητας αποδίδονται με ανοιχτές αποχρώσεις και προέρχονται από νέφη με σημαντικό οπτικό πάχος

2.2.2.4 Κανάλι 5 υδρατμών στα 6.2 μm

Το κανάλι αυτό καταγράφει την υπέρυθρη ακτινοβολία με μήκη κύματος κοντά στα 6.2 μm που εκπέμπει η ατμόσφαιρα. Ουσιαστικά σε αυτή την φασματική περιοχή οι υδρατμοί εκπέμπουν και απορροφούν έντονα ακτινοβολία, γι' αυτό και το κανάλι λαμβάνει το ανάλογο όνομα. Στο συγκεκριμένο κανάλι το μεγαλύτερο ποσό της ακτινοβολίας προέρχεται κατά μέσο όρο από τη στάθμη των 350 hPa και έτσι με αυτόν τον τρόπο μπορεί να καταγραφεί η κατανομή των υδρατμών σε αυτή τη στάθμη της ατμόσφαιρας, όπως προσδιορίζεται από συνάρτηση βαρύτητας, που βασίζεται στη θεωρία διάδοσης

της ακτινοβολίας για το μήκος κύματος των 6.2 μm (Σχήμα 2.6). Όσο πιο χαμηλή είναι η σχετική υγρασία σε αυτό το επίπεδο, τόσο η ακτινοβολία προέρχεται από χαμηλότερα στρώματα. Έτσι, γενικά στις λήψεις των καναλιών των υδρατμών ισχύει ότι όσο πιο ανοιχτοί είναι οι τόνοι του γκρι που εμφανίζονται, τόσο πιο υψηλά είναι τα ποσά υγρασίας στη μέση και ανώτερη τροπόσφαιρα, ενώ σε αντίθετη περίπτωση πολύ σκούροι χρωματισμοί υποδεικνύουν περιοχές με πολύ ξηρό αέρα στην περιοχή αυτή. Εκτός όμως από τα ποσά υγρασίας σε συγκεκριμένη στάθμη, μπορεί να γίνει ανάλυση των δυναμικών χαρακτηριστικών της ανώτερης τροπόσφαιρας και να προσδιοριστούν οι θέσεις αεροχειμάρρων. Έτσι, για παράδειγμα οι σκούρες αποχρώσεις, που δηλώνουν παρουσία ξηρού αέρα συνδέονται με μικρά ύψη της δυναμικής τροπόπαυσης (επιφάνεια με τιμή 1.5-2 PVU) και άρα με ύπαρξη δυναμικής ανωμαλίας, κάτω από την οποία σημειώνονται καθοδικά ρεύματα αλλά μπροστά από αυτή ανοδικές κινήσεις. Επίσης, όσον αφορά τους αεροχειμάρρους, ο άξονάς τους συμπίπτει με το όριο μεταξύ ξηρού και υγρού αέρα στα κανάλια των υδρατμών, όπου μάλιστα σημειώνεται και το μέγιστο της έντασής τους, ιδίως εκεί όπου η αντίθεση των χρωματισμών είναι μεγαλύτερη (Feidas, 2010; Georgiev et al., 2005 ; Akritidis et al., 2010).

2.2.2.5 Κανάλι 6 των υδρατμών στα 7.3 μm

Το κανάλι 6 καταγράφει, όπως και το κανάλι 5, την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την ατμόσφαιρα, όμως εδώ λαμβάνεται ακτινοβολία με μήκη κύματος περίπου στα 7.3 μm, όπου οι υδρατμοί και πάλι απορροφούν και εκπέμπουν έντονα ακτινοβολία. Για την ερμηνεία των εικόνων σε αυτό το κανάλι ισχύουν οι ίδιοι κανόνες με το κανάλι 5 των 6.2 μm. Η διαφορά όμως εδώ είναι, ότι η πληροφορία που παρέχεται από τη στάθμη της τροπόσφαιρας προέρχεται κατά μέσο όρο από τα 500 hPa, ενώ γενικά φτάνει ακτινοβολία και από χαμηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας στον δορυφόρο.

2.2.2.6 Κανάλι 8 θερμικού υπερύθρου στα 9.7 μm

Το κανάλι 8 στα 9.7 μm είναι ακόμα ένα κανάλι του υπερύθρου, στο οποίο λαμβάνονται πληροφορίες από τα χαμηλά στρώματα της τροπόσφαιρας και δευτερευόντως από περιοχές υψηλότερες των 100 hPa. Η ερμηνεία που ακολουθείται είναι παρόμοια με αυτή, που ακολουθείται και στα υπόλοιπα κανάλια του υπερύθρου. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αυτής της φασματικής περιοχής, που ουσιαστικά είναι και ο λόγος που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία, είναι η σημαντική απορρόφηση της ακτινοβολίας που συντελείται από το όζον. Μάλιστα όταν υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις όζοντος στα ανώτερα τμήματα της τροπόσφαιρας, παρατηρούνται λευκές λωρίδες (white stripes) οι οποίες

μπορούν να διακριθούν μόνο σε αυτό το κανάλι του υπερύθρου. Συνήθως η θέση τους συμπίπτει με αυτήν των σκούρων χρωμάτων στα κανάλια των υδρατμών, όπου συντελείται στρατοσφαιρική εισβολή στα ανώτερα τμήματα της τροπόσφαιρας.

2.2.2.7 Κανάλι 9 θερμικού υπερύθρου στα 10.8 μm

Το κανάλι 9 καταγράφει τη θερμική υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει η επιφάνεια της γης και η ατμόσφαιρα στη φασματική περιοχή με κέντρο τα 10.8 μm, η οποία βρίσκεται στο ατμοσφαιρικό παράθυρο 8-12.5 μm. Το ποσό της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, που καταγράφεται γενικά από τα κανάλια του θερμικού υπερύθρου εξαρτάται, σύμφωνα με το νόμο των Steffan-Boltzmann, από τη θερμοκρασία της πηγής, δηλαδή της γήινης επιφάνειας και των νεφών:

 $I_{o\lambda} = ε_{o\lambda} \sigma T^4$ όπου:

Ιολ : Συνολική εκπεμπόμενη ακτινοβολία από μέλαν σώμα

σ : σταθερά Steffan-Boltzmann

Τ : απόλυτη θερμοκρασία μέλανος σώματος

ε_{ολ} : συντελεστής εκπομπής πηγής ο οποίος είναι ~1 για μέλανα σώματα, και κατά προσέγγιση για την επιφάνεια της γης και τα πυκνά νέφη μεγάλου πάχους στη φασματική περιοχή 8-12.5 μm. Οι ανοιχτές αποχρώσεις στις εικόνες του θερμικού υπερύθρου ερμηνεύονται ως περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ οι σκούρες αποχρώσεις ως θερμές περιοχές.

Έτσι με έντονα λευκά χρώματα απεικονίζονται νέφη που έχουν χαμηλές θερμοκρασίες και άρα βρίσκονται σε μεγάλα ύψη. Οι πιο σκούρες αποχρώσεις του γκρι, υποδηλώνουν την παρουσία νεφών σε χαμηλότερα ύψη. Η γήινη επιφάνεια σε αυτές τις λήψεις αποτυπώνεται με πολύ σκούρα χρώματα

2.2.2.8 Κανάλι 10 του υπερύθρου στα 12 μm

Το κανάλι 10 είναι ακόμα ένα κανάλι που καταγράφει την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα νέφη και τη γη και συγκεκριμένα στη φασματική περιοχή με κέντρο τα 12 μm. Οι εικόνες δεν εμφανίζουν ουσιαστική οπτική διαφορά σε σχέση με τα άλλα δύο κανάλια του υπερύθρου στα 8.7 και 10.8 μm αντίστοιχα, όμως μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά με αυτά, ώστε να γίνει διαχωρισμός των λεπτών νεφών τύπου Cirrus από άλλα είδη νεφών, καθώς από τα 8 προς τα 12 μm αυξάνει η απορρόφηση τόσο των υδρατμών, όσο και των παγοκρυστάλλων.

2.2.3 Ερμηνεία εικόνων στο κανάλι του ορατού (VIS)

Οι αισθητήρες του ορατού (VIS) στους μετεωρολογικούς δορυφόρους καταγράφουν ακτινοβολία μήκους κύματος από 0.32 ως 0.72 μm η οποία αντανακλάται από τις κορυφές των νεφών, την επιφάνεια της γης και σκεδάζεται από την ατμόσφαιρα. Η λαμπρότητα θεωρείται ότι παρέχει το μέτρο της λευκαύγειας των περιοχών. Περιοχές με μεγάλη λευκαύγεια αποτυπώνονται στις εικόνες του ορατού με ανοιχτές αποχρώσεις του γκρι, ενώ περιοχές με μικρή λευκαύγεια αποτυπώνονται με σκούρες αποχρώσεις.

α. Πάχος του νέφους

Η λαμπρότητα των νεφών επηρεάζεται από το πάχος τους. Για παράδειγμα, μετωπικές νεφώσεις με μεγάλο πάχος εμφανίζονται στις εικόνες VIS με έντονο λευκό χρώμα. Μοναδική εξαίρεση αποτελούν τα stratocumulus, που ενώ δεν έχουν μεγάλο πάχος, λόγω των μικρών υδροσταγονιδίων τους παρουσιάζουν μεγάλη ανακλαστικότητα και έντονο λευκό χρώμα.

β. Μέγεθος υδροσταγονιδίων και περιεχόμενο του νέφους σε νερό

Τα φυσικά χαρακτηριστικά των νεφών, όπως μέγεθος και πλήθος υδροσταγονιδίων καθώς και το περιεχόμενό τους σε νερό επηρεάζουν σημαντικά την ανακλαστικότητα που παρουσιάζουν στην εικόνα του ορατού. Για παράδειγμα, νέφη που αποτελούνται από μικρά υδροσταγονίδια (έως 5 μm), που το περιεχόμενό τους είναι μεγάλο σε νερό, η ανακλαστικότητα τους είναι ιδιαίτερα αυξημένη για πάχος νέφους ως 200m, ενώ για μεγαλύτερο πάχος η αύξηση είναι μικρή. Για νέφη που αποτελούνται από μεγαλύτερες σταγόνες, η εξάρτηση της ανακλαστικότητας από το πάχος είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι η εξάρτησή του από το περιεχόμενο σε νερό.

γ. Σύσταση του νέφους

Γενικά, τα νέφη που αποτελούνται από υδροσταγονίδια παρουσιάζουν μεγαλύτερη λαμπρότητα από εκείνα που περιέχουν παγοκρυστάλλους για τις ίδιες συνθήκες φωτισμού. Όσον αφορά στις γήινες επιφάνειες, η λαμπρότητα του εδάφους στο ορατό εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το είδος της βλάστησης, η σύνθεση του εδάφους και η χιονοκάλυψη. Σε γενικές γραμμές, εδάφη με αλκαλική σύνθεση, ερημικές ή ημι-ερημικές περιοχές εμφανίζουν μεγάλη ανακλαστικότητα, ενώ περιοχές με πυκνή βλάστηση εμφανίζονται σκοτεινές. Το χιόνι εμφανίζεται από λευκό έως ελαφρώς γκρίζο ανάλογα με την ηλικία του και τις συνθήκες φωτισμού. Τέλος, θάλασσες και λίμνες αποτυπώνονται σκοτεινά στις εικόνες VIS.

2.2.4 Ερμηνεία εικόνων στο κανάλι του υπέρυθρου (IR)

Οι αισθητήρες στο κανάλι του θερμικού υπέρυθρου καταγράφουν την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης και τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας. Θεωρώντας το σώμα που εξέπεμψε την θερμική ακτινοβολία ως μέλαν σώμα, τότε η θερμοκρασία του σώματος συνδέεται άμεσα με το ποσό της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από αυτό μέσω του νόμου του Steffan Boltzmann. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορεί να υπολογιστεί η θερμοκρασία ενός σώματος τηλεσκοπικά. Γενικά, οι εικόνες στο υπέρυθρο κανάλι εμφανίζουν με ανοιχτό χρώμα τις ψυχρές επιφάνειες και με σκούρες αποχρώσεις τις θερμές επιφάνειες. Οι μετρήσεις της ακτινοβολίας που καλείται ατμοσφαιρικό παράθυρο, όπου η απορρόφηση από τα αέρια της ατμόσφαιρας είναι ελάχιστη. Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας των γήινων επιφανειών και της κορυφής των νεφών χρησιμοποιούνται τα ατμοσφαιρικά παράθυρα που εκτείνονται στις περιοχές με κέντρα τα 4 και 11 μm.

Σε γενικές γραμμές ισχύουν για τα νέφη τα παρακάτω:

 Τα μεσαία και υψηλά νέφη εντοπίζονται ευκολότερα με τη βοήθεια των εικόνων στο IR καθώς εμφανίζονται με αποχρώσεις γκρίζου ως λευκό. Η αντίθεση μεταξύ των κορυφών των νεφών, που εμφανίζονται ανοιχτόχρωμα σε σχέση με τις σκουρόχρωμες επιφάνειες της γης, βοηθά στον ευκολότερο εντοπισμό τους. Εξαίρεση αυτού του κανόνα αποτελούν οι πολικές περιοχές. Τα χαμηλά νέφη και κυρίως η ομίχλη εντοπίζονται δύσκολα στις εικόνες IR καθώς η θερμοκρασία τους βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με αυτή της επιφανείας της γης. Για το λόγο αυτό, οι αποχρώσεις των χαμηλών νεφών είναι αποχρώσεις του γκρίζου και είναι παρόμοιες με αυτές της ξηράς.

