



ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΥΤΩΝ

ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΒΑΓΓΕΛΗΣ ΜΑΡΑΝΤΙΔΗΣ

ΧΑΝΙΑ 2013

Περιεχόμενα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ABSTRACT.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	8
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ	8
2.1 Ορισμός και εφαρμογές της μετεωρολογίας.....	8
2.2 Η κατάσταση της ατμόσφαιρας	9
2.3 Μετεωρολογικές Παρατηρήσεις	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	16
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ.....	16
3.1 Ιστορία των μετεωρολογικών δορυφόρων	16
3.2 Τα είδη των μετεωρολογικών δορυφόρων	17
3.4 Τηλεπισκόπηση	20
3.4.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία	22
3.4.2 Αρχή λειτουργίας της τηλεσκόπησης	24
3.4.3 Χαρακτηριστικά των συστημάτων τηλεπισκόπησης.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	33

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ.....	33
4.1 Εικόνες από τους Μετεωρολογικούς δορυφόρους για την πρόγνωση του καιρού	34
4.1.1 Ορατές εικόνες.....	34
4.1.2 Υπέρυθρες εικόνες.....	36
4.1.3 Απεικονίσεις Υδρατμών	38
4.1.4 Απεικονίσεις μετεωρολογικών δορυφόρων με μικροκύματα	39
4.2 Εφαρμογές μετεωρολογικών δορυφόρων.....	41
4.2.1 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών των σύννεφων	41
4.2.2 Εκτίμηση της βροχής	44
4.2.3 Προσδιορισμός της ταχύτητας και της κατεύθυνσης των ανέμων	45
4.2.4 Μετρήσεις της θερμοκρασίας στο στρώμα του εδάφους.....	46
4.2.5 Εφαρμογές των μετεωρολογικών δορυφόρων στην ωκεανογραφία	47
4.2.6 Χρήση των μετεωρολογικών δορυφόρων για τη μελέτη «βίαιων» καιρικών φαινομένων.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	51
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	52

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1: Η κάθετη κατανομή θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα[6].....	10
Σχήμα 2.2: Ανιχνευτής ραδιοβολίδας [9]	13
Σχήμα 2.3: Εικόνα από ραντάρ [10]	14
Σχήμα 3.1: Δίκτυο παρακολούθησης με μετεωρολογικούς δορυφόρους[11].	17
Σχήμα 3.2: Γεωστατική τροχιά μετεωρολογικών δορυφόρων[13].....	18
Σχήμα 3.3: Πολική τροχιά δορυφόρων[15].....	19
Σχήμα 3.4: Τροχιά συγχρονισμένη με τον ήλιο [17].....	20
Σχήμα 3.5: Απεικόνιση της διαδικασίας τηλεπισκόπησης από δορυφόρο με αισθητήρα [20]	22
Σχήμα 3.6: Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας[18].....	23
Σχήμα 3.7: Ενεργοί και παθητικοί αισθητήρες [22].....	26
Σχήμα 3.8: Πλέγμα υψηλής και χαμηλής χωρικής ανάλυσης[25]	28
Σχήμα 3.9: Ανάλυση του φάσματος της ορατής ακτινοβολίας[23]	29
Σχήμα 3.10: Εικόνες διαφορετικής ραδιομετρικής ανάλυσης [27].....	31
Εικόνα 4.1: Παράδειγμα ορατής εικόνας από μετεωρολογικούς δορυφόρους[31].....	35
Σχήμα 4.2: Υπέρυθρη εικόνα από μετεωρολογικό δορυφόρο[32]	37
Σχήμα 4.3: Απεικόνιση νερού υδρατμού από μετεωρολογικό δορυφόρο[33]	39
Σχήμα 4.4 Εικόνα μικροκυμάτων από μετεωρολογικό δορυφόρο[30]	40

Σχήμα 4.5: Ορατή εικόνα από μετεωρολογικό δορυφόρο (GOES) που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των παραμέτρων των σύννεφων[30]--	43
Σχήμα 4.6: Υπέρυθρη εικόνα από μετεωρολογικό δορυφόρο (GOES) που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των παραμέτρων των σύννεφων[36].....	44
Σχήμα 4.7: Κατανομή βροχής όπως καταγράφηκε σε τροπική καταιγίδα πάνω από τη Βόρεια Κίνα[37].....	45
Σχήμα 4.8: Απεικόνιση χάρτη ανέμων μετά τον τυφώνα Κατρίνα όπως καταγράφηκε από μετεωρολογικό δορυφόρο[39].....	46
Σχήμα 4.9: Θερμικός Χάρτης με υπέρυθρη απεικόνιση[39]	47
Σχήμα 4.10: Μεταβολή του ύψους της επιφάνειας της θάλασσας όπως παρατηρείται από μετεωρολογικό δορυφόρο[40].....	48
Σχήμα 4.11: Τυφώνας Sandy[42].....	50

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι αποτελούν ένα εργαλείο παρακολούθησης της ατμόσφαιρας της γης από το διάστημα. Η μετεωρολογία ήταν η πρώτη επιστήμη που αξιοποίησε τους μετεωρολογικούς δορυφόρους για την παρακολούθηση των καιρικών φαινομένων και την πρόβλεψη ακραίων καιρικών φαινομένων χρησιμοποιώντας παράλληλα τις θετικές επιστήμες. Η εξέλιξη των μετεωρολογικών δορυφόρων συμβαδίζει με την εξέλιξη των μαθηματικών και των φυσικών επιστημών αλλά και με την εξέλιξη της ανάπτυξης της εικόνας.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια ανασκόπηση της τεχνολογίας των μετεωρολογικών δορυφόρων με ιδιαίτερη έμφαση στις εφαρμογές τους. Παρουσιάζονται τα βασικότερα στοιχεία τους και οι εφαρμογές τους και αναλύεται η σημασία τους στην μετεωρολογία. Παρά τη σημαντική εξέλιξη της τεχνολογίας των μετεωρολογικών δορυφόρων υπάρχει περιθώριο για την περαιτέρω εξέλιξή τους και την ακόμη αποτελεσματικότερη χρήση τους ως εργαλεία πρόγνωσης και πρόβλεψης.