Τα νέφη Cirrus (υψηλή νέφωση) στις εικόνες IR είναι αρκετά δυσδιάκριτα σε σύγκριση με τα μεσαία νέφη λόγω των χαρακτηριστικών της διαπερατότητας των παγοκρυστάλλων που τα αποτελούν. Τα νέφη Cirrus εμφανίζονται ημιδιαφανή στην υπέρυθρη ακτινοβολία του ατμοσφαιρικού παραθύρου με κέντρο 11.5 μm και η διαπερατότητα τους σχετίζεται με το πάχος του νέφους και τη συγκέντρωση παγοκρυστάλλων σε αυτό. Τα λεπτά νέφη Cirrus είναι περισσότερο ημιδιαφανή από τα αντίστοιχα μεγαλύτερου πάχους.

2.3 Μετεωρολογικοί Σταθμοί

2.3.1 Γενικά

Εξετάζοντας την βροχόπτωση, που μπορούν να δώσουν από ένα μεμονωμένο κύτταρο ως και μιας πολυκύτταρης καταιγίδας (πχ βροχόπτωση Ξενοφών 28/9/2018-1/10/2018 Εικόνα 5), μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι δεν υπάρχει ομοιογένεια της έντασης σε μία ευρύτερη περιοχή, όπως της έκτασης πάνω από τον ελλαδικό χώρο.



Εικόνα 5: Εκτίμηση Υετού για την περίοδο 28/9-1/10/2018. Πηγή Nautional Observatory of Athens – meteo.gr

Αυτό βέβαια μπορεί να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως τα συνοπτικά χαρακτηριστικά που επικρατούσαν τις δεδομένες χρονικές στιγμές, όπου υπήρχε δράση της πολυκυπαρής καταιγίδας, αλλά εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι η μορφολογία μιας περιοχής καθώς εξετάζοντας πολλά διαφορετικά επεισόδια είναι εμφανές, ότι κάποιες περιοχές έχουν συστηματικά μεγαλύτερα ύψη βροχόπτωσης. Πιο συγκεκριμένα με τον όρο μορφολογία αποκαλούμε παραμέτρους, όπως η απόσταση από την θάλασσα η οποία ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες, μπορεί να δώσει ποσά θερμότητας υδρατμών, καθώς και αερολύματα τροφοδοτώντας θετικά ένα καταιγιδοφόρο σύστημα, την κλίση και τον προσανατολισμό μιας ορεινής περιοχής καθώς και το υψόμετρο, αλλά και η απόσταση από άλλες πηγές αερολυμάτων που μπορούν να δράσουν στον μηχανισμό δημιουργίας υδροσταγόνων στο εσωτερικό του νέφους σαν πυρήνες συμπύκνωσης.

Όλα τα παραπάνω προκύπτουν από τις επίγειες παρατηρήσεις. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών – meteo.gr, με την χρήση του δικτύου αυτού παρατηρήθηκαν και καταγράφτηκαν τα ύψη βροχοπτώσεων σε επιλεγμένα επεισόδια δράσεις MCS.

2.3.2 Βροχόμετρα

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να παρουσιαστεί η ακρίβεια των μετρήσεων, καθώς πάντα υπάρχει ο παράγοντας σφάλματος της μέτρησης που εξαρτάται με την σειρά του από την περιοχή που είναι τοποθετημένο (πιθανά εμπόδια), το είδος του, αλλά και από την επίδραση του ανέμου την στιγμή της μέτρησης (Σχήμα 2). Έχοντας ως αποτέλεσμα συχνά την υποεκτίμηση της έντασης αλλά και της συνολικής καταγραφής της βροχόπτωσης. Σε ότι αφορά την επίδραση του ανέμου σε σχέση με το είδος του βροχόμετρου, στο Σχήμα 2 απεικονίζεται η επίπτωση των πλευρικών ροών στο κύπελλο συλλογής. Είναι φανερό ότι τα σφάλματα των μετρήσεων υπεισέρχονται σημαντικά



Σχήμα 2: Αναπαράσταση συλλογής υετού ανά τύπο βροχομέτρου σε σχέση με τα πλευρικά ρεύματα. Πηγή: Ατμοσφαιρική Τεχνολογία.

3. Μεθοδολογία Δορυφορικών Δεδομένων

3.1 Δορυφορικά Δεδομένα

Το μέγεθος το οποίο υπολογίζεται είναι η ενέργεια της ακτινοβολίας που λαμβάνει ο αισθητήρας ανά μονάδα χρόνου, σε κάθε κανάλι του δορυφόρου, αλλιώς την ένταση της ακτινοβολίας. Βέβαια για την ακρίβεια, το πρωτογενές μέγεθος που καταγράφεται είναι το ηλεκτρικό σήμα το οποίο δημιουργείται πάνω σε κάθοδο του αισθητήρα έπειτα από την πρόσπτωση της ακτινοβολίας, το οποίο στην συνέχεια ψηφιοποιείται, παίρνοντας τιμές από 0-255 counts ανά pixel.

3.1.1 Μετατροπές Count - Radiation

Στην παρούσα εργασία τα δεδομένα από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για την Εκμετάλλευση Μετεωρολογικών Δορυφόρων (EumetSat) παρέχονται στην ψηφιοποιημένη τους μορφή. Για την περαιτέρω χρήση τους είναι αναγκαίο να μετατραπούν σε κάποιο φυσικό υπολογίσιμο μέγεθος. Το χρήσιμο σε εμάς μέγεθος είναι η ένταση της ακτινοβολίας, η σχέση μετατροπής δίνεται για τον εκάστοτε αισθητήρα και εξαρτάται από τον ίδιο τον αισθητήρα και την απόκρισή του στο κάθε κανάλι.

3.2 Θερμοκρασία Λαμπρότητας

Στην συνέχεια θεωρώντας ότι αυτή η ενέργειας εκπομπής προέρχεται από ένα μέλαν σώμα, μέσω της σχέσης Maxwell-Boltzman υπολογίζεται η θερμοκρασία του σώματος. Η χρήση τελικά αυτού του μεγέθους είναι πιο βολική καθώς μπορεί να δώσει την εκτίμηση της θερμοκρασίας, πάντα με έναν παράγοντα σφάλματος καθώς δεν προέρχεται η ακτινοβολία στην πράξη από φαιό σώμα. Η θερμοκρασία αυτή συσχετίζεται άμεσα με το ύψος της κορυφής του νέφους, καθώς ακολουθεί την θερμοβαθμίδα του περιβάλλοντος αέρα η οποία μπορεί να θεωρηθεί γνωστή.

3.3 Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας

Οι διαφορές λαμπρότητας θερμοκρασίας μεταξύ καναλιών μπορεί να δώσουν επιπλέον πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά ενός νέφους και να βοηθήσουν σημαντικά έναν προγνώστη ή ερευνητή, μέσα από μία εικόνα, να καταλάβει όσο το δυνατόν καλύτερα τη δομή και τα χαρακτηριστικά ενός νέφους, ώστε να γίνει μία πιο ορθή προσέγγιση-εκτίμηση σχετικά με τις επικρατούσες συνθήκες στην επιφάνεια της γης.

3.3.1 Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας καναλιών 5-6

Η διαφορά της θερμοκρασίας λαμπρότητας του καναλιού των 6.2 μm από αυτό των 7.3 μm είναι μία πρώτης τάξεως ένδειξη τόσο για το ύψος του νέφους, καθώς τα δύο κανάλια δίνουν πληροφορίες για διαφορετικά ύψη, όσο και για τον προσδιορισμό θερμικής (convective) δραστηριότητας. Ουσιαστικά, η υπέρυθρη ακτινοβολία από τη γη απορροφάται και εκπέμπεται έντονα από τους υδρατμούς και την υγρασία της ατμόσφαιρας στα δύο αυτά κανάλια. Οι σημαντικές διαφορές μεταξύ των καναλιών 5 και 6 είναι ότι η υπέρυθρη ακτινοβολία προέρχεται από διαφορετικά επίπεδα της τροπόσφαιρας και συγκεκριμένα η μέγιστη συνεισφορά γίνεται από τα 350 hPa και 500 hPa αντίστοιχα, και το γεγονός ότι στα 6.2 μm η απορρόφηση είναι εντονότερη. Στο κανάλι 5 η ακτινοβολία προέρχεται κυρίως από τα ανώτερα τμήματα της τροπόσφαιρας, ενώ στα κανάλι 6 προέρχεται και από τα μεσαία στρώματα. Βέβαια, σε κάθε περίπτωση απουσίας υδρατμών στην περιοχή μέγιστης συνεισφοράς η υπέρυθρη ακτινοβολία μπορεί να προέρχεται και από κατώτερα επίπεδα. Έτσι σε περίπτωση που ένα νέφος βρίσκεται σε χαμηλά ύψη, τα ποσά της ακτινοβολίας θα είναι μεγάλα στο κανάλι 6, αλλά όχι στο 5, με αποτέλεσμα η διαφορά να είναι αρνητική, ενώ αν ένα νέφος είναι αναπτυγμένο καθ' ύψος (πχ. νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης), τα ποσά ακτινοβολίας που εκπέμπονται από τους υδρατμούς και στα δύο κανάλια είναι παρόμοια με αποτέλεσμα η διαφορά να έχει τιμές κοντά στο 0. Σε περίπτωση που εμφανίζονται θετικές τιμές, το νέφος έχει σημαντική κατακόρυφη ανάπτυξη (convective) με πιθανή εμφάνιση υπερεχουσών κορυφών (overshooting tops). Τέλος, σημαντική πληροφορία λαμβάνεται και για την ύπαρξη δυναμικής αστάθειας (Potential Instability), η οποία υφίσταται, όταν εμφανίζονται τιμές διαφοράς περίπου -20°C με -15°C και για την ακρίβεια όταν το κανάλι των 6.2 μm παρουσιάζει τιμές μεγαλύτερες των -39°C (και άρα υγρές περιοχές στην υψηλή τροπόσφαιρα) και το κανάλι των 7,3 μm εμφανίζει τιμές μικρότερες των -19οC.
3.3.2 Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας καναλιών 5-9

Η διαφορά μεταξύ των τιμών (θερμοκρασιών) που προκύπτουν από τις λαμβανόμενες ακτινοβολίες στα 6.2 μm και 10.8 μm, είναι ουσιαστικά ένας δείκτης του ύψους ενός νέφους, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση των νεφών ανάλογα με το ύψος τους. Στα 6.2 μm επικρατεί απορρόφηση από τους υδρατμούς με αποτέλεσμα, τα χαμηλά νέφη να εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές από αυτές που πραγματικά έχουν. Αντίθετα στα 10.8 μm η θερμοκρασία που αποδίδεται είναι αντιπροσωπευτική των νεφών, καθώς η ατμόσφαιρα σε αυτήν την φασματική περιοχή δρα ως διαφανές στρώμα. Έτσι, ισχύουν αρνητικές τιμές της διαφοράς θερμοκρασιών φωτεινότητας για χαμηλά νέφη, καθώς οι κορυφές των νεφών επανεκπέμπουν με την ίδια ένταση την υπέρυθρη ακτινοβολία στα 10.8 μm απ' ό,τι στα 6.2 μm, όμως στα 6.2 μm υφίσταται σταδιακή εξασθένηση, λόγω της έντονης απορρόφησης που λαμβάνει χώρα στο υπερκείμενο, των χαμηλών νεφών, τμήμα της ατμόσφαιρας.

Για ημιδιάφανα νέφη παγοκρυστάλλων (Cirrus) εμφανίζονται πολύ αρνητικές τιμές, καθώς μέρος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας που λαμβάνεται από τον δορυφόρο προέρχεται κατευθείαν από το έδαφος. Τέλος, τιμές κοντά στο μηδέν ισχύουν για υψηλά νέφη με σημαντική κατακόρυφη ανάπτυξη, καθώς τα νεφοσωματίδια συμπεριφέρονται κατά παρόμοιο τρόπο και στα δύο μήκη ακτινοβολίας, και επίσης δεν υπάρχουν πάνω από τα νέφη υδρατμοί οι οποίοι να επηρεάζουν την ακτινοβολία στα 6.2 μm. Θετικές τιμές παρατηρούνται όταν υδρατμοί βρεθούν στην στρατόσφαιρα πάνω από την κορυφή του νέφους, κάτι που μπορεί να οφείλεται στην παρουσία προεξέχουσας κορυφής, η οποία εισβάλει στην στρατόσφαιρα. Προεξέχουσα κορυφή (overshooting top) ονομάζεται μία προεξοχή του νέφους, η οποία σχηματίζεται πάνω από νέφη Cirrus Anvil, που προκύπτουν από την σημαντική ανάπτυξη νεφών Cumulonimbus και η οποία αναπαριστά την διείσδυση των ισχυρών ανοδικών ρευμάτων πάνω από το επίπεδο ισορροπίας (Equilibrium Level). Συνήθως αυτός ο σχηματισμός εκτείνεται σε ύψος 2-3 Km, και σε οριζόντια διάσταση μπορεί να φτάσει τα 5-15 Km με τον χρόνο ζωής τους να είναι περίπου 5-15 λεπτά.

3.3.3 Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας καναλιών 9-10

Η διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας μεταξύ των φασματικών περιοχών 10.8 και 12.1 μm αποτελεί έναν δείκτη του οπτικού πάχους των νεφών. Το πλεονέκτημα σε αυτή τη διαφορά είναι ότι μπορούν να διακριθούν τα σωρειτόμορφα, μεγάλου πάχους, νέφη από τους οπτικά λεπτότερους θυσάνους. Τα κανάλια 9 και 10 που ανήκουν στην περιοχή του θερμικού υπερύθρου έχουν βασική διαφορά ως προς την απορρόφηση της ακτινοβολίας τους από τους παγοκρυστάλλους. Έτσι, ένας οπτικά μεγάλου πάχους σωρείτης εμφανίζεται με μικρές (σχεδόν μηδενικές) τιμές διαφοράς καθώς και στα δύο κανάλια θεωρείται μέλαν σώμα και έτσι απορροφά την υπέρυθρη ακτινοβολία του εδάφους και επανεκπέμπει μέρος της. Όμως στην περίπτωση των λεπτών θυσάνων, παρά το γεγονός ότι εκπέμπεται η ίδια ακτινοβολία από το νέφος και στα δύο κανάλια, η διαφορά, που τα χαρακτηρίζει, είναι στη μεγάλη απορρόφηση της ακτινοβολίας των 12.1 μm από τους παγοκρυστάλλους σε σχέση με αυτήν στα 10.8 μm και για τον λόγο αυτό τελικά παρουσιάζουν τιμές ΔΘΦ μεγαλύτερες της μονάδας.

3.3.4 Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας καναλιών 4-9

Η διαφορά αυτή χρησιμοποιεί το κανάλι του εγγύς υπερύθρου στα 3.9 μm και αυτό του υπερύθρου στα 10.8 μm και γενικά, χρησιμοποιείται για διάκριση μεταξύ νεφών που αποτελούνται από παγοκρυστάλλια και αυτών που αποτελούνται από υδρατμούς. Στα 3.9 μm τα νέφη παγοκρυστάλλων απορροφούν λιγότερη ακτινοβολία σε αντίθεση με τα 10.8 μm, ενώ τα νέφη υδρατμών εκπέμπουν λιγότερη ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο απ' ότι στο θερμικό, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται ψυχρότερα (στα 3.9 μm). Έτσι, οι αρνητικές τιμές μπορούν να αποδοθούν σε χαμηλά νέφη τύπου stratus και ομίχλη, ενώ αντίθετα οι πολύ υψηλές τιμές της διαφοράς αναφέρονται σε ψυχρά, υψηλών επιπέδων νέφη, που αποτελούνται από μικρά παγοκρυστάλλια και είναι αυτά που, συνήθως, συνιστούν το πιο "ενεργό" μέρος των καταιγιδοφόρων νεφών. Σε αυτό το σημείο, θα ήταν σωστό να δοθεί μία περαιτέρω εξήγηση, όσον αφορά την συσχέτιση του μεγέθους των παγοκρυστάλλων με την ένταση ενός καταιγιδοφόρου νέφους. Καταρχάς, η ύπαρξη μικρών παγοσωματίων στην κορυφή του νέφους υποδεικνύουν την παρουσία ισχυρού ανοδικού ρεύματος αέρα, καθώς οι μικρού μεγέθους υδρατμοί παρασύρονται προς τα πάνω και περνάνε στη στερεή φάση πριν προλάβουν να μεγαλώσουν σε μέγεθος. Εν τούτοις, το μικρό μέγεθος των παγοκρυστάλλων μπορεί να δηλώνει ψυχρή βάση

καταιγιδοφόρου νέφους και άρα μικρότερο πάχος, καθώς τα μικρά υδροσταγονίδια διανύουν μικρή απόσταση μέχρι το σημείο της παγοποίησης τους.

3.3.5 Διαφορά θερμοκρασίας λαμπρότητας των καναλιών 8-9

Αυτή η διαφορά μεταξύ των 9.7 και 10.8 μm χρησιμοποιείται κατά βάση για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των αερίων μαζών. Σημαντικό ρόλο, λοιπόν, παίζει η έντονη απορρόφηση από το όζον της ακτινοβολίας των 9.7 μm και όχι αυτής των 10.8 μm, με αποτέλεσμα πολύ ψυχρές αέριες μάζες, πλούσιες σε όζον να εμφανίζουν πολύ αρνητικές τιμές, ενώ αντίθετα τροπικής προέλευσης, φτωχές σε όζον αέριες μάζες να παρουσιάζουν ελαφρά αρνητικές τιμές. Σε περίπτωση εισβολής στρατοσφαιρικού αέρα στην ανώτερη τροπόσφαιρα και πάλι γίνεται λόγος για πολύ αρνητικές τιμές, αφού και πάλι πρόκειται για ψυχρή αέρια μάζα. Επίσης, για νέφη με μεγάλο πάχος η ακτινοβολία που εκπέμπεται και στα δύο κανάλια είναι παρόμοια, οπότε αυτά εμφανίζουν τιμές κοντά στο μηδέν ή ελαφρώς θετικές.

3.4 Τρόπος λειτουργίας συνδυασμού καναλιών με RGB

Με σκοπό την καλύτερη οπτικοποίηση των χαρακτηριστικών των νεφών χρησιμοποιείται η μεθοδολογία του RGB συνδυασμού καναλιών. Σύμφωνα με αυτήν παράγονται εικόνες οι οποίες αποδίδουν πληροφορίες από τρία διαφορετικά κανάλια ή διαφορές αυτών. Οι πληροφορίες που μπορεί να λάβει ένας προγνώστης ή ερευνητής από αυτές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες, όσον αφορά τα χαρακτηριστικά των νεφών, καθώς σε μία εικόνα μπορούν να συγκεντρώνονται περισσότερες πληροφορίες από όσες θα πρόσφερε ένα κανάλι μόνο του. Τα τρία (διαφορετικά) κανάλια (ή διαφορές αυτών) αποδίδονται το καθένα με ένα από τα τρία βασικά χρώματα, κόκκινο (R), πράσινο (G), μπλε (B).

3.4.1 Συνδυασμός Airmass RGB αερίων μαζών (5-6, 8-9, 5)

Ο συνδυασμός αυτός προκύπτει από τη χρήση των τριών βασικών χρωμάτων, το καθένα από τα οποία απεικονίζει κάποια διαφορά μεταξύ δύο καναλιών. Συγκεκριμένα, οι κόκκινες αποχρώσεις αποδίδονται στη διαφορά των καναλιών μεταξύ 6.2 και 7.3 μm (5-6), όπου ο υγρός αέρας έχει τιμές κοντά στο μηδέν και ο ξηρότερος, τουλάχιστον στα μεσαία και υψηλότερα στρώματα, αρνητικές, οι πράσινες αποχρώσεις στη διαφορά των καναλιών μεταξύ 9.7 και 10.8 μm (8-9), όπου καθορίζεται το πόσο ψυχρή ή θερμή είναι μία αέρια μάζα, και τέλος οι μπλε αποχρώσεις αποδίδονται στο κανάλι 5 το οποίο αποδίδει την υγρασία στην ανώτερη τροπόσφαιρα. Όσον αφορά την ερμηνεία των λήψεων αυτών, με κόκκινα-πορτοκαλί χρώματα αποδίδεται η εισβολή ξηρού στρατοσφαιρικού αέρα στην τροπόσφαιρα η οποία συνδέεται με τη δράση του αεροχειμάρρου, του οποίου το ίχνος απεικονίζεται με τις ίδιες αποχρώσεις. Με σκούρο πράσινο χρώμα αποδίδονται περιοχές με θερμές αέριες μάζες, όπου η τροπόπαυση εντοπίζεται σε μεγάλα ύψη. Επίσης, με μωβ-μπλε χρώματα απεικονίζονται οι ψυχρές αέριες μάζες, όπου και η τροπόπαυση βρίσκεται σε χαμηλά ύψη, ενώ τέλος με λευκό χρώμα εμφανίζονται τα παχιά νέφη μεγάλων υψών και με καστανές αποχρώσεις νέφη μεσαίων υψών μεγάλου οπτικού πάχους και με ανοιχτό πράσινο τα νέφη χαμηλών υψών. Πρέπει, ωστόσο, να σημειωθεί ότι ο χρωματικός αυτός συνδυασμός εστιάζει περισσότερο στην κατάσταση, που επικρατεί στα μεσαία και ανώτερα τμήματα της τροπόσφαιρας.

3.4.2 Συνδυασμός RGB Convection (5-6, 4-9, 1-3)

Για αυτήν την χρωματική απεικόνιση, το κόκκινο χρώμα αποδίδεται στη διαφορά των καναλιών μεταξύ 6.2 και 7.3 μm (5-6), ώστε να τονιστεί η πιθανή ύπαρξη θερμικής δραστηριότητας και νεφών με μεγάλο οπτικό πάχος. Το πράσινο χρώμα αποδίδεται στη διαφορά των καναλιών μεταξύ 3.9 και 10.8 μm (4-9), η οποία ουσιαστικά, δίνει πληροφορίες για την μικροφυσική των νεφών. Τέλος το μπλε αποδίδεται στη διαφορά μεταξύ των 0.6 και 1.6 μm (1-3) με την οποία αναδεικνύονται τόσο η σύσταση, όσο και το οπτικό πάχος των νεφών. Με βάση τις προηγούμενες φασματικές ιδιότητες των νεφών στις τρεις αυτές διαφορές των καναλιών, με πορτοκαλί-κίτρινα χρώματα απεικονίζονται οι κορυφές των Cumulonimbus και κυρίως οι προεξέχουσες κορυφές (overshooting tops) αυτών, που αποτελούνται από μικρά παγοκρυστάλλια και συνδέονται με πολύ ισχυρά φαινόμενα. Ουσιαστικά, οι περιοχές των νεφών με αυτές τις αποχρώσεις αποτελούν τα «ενεργά» μέρη μία καταιγίδας. Με κόκκινα χρώματα φαίνονται τα Cumulonimbus που

αποτελούνται κατά βάση από μεγάλους παγοκρυστάλλους, ενώ με ανοιχτό μωβ χρώματα απεικονίζονται ημιδιάφανα νέφη.

3.4.3 Συνδυασμός RGB Microphysical night (9-10,4-9, 9)

Σε αυτόν τον συνδυασμό καναλιών το κόκκινο χρώμα αποδίδεται στη διαφορά μεταξύ 12 μm και 10.8 μm (9-10), η οποία είναι ένας δείκτης οπτικού πάχους του νέφους. Το πράσινο χρώμα αποδίδεται στη διαφορά μεταξύ 3.9 και 10.8 μm (4-9), όπου αναδεικνύεται η μικροφυσική των νεφών. Τέλος το μπλε χρώμα χρησιμοποιείται από το κανάλι 9 (10.8 μm) για να αποδώσει, όπως είναι γνωστό, τη θερμοκρασία των κορυφών των νεφών. Έτσι, με ερυθρό έως σκούρο βυσσινί χρώμα παρουσιάζονται νέφη με μεγάλο οπτικό πάχος (Cb), με σκούρο μπλε χρώμα τα λεπτά νέφη Cirrus, με καφέ αποχρώσεις τα μεσαίου ύψους νέφη με μεγάλο πάχος, με ανοιχτά μωβ-ροζ χρώματα, νέφη χαμηλών στρωμάτων, με μπλε χρώματα η θάλασσα και το έδαφος με μωβ ή γαλάζιες αποχρώσεις αποχρώσεις αποχρώσεις μερικές φορές είναι δυνατό να εμφανίζονται κίτρινες κουκίδες, οι οποίες αποχρώσεις μπορεί να συνδέεται κάποιες φορές με ισχυρή θερμική δραστηριότητα, όμως δεν υπάρχει απόλυτος συσχετισμός.

4. Νευρωνικά Δίκτυα

4.1 Γενικά

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι ένα είδος απλοποιημένων μοντέλων μιμούμενα τους βιολογικούς νευρώνες. Αποτελούνται από διασυνδεμένα υπολογιστικά στοιχεία που έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται σε ερεθίσματα που δέχονται στην είσοδο τους μαθαίνοντας, να προσαρμόζονται στον στόχο τους.

4.2 Δομή και λειτουργία

Η δομή τους, μιμούμενα τους βιολογικούς νευρώνες, αποτελείται από τους δενδρίτες οι οποίοι είναι οι πύλες εισόδου κάθε νευρώνα καθώς δέχονται σήματα από άλλους νευρώνες και από τον άξονα που είναι πύλη εξόδου (Σχήμα 3). Για την επικοινωνία υπάρχουν οι συνάψεις, όπου μεταφέρουν τα σήματα από τους άξονες στους δενδρίτες, δημιουργώντας ένα δίκτυο επικοινωνίας.



Σχήμα 3: Αναπαράσταση Βιολογικού Νευρώνα.