ABSTRACT

Meteorological satellites provide a tool for monitoring the Earth's atmosphere from space. Meteorology was the first science utilized meteorological satellites for monitoring and predicting extreme weather events by using science. The evolution of meteorological satellites is consistent with the evolution of mathematics and natural sciences but also with the development trend of the image technology.

In the present work an overview of the technology of meteorological satellites with particular emphasis on its applications is presented. Their basic elements and its meaning for meteorology applications is analysed. It is proved that despite the breakthrough technology of meteorological satellites there is room for further development and for their more effective use as tools for forecasting and prediction.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Ποτηριάδη Γιώργο από την Ε.Μ.Υ. για το αρχικό υλικό που μου διέθεσε για την επίτευξη της εργασίας, καθώς και την υποστήριξη που μου παρείχε σε όποια δυσκολία αντιμετώπιζα.

Επίσης θέλω να ευχαριστώ τον κύριο Λέκκα Μανώλη που ήταν επιβλέπων καθηγητής για την εργασία αυτή και συνετέλεσε στην επίτευξή της.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστώ και τους γονείς μου που στάθηκαν όλα αυτά τα χρόνια στο πλευρό μου αφηφώντας τις όποιες δυσκολίες που μπορεί να είχαν και παρέχοντας μου πάντα ότι χρειαζόταν για να πραγματοποιήσω τους στόχους μου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μετεωρολογία αποτελεί μια πανάρχαια επιστήμη που ασχολείται με την παρατήρηση των καιρικών φαινομένων και βασίζεται στις θετικές επιστήμες. Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι αποτελούν ένα εργαλείο για την ορθότερη παρατήρηση και συλλογή των καιρικών φαινομένων ακόμα και στις περιοχές που η ατμόσφαιρα δεν είναι εύκολο να προσεγγιστεί.

Στην αρχή της εφαρμογής της μετεωρολογίας οι μετεωρολόγοι είχαν δυσκολία στην δουλειά τους δεδομένου ότι μπορούσαν να έχουν πολύ περιορισμένη γνώση της κατάστασης που επικρατούσε στην ατμόσφαιρα κάθε δεδομένη στιγμή. Η ανάπτυξη των μετεωρολογικών δορυφόρων βοήθησαν σημαντικά στην καλύτερη παρατήρηση των φαινομένων[1].

Οι δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιούνται ως α) εργαλείο ανάλυσης β) βοηθάνε στην γρήγορη πρόβλεψη σε σύντομο χρονικό διάστημα γ) μπορούν να αποτελέσουν δεδομένα εισόδου σε μαθηματικά μοντέλα πρόβλεψης για τον καθορισμό των αρχικών συνθηκών δ) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση του μοντέλου πρόβλεψης[1].

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι μετεωρολογικοί δορυφόροι ως εργαλείο της μετεωρολογίας. Συγκεκριμένα στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στα βασικά στοιχεία μετεωρολογίας στα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθούν οι μετεωρολογικοί δορυφόροι. Πιο αναλυτικά γίνεται μια σύντομη περιγραφή της επιστήμης της μετεωρολογίας και των φαινομένων που εξετάζει. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά οι μετεωρολογικοί δορυφόροι. Γίνεται μια ιστορική αναδρομή της ανάπτυξης των μετεωρολογικών δορυφόρων, παρουσιάζονται τα σημαντικότερα είδη τους και η λειτουργία τους ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται συγκεκριμένα

παραδείγματα εφαρμογών των μετεωρολογικών δορυφόρων. Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ

2.1 Ορισμός και εφαρμογές της μετεωρολογίας

Η μετεωρολογία όπως ήδη αναφέρθηκε είναι μια επιστήμη που καλύπτει πλήθος επιστημών στην έννοια της παρά το γεγονός πως θεωρείται ότι είναι η βασική επιστήμη πρόβλεψης των καιρικών φαινομένων. Κατά συνέπεια, εκτός από την μελέτη των καιρικών φαινομένων η μετεωρολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή διαφορετικών χρονικών και χωρικών κλιμάκων ενώ εκτείνεται και στις επιστήμες τις σχετικές με τη μελέτη φυσικών καταστροφικών φαινομένων όπως είναι η σεισμολογία, η υδρομετεωρολογία και η αγροτική μετεωρολογία[2].

Στόχος της μετεωρολογίας είναι η απόκτηση δεδομένων που σχετίζονται με τα διάφορα μετεωρολογικά φαινόμενα. Η περιγραφή αυτών των φαινομένων γίνεται ποιοτικά και ποσοτικά. Επιπλέον με τη βοήθεια της μετεωρολογίας τα δεδομένα που συλλέγονται μπορούν να ερμηνευτούν και στην περίπτωση που δεν υπάρχουν να διατυπωθούν οι νόμοι που τα διέπουν. Μέσα στους στόχους της μετεωρολογίας συγκαταλέγονται και η σαφής ανάλυση και πρόγνωση των καιρικών φαινομένων όπως επίσης και ο καθορισμός των δυνάμεων που ρυθμίζουν τα καιρικά φαινόμενα και τις καταστάσεις της ατμόσφαιρας[3].

Λόγω του εύρους των αντικειμένων που εμπλέκονται στην μετεωρολογία αυτή μπορεί να διακριθεί στους ακόλουθους κλάδους[3]:

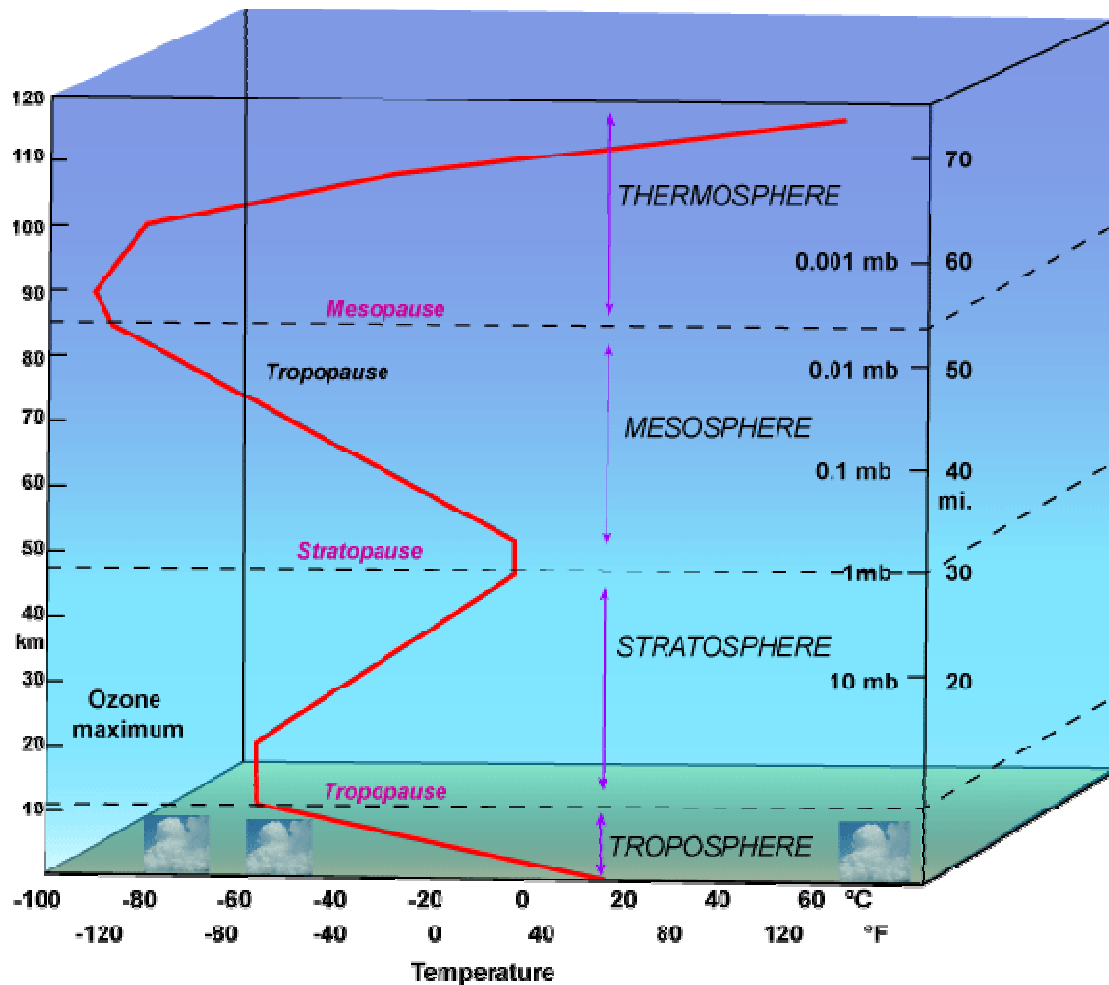
- ✓ Πρακτική ενόργανη μετεωρολογία-στην οποία πραγματοποιείται η παρατήρηση των φαινομένων με τη βοήθεια κατάλληλων οργάνων.

- ✓ Γενική Μετεωρολογία στην οποία εξετάζονται τα μετεωρολογικά φαινόμενα και οι μεταξύ τους σχέσεις
- ✓ Φυσική μετεωρολογία στην οποία εξετάζονται τα θερμοδυναμικά τα οπτικά και ακουστικά φαινόμενα
- ✓ Περιγραφική μετεωρολογία στην οποία πραγματοποιείται η περιγραφή των μετεωρολογικών φαινομένων και
- ✓ Δυναμική μετεωρολογία στην οποία περιγράφονται οι λειτουργίες της ατμόσφαιρας και οι μεταβολές της ενέργειας που σχετίζονται με αυτήν.
- ✓ Συνοπτική μετεωρολογία στην οποία περιλαμβάνονται οι μέθοδοι ανάλυσης και πρόγνωσης του καιρού.
- ✓ Αερολογία στην οποία μελετάται η ανώτερη ατμόσφαιρα
- ✓ Μακρομετεωρολογία στην οποία μελετώνται οι μεγάλης κλίμακας διεργασίες της ατμόσφαιρας
- ✓ Μεσομετεωρολογία στην οποία μελετώνται οι μικρότερης κλίμακας διαταράξεις της ατμόσφαιρας και
- ✓ Μικρομετεωρολογία στην οποία μελετώνται τα φαινόμενα μικρής κλίμακας σε αποστάσεις κοντινές του εδάφους.

2.2 Η κατάσταση της ατμόσφαιρας

Η ατμόσφαιρα αποτελείται κατά 78% από άζωτο και 21% οξυγόνο. Το υπόλοιπο 1% είναι αργό. Εκτός από αυτά τα βασικά στοιχεία στην ατμόσφαιρα ανιχνεύονται και άλλα στοιχεία όπως η υγρασία, το διοξείδιο του άνθρακα, το νέον, το ήλιο το κρυπτό, το υδρογόνο και το όζον. Παρά το γεγονός πως τα στοιχεία αυτά ανιχνεύονται σε απειροελάχιστες ποσότητες έχουν σημαντικό ρόλο στη θερμική δομή της ατμόσφαιρας αφού σε αυτά οφείλεται η απορρόφηση της ακτινοβολίας και η παγίδευση της θερμότητας[4].

Στην ατμόσφαιρα η κατανομή της θερμοκρασίας χωρίζεται σε τέσσερις διακριτές ζώνες[5]: στην τροπόσφαιρα, στη στρατόσφαιρα, στη μεσόσφαιρα και στη θερμόσφαιρα.



Σχήμα 2.1: Η κάθετη κατανομή θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα[6]

Η τροπόσφαιρα αποτελεί το στρώμα της ατμόσφαιρας που περιλαμβάνει τουλάχιστον 80% της υγρασίας, των σύννεφων και της βροχόπτωσης στην γήινη ατμόσφαιρα. Σε αυτήν η θερμοκρασία μειώνεται καθώς αυξάνεται το ύψος από το έδαφος.

Στην τροπόσφαιρα λαμβάνουν χώρα τα περισσότερα καιρικά φαινόμενα και διαιρείται σε δύο επιμέρους στρώματα: το πλανητικά ελεύθερο στρώμα και την ελεύθερη ατμόσφαιρα[5].