Σε πλήρη αντιστοιχία έρχονται οι τεχνητοί μαθηματικοί νευρώνες που συντάσσουν ένα δίκτυο. Πλέον τον ρόλο των δενδριτών έχουν οι είσοδοι στους οποίους δέχεται ένα νευρωνικό κάποια σήματα (χ1,χ2,χ3..), όπου στην συνέχεια πολλαπλασιάζονται με τα ανάλογα βάρη (w1,w2,w3..) και εισέρχονται μέσω των συνάψεων στον πυρήνα. Εκεί βρίσκεται ο αθροιστής των σημάτων και σε σειρά δρά η συνάρτηση ενεργοποίησης. Ο ρόλος της συνάρτησης ενεργοποίησης είναι ο ρόλος του φίλτρου που στην προκειμένη περίπτωση διαμορφώνει την τιμή της εξόδου σε συνάρτηση με την ποσότητα στόχου (ο) και την τιμή κατωφλίου της συνάρτησης ενεργοποίησης (Σχήμα 4).



Σχήμα 4: Σχηματική Αναπαράσταση Μαθηματικού Νευρώνα

Για τις απαιτήσεις του προβλήματος χρησιμοποιήθηκε ως συνάρτηση ενεργοποίησης η Σιγμοειδής συνάρτηση. Η οποία αποτελεί την πιο κοινή μορφή συνάρτησης που χρησιμοποιείται στην κατασκευή Νευρωνικών δικτύων. Η μαθηματική έκφραση της συνάρτησης ορίζεται ως: α(ν)=1/1+exp(-β ν), (Διάγραμμα 5).



Διάγραμμα 5: Συνάρτηση Ενεργοποίησης

4.3 Αρχιτεκτονική Τεχνιτών Νευρικών δικτύων

Όπως και στα βιολογικά δίκτυα, όμοια και στα τεχνητά υπάρχει μεγάλη ποικιλομορφία στον τρόπο σύνταξης των νευρώνων. Η πιο διαδεδομένη αρχιτεκτονική είναι αυτή της παράλληλης στοίχισης. Δηλαδή αποτελούμενη από Ν αριθμό εισόδων και Μ αριθμό νευρώνων (Σχήμα 5).



Σχήμα 5: Αρχιτεκτονική Νευρωνικού Δικτύου

4.4 Πλεονεκτήματα Τεχνιτών Νευρωνικών Δικτύων

Ένα νευρωνικό δίκτυο οφείλει την υπολογιστική του ισχύ στην παράλληλη αρχιτεκτονική του, καθώς και στην ικανότητά του να μαθαίνει και να γενικεύει. Η γενίκευση αναφέρεται στην παραγωγή εξόδων από το ίδιο το νευρωνικό για εισόδους τις οποίες δεν έχει συναντήσει.

Πιο αναλυτικά η διαδικασία διαμόρφωσης ενός δικτύου είναι σε πρώτη φάση η εκπαίδευση (training) του νευρωνικού με δεδομένες εισόδους έχοντας ορισμένους τους στόχους των τιμών που θα πρέπει να έχει ως εξόδους. Κατά αυτόν τον τρόπο αφομοιώνεται η πληροφορία ως σχέση γνώσης ερεθίσματος-αποτελέσματος. Έπειτα καλείται κατά την διαμόρφωση του να ανταποκριθεί σε μια μερίδα εισόδων τις οποίες είχε κρατήσει εκτός της εκπαίδευσης συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του με τις αντίστοιχες τιμές των εξόδων που θα έπρεπε να πετύχει. Αυτή η διαδικασία καλείται Validation και καθ' αυτόν τον τρόπο ο αλγόριθμος βαθμολογείται. Σε περίπτωση που το αποτέλεσμα

Πλεονεκτήματα αυτού εκτός των άλλων, τα παρακάτω σχετίζονται άμεσα με την μορφή του προβλήματος της εργασίας, είναι να καταφέρνει να κάνει αντιστοίχιση εισόδου-εξόδου. Δημοφιλές παράδειγμα η μάθηση, η μάθηση με εκπαιδευτή ή επιβλεπόμενη μάθηση, η οποία συνιστάται στην τροποποίηση των συναπτικών βαρών. Ο παράλληλος τρόπος λειτουργίας ο οποίος λύνεται με την χρήση παράλληλου υπολογισμού (parallel computing) κάνοντας υπολογιστικά γρήγορο τον αλγόριθμο, λύνοντας ταυτόχρονα σε πολλούς επεξεργαστές. Η ικανότητα αναγνώρισης προτύπων καθώς δεν επηρεάζονται από τον θόρυβο των εισόδων ή από ελλιπή δεδομένα.

5. Μεθοδολογία

5.1 Φυσικό πρόβλημα / Θεώρηση

Η εργασία βασίζεται στην θεώρηση ύπαρξης σχέσης μεταξύ των φυσικών ιδιοτήτων, που έχει ένα καταιγιδοφόρο νέφος στην κορυφή με την ένταση της βροχόπτωσης κάτω από τον καταιγιδοφόρο πυρήνα. Το πρόβλημα όμως είναι ότι οι φυσικές ιδιότητες (όπως το μέγεθος, η θερμοκρασία, η περιεκτικότητα σε παγοκρυστάλλους κτλ.) και καταστάσεις, που βρίσκεται η ατμόσφαιρα (PV-anomally, περιεκτικότητα όζοντος, θέση αεροχείμαρρου, περιεκτικότητα υγρασίας σε ανώτερα στρώματα, θερμή/ψυχρή μεταφορά, ύψος κορυφών νεφών, οπτικό πάχος), στην πράξη δεν είναι άμεσα υπολογίσιμα. Όμως με την χρήση των δορυφορικών δεδομένων και των διαφορών μεταξύ των τιμών των καναλιών δίνεται η δυνατότητα να τυποποιήσουμε αυτές τις ιδιότητες, όπως και παραπάνω αναλύθηκε μέσω των συνδιασμών RGB, καθώς τον τρόπο και το είδος των πληροφοριών που μπορούν να εξαχθούν. Η ανάγκη της χρήσης των νευρωνικών γεννιέται στην προσπάθεια δημιουργίας ενός μοτίβου (pattern), το οποίο θα μπορεί να συλλέξει σαν εισόδους τιμές και διαφορές των καναλιών προσπαθώντας να προπονηθεί με την ένταση της βροχόπτωσης την ίδια χρονική στιγμή (θεωρώντας ότι οι μεταβολές στην ανώτερη ατμόσφαιρα είναι σε ίδια ή κοντινή χρονική φάση με την βροχόπτωση στην επιφάνεια). Έτσι λοιπόν μπορεί να δημιουργηθεί ένα απλουστευμένο μοντέλο το οποίο στην ουσία θα επεξεργάζεται την φυσική που λαμβάνει χώρα στην κορυφή του νέφους, καθώς διατηρείται το φυσικό περιεχόμενο, έχοντας εκπαιδευτεί σε προηγούμενα καταιγιδοφόρα επεισόδια.

6. Training Cases Studies

6.1 Υπόθεση

Βασικό σημείο της εργασίας είναι η εφαρμογή της αναπτυσσόμενης μεθόδου σε παρόμοια καταιγιδοφόρα συστήματα, όντας ορθό να αποτυπωθούν οι φυσικοί μηχανισμοί που δρουν στο υπόβαθρο τέτοιων συστημάτων σε συνδυασμό με την βροχόπτωση τους.

6.2 Επεισόδια

Στα πλαίσια της εργασίας εξετάστηκαν τα πιο ισχυρά καιρικά επεισόδια που έπληξαν την Ελλάδα κατά την χρονιά 2018 από τις αρχές του χρόνου ως τα μέσα Σεπτεμβρίου.

- 13 Ιανουαρίου
- 14 Ιανουαρίου
- 10 Φεβρουαρίου
- 15 Φεβρουαρίου
- 4 Απριλίου
- 6 Μαΐου
- 16 Ιουνίου
- 17 Ιουνίου
- 24 Ιουνίου
- 26 Ιουνίου
- 27 Ιουνίου
- 8 Ιουλίου
- 29 Ιουλίου
- 27 Αυγούστου
- 13 Σεπτεμβρίου

6.3 Σταθμοί Ενδιαφέροντος

Έπειτα από έρευνα των ημερήσιων δεδομένων βροχόπτωσης του Meteo, ελέγχθηκαν οι σταθμοί που επηρεάστηκαν από το κάθε ένα επεισόδιο και επιλέχθηκαν οι σταθμοί που κατέγραψαν την μεγαλύτερη ένταση αλλά και διάρκεια βροχόπτωσης. Κατ' αυτόν τον τρόπο είναι δυνατό να δημιουργηθεί ένα "καλό" στατιστικά δείγμα, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στον αλγόριθμο εκπαίδευσης των νευρωνικών.

Οι σταθμοί που επιλέχθηκαν είναι οι:

- Κρυονερίου
- Πάρνηθας
- Βατερής Ευβοίας
- Ζαγοράς Πηλίου

6.3.1 Δορυφορική Όψη Σταθμών και αδυναμίες

Εξίσου σημαντική είναι η εξέταση της αντιπροσώπευσης των μετεωρολογικών συνθηκών που καταγράφονται στον μετεωρολογικό σταθμό σε σχέση με τις συνθήκες εντός του χωρίου, που καταγράφει ο αισθητήρας του δορυφόρου, καθώς η χωρική ανάλυση κυμαίνεται σε αυτή ενός τραπεζίου πλευρών 1.5Km, θεωρώντας μικρή την απόκλιση λόγω της γωνίας κατόπτευσης του δορυφόρου. Αυτό βέβαια εισάγει εκ νέου μερίδα σφαλμάτων καθώς σε ιδανική περίπτωση θα έπρεπε να υπάρχει πλήθος σταθμών εντός του χωρίου αυτού, δίνοντας ακριβέστερη πληροφορία για τις μέσες επικρατούσες συνθήκες.

Επίσης με αυτόν τον τρόπο αδυνατούμε να εξετάσουμε κατά πόσο ο βροχοφόρος πυρήνας που καταγράφεται από τον δορυφόρο βρίσκεται κατακόρυφα του μέγιστου της βροχόπτωσης, που λαμβάνει χώρα κάτω από την βάση του νέφους. Έχει παρατηρηθεί ότι για τα μέσα γεωγραφικά πλάτη του βορείου ημισφαιρίου λόγω της βαροκλινικότητας και της ανώτερης κυκλοφορίας μπορεί η κορυφή του καταιγιδοφόρου πυρήνα να βρίσκεται μετατοπισμένη ανατολικά της βάσης του.

6.3.2 Χρονικοί Περιορισμοί

Μια εκ νέου αδυναμία που προκύπτει κατά την συσχέτιση δορυφορικών και επίγειων παρατηρήσεων είναι : α) ο συγχρονισμός των ξεχωριστών μετρήσεων, δηλαδή η έναρξη των καταγραφών στις ίδιες χρονικές στιγμές και β) η καταγραφή στα ίδια χρονικά διαστήματα. Σε αυτό το σημείο τα επίγεια δεδομένα λόγω τεχνικής φύσης καταγράφουν με βήμα 10 λεπτών. Ενώ οι δορυφορικές παρατηρήσεις έχουν διπλάσια συχνότητα, βήματος 5 λεπτών.

Για την υλοποίηση του αλγορίθμου θεωρήθηκε ορθό να εφαρμοστεί γραμμική παρεμβολή μεταξύ των επίγειων μετρήσεων, ώστε να αποδοθεί η βροχόπτωση σε ίδια με τα δορυφορικά συχνότητα των 5 λεπτών. Πιο απλά θεωρήθηκε ότι το ποσό της βροχόπτωσης ήταν ισόποσο κατά το διάστημα της μέτρησης, δίνοντας την μισή κάθε φορά καταγεγραμμένη βροχόπτωση στο πρώτο, και δεύτερο έπειτα πεντάλεπτο της μέτρησης. Πράγμα όπου ενδεχομένως να εισάγει σφάλματα στις περιπτώσεις που είτε είχαν αλλάξει σημαντικά οι δορυφορικές παρατηρήσεις στα διαδοχικά βήματα, είτε όταν υπήρχε μεγάλη απόκλιση της έντασης της βροχόπτωσης εντός του δεκαλέπτου.

6.4 Διακριτοποίηση Convective Activity

Είναι φανερό ότι κατά την εξέλιξη ενός MCS η ένταση της βροχόπτωσης μεταβάλλεται σημαντικά. Αυτό βάση θεωρίας μπορεί να εξηγηθεί στους δυο κύριους τύπους νεφών που περιέχονται σε ένα MCS. Μπροστά και κάτω από τον άκμονα κατά την φορά της κίνησης του συστήματος εξελίσσονται τα κατακόρυφης ανάπτυξης κύτταρα (Εικόνα 6), τα οποία χαρακτηρίζονται από έντονη βροχόπτωση (heavy/convective rain) σύντομης διάρκειας.



Εικόνα 6: Σχηματική Τομή καταιγιδοφόρου συστήματος. [Reprinted from Cloud Dynamics, R. A. Houze, p. 349, Copyright (1993), with permission from Elsevier].

Κατά την κίνηση τα παλαιά κύτταρα αποδυναμώνονται και παραμένουν στο πίσω μέρος δημιουργώντας στρωματόμορφα νέφη τα οποία χαρακτηρίζονται από μέτριας έως ασθενούς έντασης βροχόπτωσης (light-moderate/Stratiform rain) (Σχήμα 6).



Ο αλγόριθμος δεν μπορεί να εφαρμοστεί και να ανταποκριθεί και στα δύο αυτά είδη. Εξετάζοντας την διαδικασία της εκπαίδευσης είναι σημαντικό να διαχωριστούν οι χρονικές στιγμές σε κατηγορίες ανά είδος της βροχόπτωσης, ειδάλλως στον αλγόριθμο εισάγεται θόρυβος ο οποίος δρα αρνητικά στην επόμενη φάση, της πρόγνωσης.

Σχήμα 6: Αναπαράσταση κατανομής οριζόντιας έκτασης χωρισμένη σε στρωματόμορφα και κατακόρυφης ανάπτυξης νέφη. Houze [1997]. Η παρούσα εργασία εφαρμόζεται μόνο στην περίπτωση της Convective Activity Rain. Η εφαρμογή της μεθόδου σε στρωματόμορφα νέφη είναι δυνατή, αλλά προϋποθέτει την διάκριση των νεφών, καθώς πολλές φορές καλύπτονται από τα υπερκείμενα νέφη, καθιστώντας τα αδύνατα να ανιχνευτούν από τον δορυφόρο.

6.5 Δορυφορικά Thresholds

Ο διαχωρισμός γίνεται με βάση τις τιμές της θερμοκρασίας λαμπρότητας που παίρνουν στα υπέρυθρα κανάλια και στις διαφορές τους αντίστοιχα. Κατά Apostolos Giannakos & Haralambos Feidas ορίζονται τα εύρη των τιμών ως:

- BT₉ < 270K
- BTD₉₋₁₀ <1K
- BTD₇₋₉ >-1 K
- BTD₅₋₉ >-15 K

όπου BT_i, BTD_i-j η θερμοκρασία i και η διαφορά των θερμοκρασιών λαμπρότητας των καναλιών i-j αντίστοιχα.

Για τις ανάγκες της εκπαίδευσης εφαρμόστηκε επιπλέον η συνθήκη βροχόπτωσης δηλαδή η ένταση της βροχόπτωσης να είναι μεγαλύτερη από 2.4 mm/h. Κατά αυτό τον τρόπο η εκπαίδευση εστιάζεται αυστηρά στις χρονικές στιγμές που επικρατούσε ταυτόχρονα Convective Activity στα ανώτερα και βροχόπτωση στα κατώτερα στρώματα.



Διάγραμμα 5: Διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ έντασης βροχόπτωσης (mm/10min) με τις διάφορες διαφορές θερμοκρασιές λαμπρότητας, όπως BTD_{10.9-12.0µm}, BTD_{8.7-10.8µm}, BTD_{6.2-10.8µm}, BTD_{6.2-7.3µm}, BTD_{13.4-10.8µm}, BTD_{8.7-12.0µm}, BTD_{9.7-13.4µm}, BT_{10.8µm}, που καταγράφτηκαν κατά την περιόδο εξέλιξης του Ξενοφών 27/9-1/10/2018 σύμφωνα με τις μετρήσεις του δικτύου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για τους σταθμούς: Αλαγονίας, Άργους, Κρυονέρι, Νέα Μάκρης, Παπάγου, Πάρνηθας, Σπέτσες, Θεολόγος, Στενής, Θήβας, Βατερής, Βαθύσταλος και Ζαγοράς.

Ενώ παρακάτω παρουσιάζονται αντίστοιχα (Διάγραμμα 6), για την πρώτη συνθήκη της Convective Activity, οι τιμές βροχόπτωσης για τους σταθμούς ενδιαφέροντος.



Διάγραμμα 6: Διαγράμματα έντασης βροχόπτωσης σε σχέση με την θερμοκρασία λαμπρότητας στα 10.8 μm που καταγράφτηκαν την περιόδο εξέλιξης του Ξενοφών 27/9-1/10/2018 σύμφωνα με τις μετρήσεις του δικτύου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για τους σταθμούς: Κρυονέρι, Πάρνηθα, Βατερή και Ζαγορά

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα είναι εμφανές ότι κάθε σταθμός έχει διαφορετική ανταπόκριση στα Convective Activity Clouds, κυρίως διαφέροντας στο μέγεθος της βροχόπτωσης. Με βάση αυτό η εργασία διαχωρίστηκε στην διαμόρφωση ξεχωριστών νευρωνικών ανά σταθμό.

7. Training Νευρωνικών Δικτύων

7.1 Επιλογή Αρχιτεκτονικής

Εξετάζοντας την φύση του προβλήματος είναι αναγκαίο να εξεταστεί η συσχέτιση των δυνατών μεταβλητών αλλά και των συνδυασμών που προκύπτουν από τις διαφορές των υπολογιζόμενων θερμοκρασιών λαμπρότητας με σκοπό την επιλογή και έπειτα εισαγωγή μόνον των συσχετιζόμενων μεταβλητών στις εισόδους των νευρωνικών.

Αναλυτικότερα, ξεκινώντας από τα επτά δορυφορικά παράγονται οι επιμέρους δυνατές διαφορές αυτών, καταλήγοντας σε 36 μεταβλητές. Έπειτα υπολογίζεται ο Correlation Factor του συνδυασμού με την ένταση της βροχόπτωσης, πάντα ξεχωριστά για κάθε σταθμό.

7.1.1 Correlation Analysis

Στο πίνακα 1 παρουσιάζονται με φθίνουσα σειρά οι θερμοκρασίες λαμπρότητας σε σχέση με τον συντελεστή συσχέτισης με την βροχόπτωση.

Πίνακας 1

Κρυονέρι		Πάρνηθα	θα Βατερή		Ζαγορα		
Brightne	Correlat	Brightne	Correlat	Brightne	Correlat	Brightne	Correlat
SS Tomporot	ion	SS Tomporat	ion	SS Tomporat	ion	SS Tomporat	ion (PTD
ure	(BTD- Rainfall)	ure	(BTD- Rainfall)	ure	(BTD- Rainfall)	ure	(втр- Rainfall)
Differenc	Rannany	Differenc	Rannany	Differenc	Rainairy	Differenc	rtannany
es		es		es		es	
BT_8	0.12	BT_5	0.21	BT_10 7	0.27	BT_11 7	0.25
BT_5	0.11	BT_8	0.20	BT_8 6	0.26	BT_11 9	0.25
BT_8 6	0.11	BT_6	0.20	BT_10 4	0.26	BT_8 7	0.24
BT_11 8	0.09	BT_11	0.20	BT_6 4	0.25	BT_7 6	0.24
BT_4	0.07	BT_4	0.18	BT_9 4	0.25	BT_9 8	0.24
BT_9 4	0.07	BT_10	0.18	BT_11 4	0.24	BT_11 10	0.24
BT_7 4	0.06	BT_9	0.17	BT_7 4	0.24	BT_7	0.24
BT_10 4	0.06	BT_7	0.17	BT_10 9	0.23	BT_9 6	0.24
BT_11	0.06	BT_11 8	0.15	BT_11 8	0.22	BT_7 5	0.24
BT_8 7	0.06	BT_10 8	0.15	BT_9 7	0.20	BT_10 8	0.24
BT_9 8	0.06	BT_9 7	0.15	BT_5 4	0.15	BT_9	0.24
BT_6 4	0.06	BT_8 6	0.14	BT_8 4	0.13	BT_9 5	0.24
BT_11 6	0.06	BT_9 8	0.14	BT_10 8	0.13	BT_10	0.24
BT_8 5	0.06	BT_10 7	0.13	BT_8 5	0.13	BT_10 5	0.23
BT_6	0.05	BT_8 7	0.13	BT_9 8	0.11	BT_10 6	0.23
BT_10 8	0.05	BT_11 10	0.13	BT_6 5	0.11	BT_6 5	0.23
BT_10 9	0.05	BT_8 4	0.12	BT_4	0.11	BT_6	0.23
BT_11 4	0.05	BT_11 9	0.12	BT_11 6	0.10	BT_11	0.23
BT_9 7	0.04	BT_10 6	0.12	BT_8 7	0.10	BT_11 5	0.22
BT_7	0.03	BT_10 5	0.11	BT_11 5	0.08	BT_11 8	0.22
BT_11 9	0.03	BT_9 6	0.11	BT_10 5	0.07	BT_8	0.22
BT_10	0.03	BT_9 5	0.11	BT_6	0.06	BT_8 6	0.21
BT_6 5	0.03	BT_11 7	0.10	BT_11 10	0.06	BT_5	0.19
BT_5 4	0.03	BT_5 4	0.10	BT_9 5	0.06	BT_9 7	0.18
BT_11 7	0.03	BT_6 5	0.10	BT_8	0.05	BT_4	0.18
BT_9	0.03	BT_7 5	0.10	BT_10	0.05	BT_8 5	0.14
BT_11 10	0.03	BT_7 6	0.09	BT_11	0.04	BT_10 7	0.13
BT_9 5	0.02	BT_11 5	0.08	BT_7 5	0.04	BT_5 4	0.13
BT_7 5	0.02	BT_11 4	0.08	BT_9	0.04	BT_9 4	0.11
BT_10 5	0.02	BT_6 4	0.08	BT_7 6	0.03	BT_10 4	0.10
BT_96	0.01	BT_10 9	0.06	BT_11 9	0.03	BT_8 4	0.10
BT_11 5	0.01	BT_7 4	0.03	BT_7	0.03	BT_7 4	0.09
BT_8 4	0.01	BT_9 4	0.01	BT_10 6	0.03	BT_10 9	0.05

BT_7 6	0.01	BT_10 4	0.01	BT_11 7	0.01	BT_11 6	0.05
BT_10 6	0.01	BT_8 5	0.01	BT_5	0.00	BT_6 4	0.02
BT_107	0.00	BT_11 6	0.00	BT_9 6	0.00	BT_11 4	0.01

7.1.2 Performance δυνατών Αρχιτεκτονικών

Μέρος της διερεύνησης εστιάστηκε στον διαδοχικό σχηματισμό νευρωνικών, αυξανόμενων κατά φθίνουσα σε συσχέτιση με τον αριθμό των παραμέτρων στις εισόδους, αλλά και αυξανόμενων διαδοχικά τον αριθμό των νευρώνων, ώστε να βρεθεί η αρχιτεκτονική με την μεγαλύτερη ακρίβεια σε κάθε περίπτωση (Διάγραμμα 7).



Διάγραμμα 7: Απόδοση νευρωνικών σε σχέση με την αρχιτεκτονική τους.

7.2 Μεταβλητές Εισόδων Νευρωνικών

Καταλήγοντας από τα παραπάνω στην βέλτιστη του κάθε σταθμού παρατηρείται ότι υπάρχουν 34 από τις αρχικά 36 μεταβλητές που μπορούν να εισαχθούν στα νευρωνικά για να μπορέσουν να αφομοιώσουν την ένταση της βροχόπτωσης. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας 2 που περιέχει αυτές τις μεταβλητές.

Πίνακας 2: Πίνακας δορυφορικών καναλιών και των συνδυασμών μεταξύ τους.

Cha	nnel	Wavelength (µm)		
2	4	3.9		
ţ	5	6.2		
6	6	7.3		
-	7	8.7		
8	3	9.7		
9	9	10.8		
1	0	12		
1	1	13	3.4	
5	4	6.2		
6	4	7.3		
7	4	8.7		
8	4	9.7	3.9	
9	4	10.8		
10	4	12		
11	4	13.4		
7	5	8.7		
8 5		9.7		
9 5		10.8		
10 5		12		
11	5	13.4		
7	6	8.7		
8	6	9.7	7.0	
9	6	10.8		
11	6	13.4		
8	7	9.7		
9	7	10.8	0.7	
10	7	12	8.7	
11	7	13.4		
9	8	10.8		
10	10 8		9.7	
11	8	13.4		
10	9	12	46.5	
11	11 9		10.8	
11	10	13.4	12	

7.3 Downscale Εισόδων

Το ζητούμενο όμως μετά την δημιουργία ενός αλγορίθμου δεν είναι πάντα μόνο η απόδοση του καλύτερου αποτελέσματος αλλά και η δυνατότητα του αλγόριθμου να είναι υπολογιστικά φθηνός, ώστε να μπορεί σε δεδομένο χρονικό διάστημα να ανταποκριθεί σύμφωνα με την δεδομένη υπολογιστική ισχύ που διατίθεται.

Επανεξετάζοντας τις αποδόσεις των κατά σειρά νευρωνικών, βρέθηκε ότι μειώνοντας στο μισό τον αριθμό των εισόδων (από 34 σε 12-14), η απόδοση τους είναι αρκούντως ικανοποιητική. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιλέχθηκαν οι βέλτιστες αρχιτεκτονικές όντας υπολογιστικά φθηνότερες αλλά και ικανοποιητικά αποδοτικές.

Για την περίπτωση των ελαχιστοποιημένων εισόδων επίσης παραθέτεται ο παρακάτω πίνακας 3 που περιέχει τις εναπομείνασες παραμέτρους που χρησιμοποιούνται κάθε φορά ως μεταβλητές εισόδων.

Πίνακας 3: Πίνακας συνδυασμών που επιλέχθηκαν για την ανάπτυξη κάθε νευρωνικού ανά σταθμό.