Το πλανητικά ελεύθερο στρώμα ορίζεται ως το τμήμα της ατμόσφαιρας που επηρεάζεται άμεσα και πιο ισχυρά από την παρουσία της επιφάνειας στην γη και αποτελεί σημαντικό ατμοσφαιρικό στοιχείο επειδή είναι το τμήμα στο οποίο πραγματοποιούνται όλες οι ανθρώπινες δραστηριότητες και στο οποίο

υπάρχει το μεγαλύτερο μέρος της ατμόσφαιρας και το έδαφος και επηρεάζει τον καιρό.

Η ελεύθερη ατμόσφαιρα είναι ακριβώς πάνω από το οριακό στρώμα και δεν επηρεάζεται άμεσα από τις τοπικές δυνάμεις της επιφάνειας. Παρά το γεγονός πως η ροή του αέρα υπάρχει ανάμεσα στο οριακό στρώμα και την ελεύθερη ατμόσφαιρα σε ειδικές περιστάσεις αυτή μπορεί να περιοριστεί σημαντικά. Οι διαφορές των δύο στρωμάτων της τροπόσφαιρας συνοψίζονται στις ακόλουθες ιδιότητες[5]:

- ✓ **Τύρβη:** Στο οριακό στρώμα η ροή του αέρα είναι σχεδόν πάντα τυρβώδης σε όλο το εύρος του ενώ στην ελεύθερη ατμόσφαιρα η τύρβη είναι εμφανής μόνο στα σύννεφα συναγωγής
- ✓ **Τριβή:** Το οριακό στρώμα έχει μεγάλο συντελεστή συναγωγής σε σχέση με την επιφάνεια της γης ενώ υπάρχει και μεγάλη διάχυση ενέργειας. Στην ελεύθερη ατμόσφαιρα αντίθετα ο συντελεστής τριβής είναι μικρός.
- ✓ **Διασπορά:** Στο οριακό επίπεδο υπάρχει γρήγορη τυρβώδης ανάμιξη κάθετα και οριζόντια ενώ στην ελεύθερη ατμόσφαιρα παρατηρείται μικρή μοριακή διάχυση η οποία συνοδεύεται από γρήγορη οριζόντια μεταφορά μαζών από μέσους ανέμους.
- ✓ **Άνεμοι:** Οι άνεμοι διασταυρώνονται ισοβαρώς σε γωνία και γίνονται πιο ισχυροί με την αύξηση του ύψους στο οριακό στρώμα ενώ στην ελεύθερη ατμόσφαιρα είναι παράλληλοι στις ισοβαρείς σε όλα τα στρώματα.
- ✓ **Κάθετη μεταφορά:** Η τύρβης προϋποθέτει κάθετη ανάμιξη στο οριακό στρώμα ενώ στην ελεύθερη ατμόσφαιρα είναι κυρίαρχοι μέσοι άνεμοι.
- ✓ **Πάχος:** Το πάχος του οριακού στρώματος ποικίλει από 100m έως 3km ενώ στην ελεύθερη ατμόσφαιρα δεν μεταβάλλεται (7-17km) και εξαρτάται από τις συντεταγμένες της περιοχής και τις εποχές.

2.3 Μετεωρολογικές Παρατηρήσεις

Οι μετεωρολογικές παρατηρήσεις πραγματοποιούνται με δίκτυα παρατηρήσεων, παρατηρήσεις της επιφάνειας, ραδιοβολίδες, ραντάρ και δορυφόρους[5]

Δίκτυα Παρατηρήσεων

Η πρόβλεψη του καιρού κάθε χρονική στιγμή μπορεί να πραγματοποιηθεί με εμπειρικές ή αριθμητικές μεθόδους αλλά απαραίτητη προϋπόθεση για τους μετεωρολόγους είναι να γνωρίζουν τον καιρό τη δεδομένη στιγμή. Οι πληροφορίες για την κατάσταση της ατμόσφαιρας συλλέγονται από την παρατήρηση δεδομένων μετεωρολογικών παραμέτρων.

Οι περιβαλλοντικές συνθήκες καταγράφονται από τους εκατοντάδες σταθμούς καιρού παγκοσμίως, που σχηματίζουν ένα δίκτυο σε όλον τον πλανήτη. Παρά το γεγονός πως κάθε χώρα είναι υπεύθυνη για τους δικούς της σταθμούς υπάρχουν διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα και διαδικασίες για την καταγραφή και την μεταφορά των δεδομένων[7].

Οι πληροφορίες για τον καιρό διακρίνονται στις πληροφορίες από τα επιφανειακά δεδομένα και τα δεδομένα του ανώτερου στρώματος του αέρα. Το δίκτυο της επιφάνειας αποτελείται από την ανθρώπινη παρατήρηση και τις αυτόματες παρατηρήσεις που καταγράφονται από αισθητήρες στο έδαφος. Σε όλον τον κόσμο υπάρχουν περίπου 900 σταθμοί παρατήρησης του ανώτερου στρώματος του αέρα οι περισσότεροι από τους οποίους βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο[7].

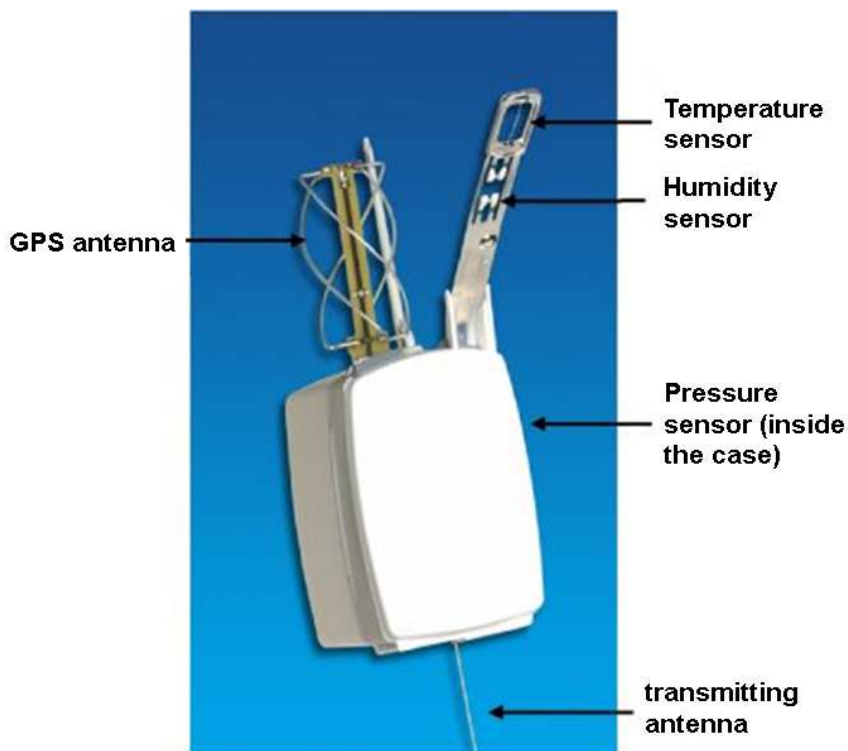
Παρατηρήσεις της επιφάνειας

Οι συνοπτικές παρατηρήσεις πραγματοποιούνται στην επιφάνεια της γης σε συγκεκριμένες ώρες της μέρας και συγκεκριμένα τέσσερις φορές σε όλους τους σταθμούς του κόσμου. Οι συνήθεις επιφανειακές παρατηρήσεις περιλαμβάνουν την πίεση, τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου, τη συννεφιά, την ταχύτητα του ανέμου και την κατεύθυνση, τον ισχύοντα καιρό και την

κατανομή της πίεσης. Οι παρατηρήσεις αυτές μεταφέρονται κάθε έξι ώρες σε ένα πρότυπο κώδικα που περιλαμβάνει το καθορισμό του σταθμού και τον παρατηρούμενο καιρό[8].

Ραδιοβολίδες

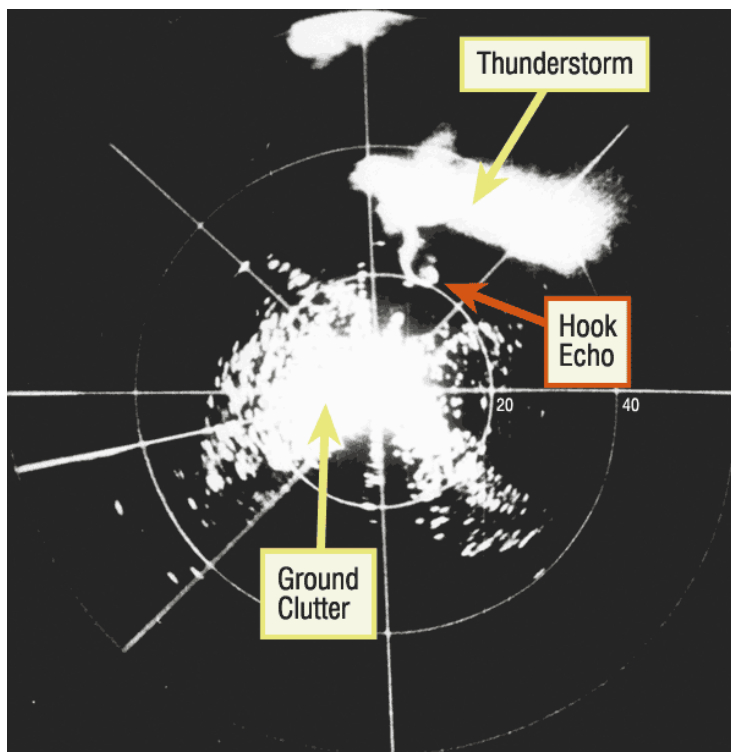
Οι παρατηρήσεις των ανωτέρων αλλά και κατωτέρων στρωμάτων της στρατόσφαιρας πραγματοποιείται δύο φορές τη μέρα. Οι παρατηρήσεις αυτές πραγματοποιούνται με τη χρήση ραδιοβolidων που είναι ανιχνευτές που κινούνται προς τα πάνω με τη βοήθεια μεγάλων μπαλονιών που είναι γεμισμένα με ήλιο ή υδρογόνο. Καθώς οι ραδιοβolidες κινούνται προς τα πάνω οι αισθητήρες μετράνε τις μεταβολές της πίεσης της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Οι πληροφορίες στέλνονται πίσω σε ένα δεδομένο λήπτη και ο ανιχνευτής επιστρέφει πίσω στη γη όταν το μπαλόνι ξεφουσκώσει. Αν κατευθυνθεί η θέση της ραδιοβolidας στην πτήση μπορεί να επιτευχθούν επίσης πληροφορίες για την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου.



Σχήμα 2.2: Ανιχνευτής ραδιοβolidας [9]

Ρανταρ

Τα συστήματα ραντάρ καιρού γενικά χρησιμοποιούν μια παραβολική κεραία που μοιάζει πολύ με τον προβολέα που αντανακλά τα αντικείμενα που είναι στον άξονα του. Από τον πομπό διέρχεται μια στενή δέσμη που σαρώνει τον ουρανό με την αργή περιστροφή της κεραίας ενώ δείχνει τις διαφορετικές γωνίες ανύψωσης πάνω από τον ορίζοντα.



Σχήμα 2.3: Εικόνα από ραντάρ [10]

Δορυφόροι

Οι δορυφόροι που αποτελούν και το αντικείμενο της παρούσας εργασίας χρησιμοποιούνται για τη συλλογή των πληροφοριών που αφορούν στην επιφάνεια της γης και την ατμόσφαιρα της γης. Ο κύκλος των δορυφόρων καιρού στη γη μπορεί να βρίσκονται σε δύο είδη τροχιών[5]:

- ✓ οι γεωστατικοί δορυφόροι των οποίων η τροχιά είναι πολύ πάνω από τον ισημερινό και έχουν την ίδια ταχύτητα περιστροφής με τη γη και έτσι παραμένουν σταθεροί στην ίδια τοποθεσία.
- ✓ Οι δορυφόροι με πολική τροχιά που συνήθως τοποθετούνται σε απόσταση 850km πάνω από την επιφάνεια της γης και οι οποίοι περνάνε πάνω από τις πολικές περιοχές της γης κάθε φορά που περιστρέφονται γύρω από αυτήν ενώ περνάνε πάνω από το μέσο γεωγραφικό πλάτος δύο φορές ημερησίως.