Channel		Wavelength (µm)		Κρυονέρι	Πάρνηθα	Βατερή	Ζαγορά
4		3.9		*	*		
ł	5	6.2		*	*		
(6	7	.3		*		
-	7	8	.7		*		*
8	8	9.7		*	*		
ę	9	10).8		*		*
1	0	12			*		*
1	1	13.4		*	*		
5	4	6.2				*	
6	4	7.3		*		*	
7	4	8.7		*		*	
8	4	9.7	3.9			*	
9	4	10.8		*		*	
10	4	12		*		*	
11	4	13.4				*	
7	5	8.7					*
8	5	9.7		*		*	
9	5	10.8	6.2				*
10	5	12					*
11	5	13.4					
7	6	8.7					*
8	6	9.7	7.0	*	*	*	
9	6	10.8	1.3				*
11	6	13.4		*			
8	7	9.7	8.7	*			*

9	7	10.8			*	*	
10	7	12				*	
11	7	13.4					*
9	8	10.8		*			*
10	8	12	9.7		*	*	*
11	8	13.4		*	*	*	
10	9	12	10.0			*	
11	9	13.4	10.6				*
11	10	13.4	12				*

7.4 Βέλτιστες Αρχιτεκτονικές ανά σταθμό

Στον πίνακα 4 παραθέτονται οι αρχιτεκτονικές των νευρωνικών που επιλέχθηκαν

Πίνακας 4: Αρχιτεκτονικές Νευρωνικών.

		Αριθμός
	Αριθμός Εισόδων	Νευρώνων
Κρυονέρι	14	14
Πάρνηθα	12	4
Βατερή	14	12
Ζαγορά	14	7

7.5 Training σταθμών

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω αρχιτεκτονικές για κάθε σταθμό εκπαιδεύτηκαν τα αντίστοιχα νευρωνικά με την χρήση της Levenberg-Marquardt backpropagation function. Ο δειγματικός χώρος διαμερίστηκε με την dividerand function σε ποσοστά 80 και 20 % σε Training Area και Validation of Traning Area. Ως επιπλέον φίλτρο κατά την εκπαίδευση, οι αρνητικές τιμές και μεγαλύτερης των 50mm/h αποκόπηκαν ως μη φυσιολογικές. Ως performance function επιλέχθηκε η Mean Squared Error. Η συνάρτηση σφάλματος πρόκειται για την αλγεβρική διαφορά θεωρητικής-πειραματικής τιμής.

7.5.1 Νευρωνικό Κρυονερίου

Στο διάγραμμα 8 παρουσιάζεται η απόκριση κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού, όντας σε πολύ καλή συμφωνία μεταξύ πρόγνωσης και μέτρησης.



Διάγραμμα 8: Απόκριση κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού στον σταθμό του Κρυονερίου.

Στα διαγράμματα 9 αριστερά παρουσιάζεται η σύγκριση των τιμών, και ο υπολογιζόμενος συντελεστής συσχέτισης. Σε αυτήν την περίπτωση φαίνεται μια καλή συμφωνία και διασπορά μεταξύ των τιμών γύρω από την προβλεπόμενη. Στο δεξί ιστόγραμμα παρουσιάζεται το σφάλμα (δηλαδή η διαφορά μεταξύ μέτρησης και πρόγνωσης). Τα σφάλματα κυμαίνονται ομοιόμορφα κατανεμημένα ελαφρώς μετατοπισμένα αρνητικά, πράγμα που οδηγεί σε μικρή συστηματική υποεκτίμηση των τιμών.



Διάγραμμα 9: Διαγράμματα απόδοσης για το νευρωνικό του Κρυονερίου. Αριστερά παρουσιάζεται το διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ της μέτρησης και της εκτίμησης. Δεξιά το ιστόγραμμα σφάλματος.

2.1.1 Νευρωνικό Πάρνηθας

Στην περίπτωση της Πάρνηθας φαίνεται ο αλγόριθμος να καταφέρνει να αφομοιώσει και να παράγει σχετικά ασθενείς βροχοπτώσεις μέχρι 6mm/h, ενώ αποτυγχάνει να δημιουργήσει ένα μοτίβο το οποίο να έχει την δυνατότητα να ανταποκριθεί σε ισχυρής έντασης βροχοπτώσεις.



Διάγραμμα 10: Απόκριση κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού στον σταθμό της Πάρνηθας.



Διάγραμμα 6: Διαγράμματα απόδοσης για το νευρωνικό της Πάρνηθας. Αριστερά παρουσιάζεται το διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ της μέτρησης και της εκτίμηση. Δεξιά το ιστόγραμμα σφάλματος.

Στο διάγραμμα διασποράς φαίνεται η καλή συμφωνία όμως με σημαντική διασπορά των τιμών, επίσης. Στο ιστόγραμμα φαίνεται ότι ο αλγόριθμος σφάλλει. Δείχνει να υπερεκτιμά τις τιμές με μέσο σφάλμα ~0,27 mm/5min.

7.5.2 Νευρωνικό Βατερής

Στο διάγραμμα 12 παρατηρείται καλή απόκριση του νευρωνικού, όντας σε πολύ καλή συμφωνία μεταξύ πρόγνωσης και μέτρησης.



Διάγραμμα 7: Απόκριση κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού στον σταθμό της Βατερής.

Στο παρακάτω αριστερά διάγραμμα 14, η σύγκριση των τιμών φαίνεται να έχει καλή συμφωνία και μικρή διασπορά. Στο ιστόγραμμα φαίνεται ότι τα περισσότερα σφάλματα είναι σε υπερεκτίμηση των τιμών.



Διάγραμμα 8: Διαγράμματα απόδοσης για το νευρωνικό της Βατερής. Αριστερά παρουσιάζεται το διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ της μέτρησης και της εκτίμησης. Δεξιά το ιστόγραμμα σφάλματος.

7.5.3 Νευρωνικό Ζαγοράς

Όμοια συμπεριφορά με το προηγούμενο φαίνεται να έχει και το νευρωνικό της Ζαγοράς. Στο διάγραμμα 14 αριστερά παρατηρείται καλή απόκριση του νευρωνικού, όμως αστοχεί στις μεγάλες τιμές.



Διάγραμμα 9: Απόκριση κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού στον σταθμό της Ζαγοράς.

Στο αριστερά διάγραμμα 15, παρατηρείται καλή συμφωνία μεταξύ των. Στο ιστόγραμμα φαίνεται το σφάλμα να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο γύρω από το κέντρο.



Διάγραμμα 10: Διαγράμματα απόδοσης για το νευρωνικό της Ζαγοράς. Αριστερά παρουσιάζεται το διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ της μέτρησης και της εκτίμησης. Δεξιά το ιστόγραμμα σφάλματος.

8. Performance Νευρωνικών Δικτύων

Στο τελικό πλέον στάδιο εξετάζεται κατά πόσο αυτοί οι αλγόριθμοι είναι σε θέση να εκτιμήσουν την ένταση της βροχόπτωσης σε ξεχωριστά επεισόδια ώστε να χαρακτηριστούν ως χρήσιμα και αξιόπιστα.

8.1 Εκτίμηση Απόδοσης στον Ξενοφών (27/9-1/10/2018)

Ένα από τα σημαντικότερα επεισόδια, που τράβηξαν το ενδιαφέρον αρκετών μετεωρολόγων λόγω της μορφής, έντασης αλλά και διάρκειας, κατά το έτος 2018 ήταν ο Ξενοφών. Ο 'Ξενοφών' προκάλεσε σοβαρές καταστροφές σε υποδομές και κτήρια από τους ισχυρούς άνεμους σε Αττική, Μεσσηνία. Πλημμύρες και κατολισθήσεις σε Εύβοια, Φθιώτιδα, Αργολίδα, Κορινθία, Λακωνία. Οι ριπές ανέπτυξαν ταχύτητες έως 126 km/h στην Πεντέλη, ενώ η βροχόπτωση έφτασε 200-500 mm σε Παπάγου, Βατερή και Θεολόγο Φθιώτιδας.

Παρακάτω παρουσιάζεται η νεφική έκταση και ο σχηματισμός στην περιοχή του υπέρυθρου (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Δορυφορική εικόνα στο κανάλι στου υπερύθρου στης 29/9/2018.

Στα παρακάτω σχήματα αποτυπώνονται α) το γεωδυναμικό ύψος, η ταχύτητα του ανέμου και η απόκλιση στη στάθμη των 300hPa, β) ο άνεμος και ο δυναμικός στροβιλισμός στην ισεντροπική επιφάνεια 320K, γ) η μεταφορά στροβιλισμού στα 500 hPa, δ) η ισοδύναμη

δυναμική θερμοκρασία στα 850hPa όπου οι θερμές και υγρές αέριες μάζες στα χαμηλά στρώματα, αποτελούν ένδειξη αστάθειας και ε) το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 500hPa και η πίεση στην επιφάνεια για τις 25-9-2018 18υτc, 26-9-2018 12υτc, 27-9-2018 06υτc και 28-9-2018 00υτc αντίστοιχα (σχήμα 7).

Από τη μελέτη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας συνοπτικής κλίμακας καθώς και τις δυναμικές διεργασίες στην τροπόσφαιρα, συμπεραίνουμε ότι η κακοκαιρία μεταξύ 27/9/2018 και 1/10/2018 οφείλεται στην κυκλογένεση στα δυτικά της χώρας ως αποτέλεσμα του αποκομμένου χαμηλού στα 500hPa το οποίο μεταφέρει ψυχρές αέριες μάζες και μεγάλα ποσά θετικού στροβιλισμού, σε συνδυασμό με την ασταθή στρωμάτωση της ατμόσφαιρας. Επιπλέον η κύρτωση και εν τέλει αποκοπή του αεροχείμαρρου αποτέλεσε παράγοντα της δημιουργίας και ενίσχυσης του συστήματος.



Σχήμα 7: Δυναμικοί χάρτες ατμόσφαιρας 29-9-2018 00υτc, 30-9-2018 00υτc, 1-10-2018 00υτc.

Στις παρακάτω επεξεργασμένες δορυφορικές εικόνες παρατηρούμε τις διάφορες φάσεις της εξέλιξης του (Εικόνα 8).





Παρατηρούμε με την χρήση του δείκτη Natural τον νεφικό σχηματισμό. Στην πρώιμη φάση της εξέλιξης του είχε ένα κυκλωνικό σχήμα, με κέντρο νότια της Σικελίας και την διάκριση μεταξύ υψηλών και μεσαίων -χαμηλών νεφών, καταλήγοντας σε συνεσφιγμένη μορφή (κόμματος) πάνω από την κεντρική Ελλάδα. Με το δείκτη Airmass γίνονται εμφανείς η μεταφορά από νότια θερμών και υγρών μαζών, η κύρτωση του αεροχείμαρρου συνεπάγοντας PV-Anomaly και έντονες κατακόρυφες κινήσεις στις σχηματισμένες σπείρες του. Με την Χρήση του δείκτη Dust με Microphysics παρατηρείται μεταφορά σκόνης καθώς και διαφοροποίηση μεταξύ μικρών και μεγάλων παγοκρυστάλλων που βρίσκονται στις κορυφές των νεφών.

Στις εικόνες 9,10 που ακολουθούν, παρουσιάζεται η καταγεγραμμένη από τον δορυφόρο MODIS Terra υπολογιζόμενη θερμοκρασία επιφανείας της θάλασσας για τις ημέρες εκείνες, ενώ στην συνέχεια το διάγραμμα των βροχοπτώσεων, που καταγράφτηκαν από το δίκτυο του meteo.



Εικόνα 9,10: Επάνω παρουσιάζεται η μέτρηση της επιφανειακής θερμοκρασίας της θάλασσας που υπολογίστηκε από τον TERRA MODIS. Κάτω παρουσιάζονται οι βροχοπτώσεις σύμφωνα με τις μετρήσεις του δικτύου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών για τους σταθμούς: Αλαγονίας, Άργους, Κρυονέρι, Νέα Μάκρης, Παπάγου, Πάρνηθας, Σπέτσες, Θεολόγος, Στενής, Θήβας, Βατερής, Βαθύσταλος και Ζαγοράς.

8.1.1 Σταθμός Κρυονερίου

Σε αυτό το σημείο εφαρμόζεται το υπάρχον εκπαιδευμένο νευρωνικό, έχοντας ως δεδομένα εισόδων, τις παραμέτρους που έχουν οριστεί για αυτόν τον σταθμό χρησιμοποιώντας τις δορυφορικές τιμές που αντιστοιχούν της χρονικής εξέλιξης, που εξετάζεται. Σημαντικό σημείο κατά την εφαρμογή αποτελεί η ύπαρξη της Convective Activity (βλέπε Κεφ.6.5), καθώς ο αλγόριθμος πρέπει να εφαρμόζεται σε όμοιες συνθήκες με την εκπαίδευση.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα 16 προβλεπόμενης και καταγεγραμμένης βροχόπτωσης για τον σταθμό Κρυονερίου.



Διάγραμμα 11: Απόκριση κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού στον σταθμό του Κρυονερίου κατά την εξέλιξη του Ξενοφών.

Σύμφωνα με το παραπάνω φαίνεται να υπάρχουν αρκετές στιγμές υπερεκτίμησης, καθώς και κάποιες στιγμές όπου πρόβλεψη έρχεται νωρίτερα.

Για ευκολότερη κατανόηση μεταξύ των διαφορών αυτών κατασκευάστηκε το παρακάτω σχήμα 8 ποσοστών, που αντιστοιχεί στις στιγμές της Convective Activity. Η ποσότητα που εξετάστηκε είναι η διαφορά μεταξύ των τιμών των μετρήσεων και των εκτιμήσεων όπου και κατηγοριοποιήθηκε σύμφωνα με τις παρακάτω τέσσερεις αποδόσεις: α) Υψηλής ακρίβειας, όταν η διαφορά μεταξύ προβλεπόμενης και μέτρησης δεν ξεπερνά το 0.2 mm/10min, β) Καλής Ακρίβειας όταν η διαφοράς μεγαλύτερες των 0.4 mm/10min οι οποίες αντιστοιχούν σε υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση.



Σχήμα 8: Διάγραμμα ποσοστών επιτυχίας για το νευρωνικό του Κρυονερίου κατά τον Ξενοφών.

Εξετάζοντας τα παραπάνω ποσοστά, θεωρώντας τα 0.4 mm αποδεκτά ως καλή συμφωνία, σε ποσοστό ~44% των αποτελεσμάτων αντιστοιχούν σε καλή συμφωνία. Ενώ για ποσοστό ~53% ο αλγόριθμος υπερεκτιμάει σημαντικά την βροχόπτωση ενώ αποτυγχάνει υποεκτιμώντας κατά 3%.

8.1.2 Σταθμός Πάρνηθας

Όμοια εξετάζεται ο αλγόριθμος για την Πάρνηθα. Παρακάτω το αντίστοιχο διάγραμμα 17.



Διάγραμμα 12: Απόκριση κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού στον σταθμό της Πάρνηθας κατά την εξέλιξη του Ξενοφών.

Τα αποτελέσματα δείχνουν από τις πρώτες ημέρες πρόβλεψη για ισχυρή βροχόπτωση, μεγέθους συγκρίσιμου με την μέγιστη, που μεσολάβησε τις νυχτερινές ώρες κατά την 29/9, όμως αποτυγχάνοντας να την περιγράψουν εγκαίρως.



Σχήμα 9: Διάγραμμα ποσοστών επιτυχίας για το νευρωνικό της Πάρνηθας κατά τον Ξενοφών.

Εξετάζοντας τα ποσοστά (Σχήμα 9), είναι φανερή σε αυτή την περίπτωση η υπερεκτίμηση σχεδόν 50%, όπως όμως και η υποεκτίμηση με επόμενο κυρίαρχο ποσοστό κατά 33%. Εν τέλει μόνο κατά 19% μπορεί να θεωρηθεί σε συσχετισμό με τις καταγραφές.

8.1.3 Σταθμός Βατερής

Στην περίπτωση της Βατερής υπάρχει σημαντικός περιορισμός των στιγμών των οποίων επικρατεί Convective Activity ώστε να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα 18.



Διάγραμμα 13: Απόκριση κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού στον σταθμό της Βατερής κατά την εξέλιξη του Ξενοφών.

Εξετάζοντας το παραπάνω διάγραμμα 18, παρατηρείται ότι οι ισχυρές βροχοπτώσεις δεν συνέβησαν κατά τις στιγμές με Convective Activity. Ενώ για τις στιγμές που επικρατούσαν οι ζητούμενες συνθήκες, τελικά δεν έδωσαν ισχυρές βροχοπτώσεις.



Σχήμα 10: Διάγραμμα ποσοστών επιτυχίας για το νευρωνικό της Βατερής κατά τον Ξενοφών.

Χωρίς να αποτελεί καλό στατιστικό δείγμα, σε σχέση με το πλήθος, υπερτερεί η υποεκτίμηση με ποσοστό 44%, σε συνέχεια κατά 41% σε ικανοποιητικά επίπεδα (± 0.4 mm/10min) και τέλος το εναπομείναν 14% αντιστοιχεί σε υπερεκτίμηση (Σχήμα 10).

8.1.4 Σταθμός Ζαγοράς

Εξετάζοντας τον τελευταίο σταθμό της Ζαγοράς παρατηρείται για τις στιγμές που επικρατούν οι ζητούμενες συνθήκες να υπάρχει πρόβλεψη για έντονη βροχόπτωση, χωρίς να υπάρχει η αναμενόμενη καταγραφή. Στο παρακάτω το διάγραμμα 19 παρουσιάζονται τα προαναφερθέντα.



Διάγραμμα 14: Απόκριση κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού στον σταθμό της Ζαγοράς κατά την εξέλιξη του Ξενοφών.

Κυρίαρχο για ακόμη μία φορά το ποσοστό της υπερεκτίμησης κατά 57%, με σχεδόν όμοια ποσοστά υποεκτίμησης και ικανοποιητικής ακρίβειας κατά ~20% εκάστου (Σχήμα 11).

Εκτίμηση Έντασης Βροχόπτωσης με την Χρήση Δορυφορικών Δεδομένων και Νευρωνικών Δικτύων



Σχήμα 11: Διάγραμμα ποσοστών επιτυχίας για το νευρωνικό της Ζαγοράς κατά τον Ξενοφών.
8.2 Εκτίμηση Απόδοσης στον Δαίδαλο (23/10/2017)

Ως περαιτέρω εξέταση της μεθόδου δοκιμάστηκε η απόδοση του σε ένα επίσης έντονο καταιγιδοφόρο επεισόδιο που έπληξε την χώρα το έτος 2017, τον Δαίδαλο.

Ο 'Δαίδαλος' ήταν το πρώτο ισχυρό βαρομετρικό χαμηλό του φθινοπώρου, προκάλεσε καταστροφικές πλημμύρες στα Χανιά, ισχυρές χαλαζοπτώσεις με ζημιές στο Μαραθώνα, στη Λοκρίδα Φθιώτιδας και στη Σκύρο. Ιδιαίτερα ισχυροί άνεμοι επίσης έπληξαν περιοχές δημιουργώντας ανεμοθύελλες που ξήλωσαν θερμοκήπια στην Ιεράπετρα και δέντρα στην Πάτρα. Οι ριπές ανέπτυξαν ταχύτητες έως 77 km/h, ενώ η βροχόπτωση έφτασε 200-240 mm σε Χανιά, Σκύρο και Πλατανιά.

Παρακάτω η εικόνα 11 απεικονίζει την πρόβλεψη για κατάσταση της επιφάνειας και εκτιμώμενη βροχόπτωση.



Εικόνα 11: Η πρόγνωση για την επιφανειακή πίεση και βροχόπτωση για την περίοδο 22-25/10/2017.

Στα παρακάτω σχήματα αποτυπώνονται α) το γεωδυναμικό ύψος, η ταχύτητα του ανέμου και η απόκλιση στη στάθμη των 300hPa, β) ο άνεμος και ο δυναμικός στροβιλισμός στην ισεντροπική επιφάνεια 320K, γ) η μεταφορά στροβιλισμού στα 500 hPa, δ) το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 500hPa και η πίεση στην επιφάνεια και ε) η ανάλυση

της πίεσης στην επιφάνεια για τις 24-10-2017 00UTC, 24-10-2017 18UTC και 25-10-2017 12UTC αντίστοιχα (σχήμα 12).



Σχήμα 12: Δυναμικοί χάρτες ατμόσφαιρας 24-10-2018 10υτς, 24-9-2018 18υτς και 25-9-2018 10υτς.

Από τη μελέτη της συνοπτικής δομής της ατμόσφαιρας καθώς και των δυναμικών διεργασιών, συμπεραίνουμε ότι η κακοκαιρία στις 23/10/2017 οφείλεται στη διέλευση του αποκομμένου χαμηλού στα 500hPa το οποίο είχε ανταπόκριση στις χαμηλότερες στάθμες με κυκλογένεση και μετωπική δραστηριότητα. Τα φαινόμενα εντάθηκαν με το πέρασμα του ψυχρού μετώπου. Η αναδίπλωση της τροπόπαυσης και η εισβολή στρατοσφαιρικού αέρα, ένδειξη της οποίας αποτελούν οι υψηλές τιμές δυναμικού στροβιλισμού στην ισεντροπική επιφάνεια 320K, ενίσχυσαν την περαιτέρω βάθυνση του χαμηλού.

Όπως παρατηρείται από τις παρακάτω αναλύσεις των δορυφορικών δεικτών Airmass, Convection και Microphysics (Εικόνα 11), στην πρώιμη φάση παρατηρείται μια έντονη κύρτωση του αεροχείμαρρου συνεπάγοντας την αναδίπλωση της τροπόπαυσης, σηματοδοτώντας μία σημαντική δυναμική αστάθεια στα μέσα και ανώτερα της ατμόσφαιρας. Ως μετέπειτα αποτέλεσμα, την δημιουργία συνθηκών ανάπτυξης MCS στην περιοχή, το οποίο παρατηρείται στις εικόνες στην δεύτερη σειρά, όντας σε μορφή πολυκυτταρικών καταιγίδων, κυψελοειδής μορφής.



Εικόνα 4: Δορυφορικοί Δείκτες Airmass, Severe Storms, 24h Microphysics για τις χρονικές στιγμές 24/10/2017 03:00_{UTC} και 25/10/2017 04:00UTC .

8.2.1 Σταθμός Ζαγοράς

Εφαρμόζοντας το νευρωνικό της Ζαγοράς στο επεισόδιο του Δαίδαλου, παρατηρείται αρκετά καλή σχέση μεταξύ πρόβλεψης – καταγραφής (Διάγραμμα 20).



Διάγραμμα 20: Απόκριση κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού στον σταθμό της Ζαγοράς κατά την εξέλιξη του Δαίδαλου.

Σημαντικό σε αυτή την περίπτωση το ποσοστό 40%, το οποίο είναι αρκούντως ικανοποιητικό για τις διαφορές μεταξύ εκτιμώμενης – καταγραφής (Σχήμα 13).



Σχήμα 13: Διάγραμμα ποσοστών επιτυχίας για το νευρωνικό της Ζαγοράς κατά τον Δαίδαλο.

8.3 Εκτίμηση Απόδοσης στην Ευρυδίκη (13/11/2017)

Για τους υπόλοιπους σταθμούς εξαιρουμένης της Πάρνηθας και της Ζαγοράς η μέθοδος δοκιμάστηκε σε ένα επίσης έντονο καταιγιδοφόρο επεισόδιο που έπληξε την χώρα το έτος 2017, την Ευρυδίκη. Θέτοντας σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης την Σύμη, σοβαρές επιπτώσεις στην Δ.Αττική όπως πλημμύρες, εγκλωβισμοί ανθρώπων και σοβαρές υλικές ζημιές σε Κατερίνη, Ημαθία, Θεσσαλονίκη, Χαλκιδική, Λάρισα και Πάτρα. Τα σημαντικότερα ύψη βροχόπτωσης, που καταγράφτηκαν, κυμάνθηκαν από 80-230 mm.

Στη παρακάτω εικόνα 12 παρουσιάζονται τα στοιχεία πρόγνωσης της ημερήσιας βροχόπτωσης καθώς και η απεικόνιση της κατάστασης της επιφανείας.



Εικόνα 5: Η πρόγνωση για την επιφανειακή πίεση και βροχόπτωση για την περίοδο 15-16/11/2017.

Στα παρακάτω σχήματα αποτυπώνονται α) το γεωδυναμικό ύψος, η ταχύτητα του ανέμου και η απόκλιση στη στάθμη των 300hPa, β) μεταφορά στροβιλισμού στα 500hPa, γ) ισοδύναμη δυναμική θερμοκρασία στα 850hPa, και δ) το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 500hPa και η πίεση στην επιφάνεια για τις 13-11-2017 12UTC, 14-11-2017 06UTC, 14-11-2017 18UTC, 15-11-2017 18UTC και 16-11-2017 06UTC αντίστοιχα (σχήμα 14,15).

Από τη μελέτη της συνοπτικής δομής της ατμόσφαιρας καθώς και των δυναμικών διεργασιών, συμπεραίνουμε ότι η κακοκαιρία η οποία ξεκίνησε στις 13/11/2017 και επηρέασε τη χώρα μας, οφείλεται στην κυκλογένεση στα ΝΔ της χώρας ως αποτέλεσμα της κίνησης του αποκομμένου χαμηλού στα 500hPa που με τη βοήθεια του αεροχειμάρρου μετέφερε ψυχρές αέριες μάζες και μεγάλα ποσά θετικού στροβιλισμού. Επιπρόσθετα, η θέρμανση των κατωτέρων στρωμάτων και ο εμπλουτισμός τους με υγρασία, κατά την κίνηση του επιφανειακού χαμηλού στη θερμή θάλασσα της Μεσογείου, αποτέλεσαν ευνοϊκό περιβάλλον για ανοδικές κινήσεις και δημιουργία καταιγιδοφόρων νεφών



Σχήμα 14: Δυναμικοί χάρτες ατμόσφαιρας 13-11-2017 12υτς, 14-11-2017 06υτς, 14-11-2017 12υτς.



Σχήμα 15: Δυναμικοί χάρτες ατμόσφαιρας 14-11-2017 18_{υτc}, 15-11-2017 18_{υτc} και 16-11-2017 06_{υτc}.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι αναλύσεις των δορυφορικών δεικτών Airmass, Convection και Microphysics (Εικόνα 13). Στην πρώιμη φάση παρατηρείται ο αεροχείμαρρος με ερυθρό χρώμα, όπως και ο μετωπικός σχηματισμός του που δημιουργήθηκε καταλήγοντας μετέπειτα σε συνεσφιγμένη μορφή. Ως αποτέλεσμα είχε την δημιουργία συνθηκών ανάπτυξης MCS στην περιοχή, το οποίο παρατηρείται στους δείκτες Convection εμφανίζοντας τις κορυφές των σωρειτόμορφων νεφών με κίτρινο χρώμα.