Οι περισσότεροι δορυφόροι που χρησιμοποιούνται είναι γεωστατικοί δηλαδή μένουν πάνω από ένα συγκεκριμένο σημείο της γης με αποτέλεσμα εξαιτίας της απόστασης τους από τον ισημερινό όσο μεγαλύτερο είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής που τείνουν να παρατηρήσουν τόσο χειρότερη εικόνα δίνουν. Κατά συνέπεια για ευκρινείς εικόνες σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη είναι προτιμότεροι οι πολικοί δορυφόροι[5].

Στα επόμενα κεφάλαια θα παρουσιαστούν οι διαφορετικοί μετεωρολογικοί δορυφόροι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή δεδομένων και οι εφαρμογές τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ

3.1 Ιστορία των μετεωρολογικών δορυφόρων

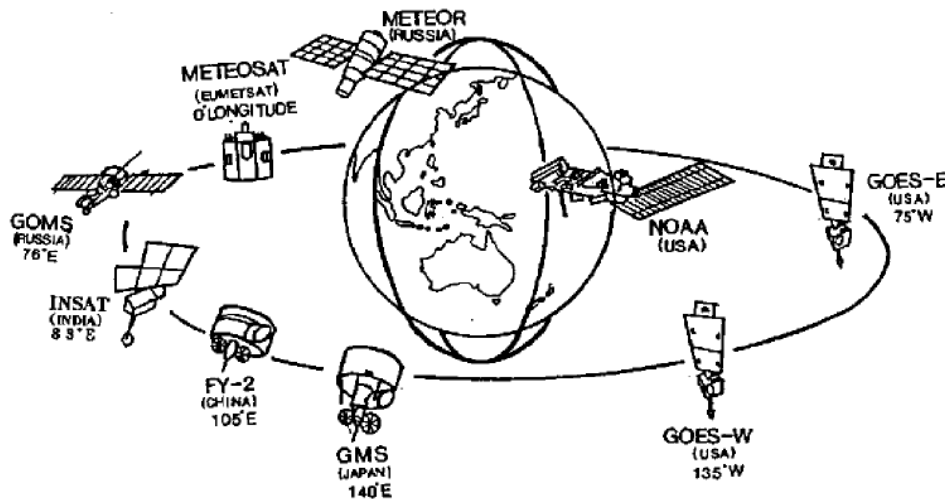
Ο πρώτος δορυφόρος ήταν ο Sputnik ενώ ο πρώτος μετεωρολογικός δορυφόρος καταγράφηκε πως ήταν ο TIROS-1 ο οποίος λειτούργησε για μια τριετία πριν προσγειωθεί στην Αμερική τον Απρίλη του 1960[11]. Για έξι χρόνια μετά περίπου 10 δορυφόροι που άνηκαν στην σειρά TIROS τέθηκαν σε λειτουργία προκειμένου να πραγματοποιηθεί η συλλογή διαφορετικών δεδομένων και να πραγματοποιηθούν διάφορα πειράματα. Οι συγκεκριμένοι δορυφόροι χαρακτηρίζονται ως χαμηλού υψομέτρου.

Το 1966 ο πρώτος γεωστατικός μετεωρολογικός δορυφόρος ο ATS-1 απογειώθηκε από τις ΗΠΑ και επιβεβαίωσε το γεγονός πως η παρατήρηση μέσω δορυφόρων ήταν αποτελεσματική για τα μετεωρολογικά δεδομένα. Το 1963 ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (World Meteorological Organization, WMO) δημιούργησε μέσω ενός προγράμματος ένα παγκόσμιο δίκτυο παρακολούθησης των μετεωρολογικών φαινομένων. Στο πλαίσιο αυτό διάφορες χώρες ενσωμάτωσαν τους μετεωρολογικούς του δορυφόρους δημιουργώντας ένα παγκόσμιο δίκτυο παρακολούθησης που αποτελούταν από 5 γεωστατικούς δορυφόρους και 2 δορυφόρους πολικής τροχιάς στην αρχή της δεκαετίας του 1980. Οι πρώτοι μετεωρολογικοί δορυφόροι παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Ιστορία των μετεωρολογικών δορυφόρων[11]

Έτος	Γεγονός	Χώρα
1960	Πρώτος μετεωρολογικός δορυφόρος TIROS	ΗΠΑ
1966	Πρώτος γεωστατικός μετεωρολογικός δορυφόρος	ΗΠΑ
1970	Εκτοξεύονται η σειρά NOAA	ΗΠΑ
1975	GOES	ΗΠΑ
1977	GMS και METEOSTAT	Ιαπωνία, Ευρώπη
1982	INSAT	Ινδία
1994	GOMS	Ρωσία

Μετά τη δημιουργία του δικτύου γεωστατικών δορυφόρων έθεσαν σε λειτουργία και η Κίνα και η Ρωσία ενώ το δίκτυο των μετεωρολογικών παρατηρήσεων φαίνεται στο σχήμα 3.1



Σχήμα 3.1: Δίκτυο παρακολούθησης με μετεωρολογικούς δορυφόρους[11]

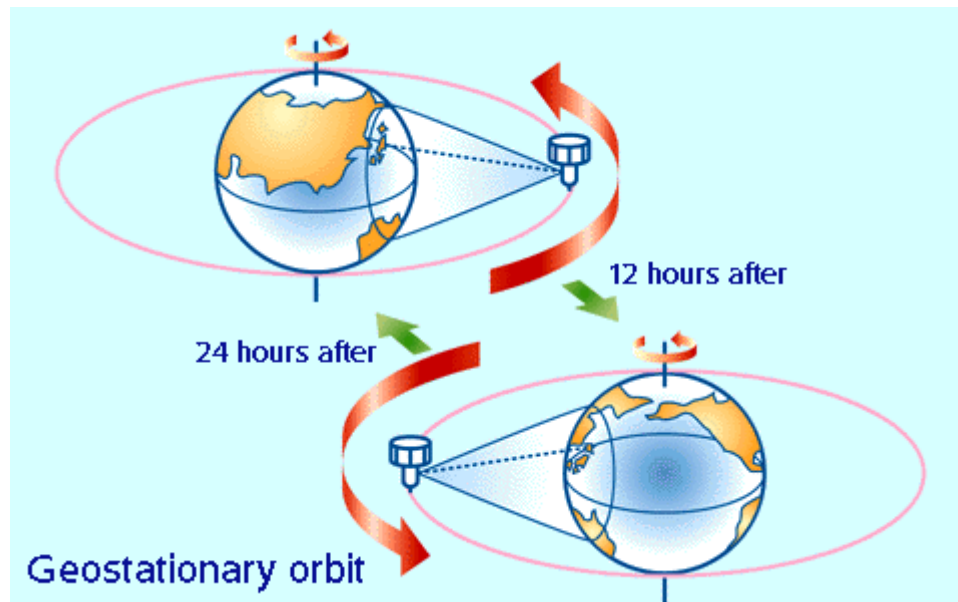
3.2 Τα είδη των μετεωρολογικών δορυφόρων