Εικόνα 6: Δορυφορικοί Δείκτες 24h Microphysics, Airmass, Severe Storms για τις χρονικές στιγμές 14/11/2017 18:00μτc ,16/10/2017 06:00μτc , 16/11/2017 15:00μτc ,17/10/2017 10:00μτc.

8.3.1 Σταθμός Κρυονερίου

Για τελική φορά εξετάστηκε ο αλγόριθμος του Κρυονερίου κατά το επεισόδιο της Ευρυδίκης. Σε αυτή την περίπτωση δεν αποτέλεσε ο συγκεκριμένος σταθμός επίκεντρο του συστήματος δίνοντας ολιγομερείς στιγμές με βροχόπτωση, ασθενούς σχετικά έντασης, οι οποίες όμως χαρακτηρίζονταν από Convective Activity. Φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα 20 μια ικανοποιητική απόδοση του αλγορίθμου.



Διάγραμμα 15: Απόκριση κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού στον σταθμό του Κρυονερίου κατά την εξέλιξη της Ευρυδίκης.

Αναλυτικότερα το ποσοστό το οποίο αντιστοιχεί εντός του εύρους ±0.4mm/10min ανέρχεται σε 48% ενώ το υπολειπόμενο αντιστοιχεί σε υπερεκτίμηση, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 16.



Σχήμα 16: Διάγραμμα ποσοστών επιτυχίας για το νευρωνικό του Κρυονερίου κατά την Ευρυδίκη.

2.1.2 Σταθμός Βατερής

Όπως και ο προηγούμενος σταθμός, έτσι και αυτός δεν αποτέλεσε κέντρο της βροχοφόρου δραστηριότητας, έχοντας λίγες στιγμές στις οποίες μπορεί να εφαρμοστεί ο αλγόριθμος. Σε αυτή την περίπτωση αν και πρόκειται για μικρό δείγμα, αξίζει να σημειωθεί ότι πετυχαίνει μόνον της σύντομης περιόδου μεταξύ 14/11 00:00-12:00 LTC να αποδώσει την βροχόπτωση, όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα 21.



Διάγραμμα 16: Απόκριση κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού στον σταθμό της Βατερής κατά την εξέλιξη της Ευρυδίκης.

Το ποσοστό εντός του εύρους ±0.4mm/10min ανέρχεται σε 53% ενώ το υπολειπόμενο αντιστοιχεί σε υπερεκτίμηση, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 17.



Σχήμα 17: Διάγραμμα ποσοστών επιτυχίας για το νευρωνικό της Βατερής κατά την Ευρυδίκη.

9. Συμπεράσματα

Ο κεντρικός στόχος της εργασίας εντοπίζεται στην δυνατότητα εκτίμησης της έντασης της βροχόπτωσης κατά την ύπαρξη ισχυρών κατακόρυφων αναπτύξεων ανά περιοχές όπως, την περιοχή της Ζαγοράς, της Βατερής, της Πάρνηθας και του Κρυονερίου. Βασικά σημεία της εργασίας αποτέλεσαν, η αναγνώριση των φαινομένων που φέρουν έντονη βροχοφόρο δραστηριότητα, ο εντοπισμός των φάσεων της ανάπτυξης σε σχέση με την ένταση της βροχόπτωσης, οι μετεωρολογικοί δορυφόροι σε ατμοσφαιρικές εφαρμογές, η σύνδεση των φυσικών μηχανισμών με τις ιδιότητες διάδοσης της ακτινοβολίας, η ανάπτυξη νευρωνικών δικτύων με στόχο την αφομοίωση των παραπάνω μηχανισμών συνδεόμενα με τις επίγειες καταγραφές καθώς και ο έλεγχος της απόδοσης σε τρία διαφορετικά επεισόδια. Τα φαινόμενα τα οποία εξετάστηκαν αποτέλεσαν τα μέσης κλίμακας νεφικά συστήματα σε συνδυαστικά με τις ιδιότητες διάδοσης της ακτινοβολίας οι οποίες εξετάζονται μέσω των δορυφορικών καναλιών και με τις επίγειες καταγραφές των βροχομετρικών σταθμών. Εξετάζοντας τις προϋποθέσεις ανάπτυξης τέτοιων συστημάτων δίνεται η δυνατότητα έρευνας και συλλογής δεδομένων παρελθόντων επεισοδίων τα οποία χρησιμοποιούνται στο στάδιο της εκπαίδευσης των νευρωνικών δικτύων. Αναγκαία αποτελεί η αναγνώριση των σταδίων ανάπτυξης των συστημάτων σκιαγραφώντας τους επικρατούντες μηχανισμούς αλλά και της έντασης της βροχόπτωσης που χαρακτηρίζει τα επιμέρους στάδια. Σε συνέχεια μέσω της πολυφασματικής αναγνώρισης δίνεται η δυνατότητα να εξεταστεί το προφίλ σύστασης των νεφών εξάγοντας πληροφορία ως προς το είδος και το μέγεθος του περιεχομένου των νεφών, η οποία συσχετίζεται με διαδοχικά με άλλες παραμέτρους όπως την ένταση των ανοδικών ρευμάτων, την ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων και άλλες παραμέτρους, πράγμα που ανάγει σε πολυπαραμετρικό το πρόβλημα της βροχόπτωσης. Κατά αυτόν τον τρόπο σκοπεύοντας σε μία μέθοδο η οποία θα μπορεί να αφομοιώσει το σύνολο των εξαγόμενων πληροφοριών από τις δορυφορικές καταγραφές, γεννιέται η ανάγκη χρήσης και ανάπτυξης νευρωνικών δικτύων στοχευμένα στις επίγειες καταγραφές. Κατά αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται κατάλληλα μοτίβα, τα οποία αποτελούν συναρτήσεις σύνδεσης μεταξύ των μεταβλητών εισόδων και εξόδων των νευρωνικών, δηλαδή των δορυφορικών καταγραφών στα διάφορα κανάλια αλλά και τις επιμέρους διαφορές τους με τις επίγειες καταγραφές. Κατά την διαδικασία της εκπαίδευσης επιλέχθηκαν 15 επεισόδια ισχυρής κατακόρυφης ανάπτυξης κατά το έτος 2017 στα οποία απομονώθηκαν οι χρονικές στιγμές που υπήρχε κατακόρυφη ανάπτυξη μέσω συγκεκριμένων τιμών κατωφλίων των δορυφορικών τιμών αλλά και ταυτόχρονη βροχόπτωση στο κάτωθεν

μέρος του νεφικού σχηματισμού. Η επιλογή της βέλτιστης αρχιτεκτονικής των νευρωνικών γίνεται με βάση την δοκιμή και καταγραφή της απόδοσης που φέρουν διαφορετικές δομές αποτελούμενες από αυξανόμενο αριθμό εισόδων, οι οποίες αποτελούν τις σε φθίνουσα σε συσχέτιση δορυφορικές τιμές και διαφορές των καναλιών με την καταγραφόμενη ένταση της βροχόπτωσης, και τον αριθμό των νευρώνων. Κατά αυτόν τον τρόπο απομένουν οι βέλτιστες αρχιτεκτονικές ανά σταθμό οι οποίες βάσει των δεικτών των εισόδων τους, είναι άρρητα συνδεδεμένες με το φυσικό περιεχόμενο τους. Τα αποτελέσματα της εκπαίδευσης καταφέρνουν να αποτυπώσουν με μεγάλη ακρίβεια την διακύμανση της έντασης της βροχόπτωσης, τόσο στις ασθενείς αλλά και ισχυρές εντάσεις για το σύνολο των σταθμών που εξετάστηκαν. Εξετάζοντας την απόδοση αυτών των δικτύων στα επ΄ ονόματι επεισόδια Ξενοφών, Δαίδαλος και Ευρυδίκη, τα αποτελέσματα του πρώτου επεισοδίου έδωσαν σημαντικές υπερεκτιμήσεις της έντασης, πράγμα που οφείλεται στην παρεμβολή ψηλών και οπτικά λεπτών νεφών, τα οποία σε συνδυασμό με τα υποκείμενα νέφη έρχονται σε ομοιότητα σε σχέση με τις ιδιότητες διάδοσης ακτινοβολίας με τα πυκνά κατακόρυφα εκτεταμένα βροχοφόρα νέφη. Στα δύο εναπομείναντα επεισόδια τα οποία αποτελούνται από συστήματα υφέσεων συνοδευόμενες με τα ψυχρά και θερμά μέτωπα, φαίνεται να καταφέρουν σε μεγάλο βαθμό να ανταποκριθούν τα νευρωνικά δίκτυα, εκτιμώντας ικανοποιητικά την βροχόπτωση.

Η μέθοδος έδειξε την δυνατότητα ανάπτυξης τέτοιων αλγορίθμων συνοδευόμενη επίσης με τις αδυναμίες της, όπως την εφαρμογή σε περιπτώσεις με επικαλυπτόμενα νέφη. Πράγμα που καθιστά αναγκαία την περαιτέρω ερευνητική μελέτη επί του θέματος. Σε κάθε περίπτωση είναι σημαντικά τα σφάλματα που εισάγονται από την δομή κιόλας, δηλαδή τις επίγειες μετρήσεις βροχόπτωσης, καθότι η χρήση ενός βροχομετρικού σταθμού δεν μπορεί πάντα να αποτελέσει αντιπροσωπευτικός στο σύνολο του εξεταζόμενου χωρίου, πράγμα που υπεισέρχεται και στον έλεγχο της απόδοσης σε μετέπειτα επεισόδια. Σε ιδανικές συνθήκες χρειάζεται ένα πυκνό δίκτυο σταθμών εντός του εξεταζόμενου χωρίου για την εξασφάλιση της σωστής αποτύπωσης της βροχόπτωσης καθώς και την χρήση επιπλέον οργάνων όπως ραντάρ. Σε επόμενο στάδιο θα πρέπει να εξεταστεί η δυνατότητα συσχέτισης της διαμέτρου των καταιγιδοφόρων πυρήνων καθώς και η εκπαίδευση σε περισσότερα επεισόδια.

Οι μελλοντικές εφαρμογές μίας τέτοιας μεθόδου μπορεί να βρει εφαρμογή στον εντοπισμό και την εκτίμηση της δυναμικής των καταιγιδοφόρων πυρήνων, για την πρόληψη πλημμυρικών επεισοδίων. Όπως επίσης σε κλιματολογικές εφαρμογές, δημιουργώντας χρονοσειρές βροχόπτωσης με δεδομένες δορυφορικές καταγραφές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ

- Ζιακόπουλος Δ. και Φραγκούλη Π., «Το Εγχειρίδιο του Μετεωρολόγου Προγνώστη».
- Wallace, J. M. and Hobbs, P. V. "Atmospheric Science An Introductory Survey". Second Edition. University of Washington (The automatic weather stations NOANN network of the National Observatory of Athens: operation and database K. Lagouvardos*, V. Kotroni, A. Bezes, I. Koletsis, T. Kopania, S. Lykoudis, N. Mazarakis, K. Papagiannaki and S. Vougioukas National Observatory of Athens, Institute for Environmental Research and Sustainable Development, Athens, Greece
- Μελάς, Δ. Μπαής Α. και Μπαλής, Δ. «Ατμοσφαιρική Τεχνολογία»
- Καρτάλης Κ., Φείδας Χ., (2007), «Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης», Β. ΓΚΙΟΥΡΔΑΣ ΕΚΔΟΤΙΚΗ, ΑΘΗΝΑ.
- Torricella F., Cattani E., Levizzani V., 2008: Rain area delineation by means of multispectral cloud characterization from satellite., Adv. Geosci., 17, 43-47.
- Akriditis, D. et al, 2010: A deep stratospheric intrusion event down to the earth's surface of the megacity of Athens. Meteorol. Atmos. Phys. 109, 9-18.
- Feidas H. and Giannakos A., 2011 : Identifying precipitating clouds in Greece using multispectral infrared Meteosat Second Generation satellite data. Theor Appl Climatol 104:25-42.
- Georgiev C. & Santurette P., 2005: Interpretation Guide to MSG Water Vapour channels. Publised in site of EUMESAT www.eumetsat.int/groups/cps/documents/document/pdf_conf_p46_s3_04_georgi ev_v.pdf, 9pp.
- Giannakos A. & Feidas H., 2011: Detection of rainy clouds based on their spectral and textural features on Meteosat multispectral infrared data. EUMETSAT Meteorological Satellite Conference 5-9 September 2011, Oslo, Norway, 8pp.
- Kerkmann J., 2010: Applications of Meteosat Second Generation (MSG) The Airmass RGB Product. Eumetsat, 110pp.
- Meteorological Chart Site: http://www1.wetter3.de/archiv_gfs_en
- The automatic weather stations NOANN network of the National Observatory of Athens: operation and database K. Lagouvardos*, V. Kotroni, A. Bezes, I. Koletsis, T. Kopania, S. Lykoudis, N. Mazarakis, K. Papagiannaki and S. Vougioukas National Observatory of Athens, Institute for Environmental Research and Sustainable Development, Athens, Greece.