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την τροχιά που ακολουθούν κατά τη λειτουργία τους: στους δορυφόρους με πολική τροχιά και στους δορυφόρους με γεωστατική τροχιά[1].

Οι γεωστατικές τροχιές είναι τροχιές που ακολουθούν οι δορυφόροι έτσι ώστε να μπορούν κάθε χρονική στιγμή να βρίσκονται πάνω από το ίδιο σημείο της Γης. Οι περισσότεροι γεωστατικοί δορυφόροι κινούνται πάνω από ένα ορισμένο μήκος του ισημερινού σε υψόμετρο περίπου 36000 km ή περίπου στο 1/10 της απόστασης από τη Σελήνη[12].

Οι γεωστατικοί δορυφόροι ολοκληρώνουν μια πλήρη τροχιά σε 24 ώρες και είναι συγχρονισμένοι με την περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της. Το βασικό τους πλεονέκτημα εντοπίζεται στην υψηλή χρονική κλίμακα ανάλυσης των δεδομένων τους. Η ανανέωση της εικόνας από την γη πραγματοποιείται

κατά μέσο όρο σε χρόνο 30 λεπτών. Το μειονέκτημα των συγκεκριμένων δορυφόρων είναι πως έχουν περιορισμένη χωρική ανάλυση συγκριτικά με τους πολικούς δορυφόρους σε σχέση με την απόστασή τους από τη γη. Οι πιο γνωστοί γεωστατικοί δορυφόροι είναι οι GMS (140° E), οι INSAT 1 και 2 ο METEOSTAT-5 που είναι τοποθετημένος 64° E.

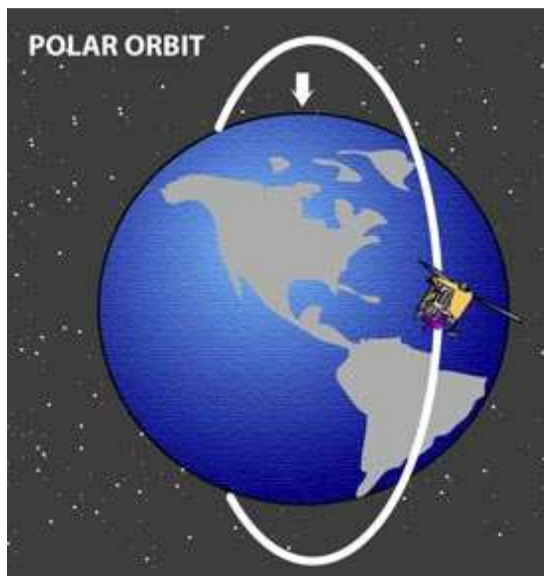


Σχήμα 3.2: Γεωστατική τροχιά μετεωρολογικών δορυφόρων[13]

Οι γεωστατικοί δορυφόροι είναι κατάλληλοι για την παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών που απαιτούν κρίσιμες πληροφορίες για τη δυναμική της ατμόσφαιρας και την βραχυπρόθεσμη πρόγνωση του καιρού. Ο συνδυασμός πολλών γεωστατικών δορυφόρων επιτρέπει την παρακολούθηση του καιρού σε όλη τη γη. Οι συγκεκριμένοι δορυφόροι καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο με αποτέλεσμα σε γεωστατική τροχιά να μπορεί να τοποθετηθεί συγκεκριμένος αριθμός δορυφόρων αφού υπάρχουν ελάχιστα κενά διαθέσιμα. Αυτό προκαλεί σύγκρουση ανάμεσα σε διάφορες χώρες που θέλουν να τοποθετήσουν δορυφόρους στα ίδια τροχιακά κενά. Με δεδομένο ότι είναι σταθερό στις 0° το γεωγραφικό μήκος οι τοποθεσίες των δορυφόρων διαφέρουν μόνο ως προς το γεωγραφικό πλάτος[14].

Οι γεωστατικοί δορυφόροι έχουν χαμηλή χωρική ανάλυση εξαιτίας του υψηλού τους υψόμετρου ενώ στις 60-70° η χωρική ανάλυση είναι πολύ μικρότερη.

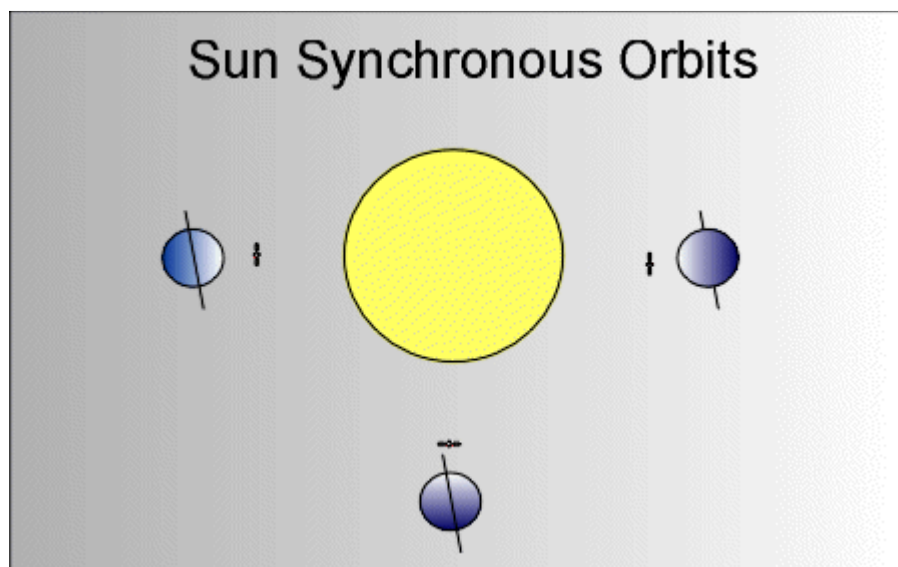
Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι πολικής τροχιάς περνάνε προσεγγιστικά από τους πόλους σε ύψος περίπου 850km. Η συνολική επιφάνεια της γης μπορεί να παρατηρηθεί από αυτούς τους δορυφόρους οι οποίοι ακολουθούν τροχιές σχεδόν σταθερές στο διάστημα ενώ η γη περιστρέφεται κάτω από αυτούς. Γενικά οι δορυφόροι πολικής τροχιάς καλύπτουν όλη την επιφάνεια της γης και οι τροχιές τους τέμνουν το Βόρειο Πόλο στο ίδιο σημείο. Κατά συνέπεια το σημείο τομής διαφορετικών μετεωρολογικών δορυφόρων με πολικές τροχιές θα είναι πάνω από τον Βόρειο Πόλο[15].



Σχήμα 3.3:Πολική τροχιά δορυφόρων[15]

Εκτός από τις γεωστατικές και πολικές τροχιές των δορυφόρων υπάρχουν και οι τροχιές που είναι συγχρονισμένες με τον ήλιο. Οι δορυφόροι που ακολουθούν αυτές τις τροχιές έχουν σχεδόν κυκλική τροχιά και καλύπτουν κάθε περιοχή της γης σε σταθερό τοπικό χρόνο που ονομάζεται ηλιακός χρόνος. Για δεδομένο γεωγραφικό μήκος η θέση του ήλιου στον ουρανό καθώς ο δορυφόρος περνά από εκεί επαναλαμβάνεται για την ίδια εποχή[16].

Αυτό εξασφαλίζει σταθερές συνθήκες φωτισμού κατά την απόκτηση εικόνων σε μια συγκεκριμένη περίοδο κατά τη διάρκεια διαδοχικών ετών.



Σχήμα 3.4: Τροχιά συγχρονισμένη με τον ήλιο [17]

Η κλίση αυτών των δορυφόρων επιλέγεται έτσι ώστε το τροχιακό επίπεδο γύρω από τη γη να διατηρείται όλο το χρόνο σε σταθερή γωνία σε σχέση με μια νοητή γραμμή ανάμεσα στη γη και στον ήλιο. Η εκκεντρικότητα και το υψόμετρο της τροχιάς ευθύνονται για αυτό το αποτέλεσμα και καθιστούν την τροχιά των δορυφόρων ανάδρομη.

Όταν η τροχιά του δορυφόρου συμπίπτει με το επίπεδο που χωρίζει το ημισφαίριο της γης που είναι φωτεινό με το σκοτεινό ημισφαίριο αυτή ονομάζεται dawn to dusk τροχιά η οποία αποτελεί ειδική τροχιά συγχρονισμένη με τον ήλιο[17]. Αν το επίπεδο έχει λίγο διαφορετική ευθυγράμμιση ο δορυφόρος καταναλώνει κατά το ήμισυ το χρόνο λειτουργίας του στο πλήρως φως του ήλιου και το υπόλοιπο στη σκιά. Με τη συγκεκριμένη τροχιά όμως επιτυγχάνεται η χρήση πάντα ηλιακών συλλεκτών που φωτίζονται από τον ήλιο συνεχώς.

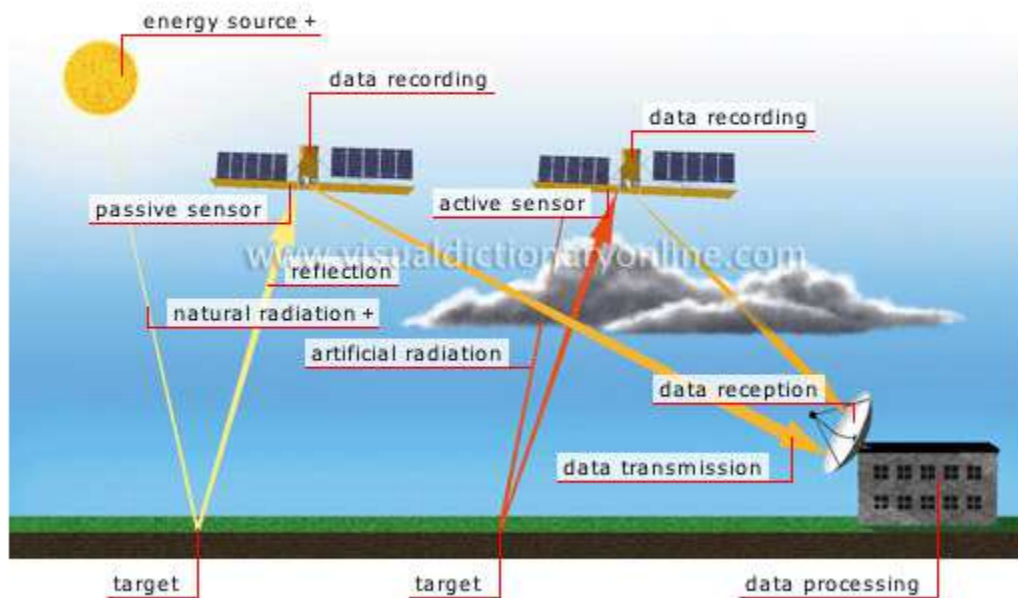
3.4 Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση μπορεί να οριστεί ως η συλλογή και η ερμηνεία των πληροφοριών που αφορούν σε ένα αντικείμενο μια περιοχή ή ένα φαινόμενο χωρίς όμως να υπάρχει επαφή με το αντικείμενο. Οι δορυφόροι αποτελούν το πιο συνηθισμένο μέσο τηλεσκοπίας τόσο της γης όσο και των φυσικών πηγών της[18].

Η ανίχνευση και η διακριτοποίηση των αντικειμένων ή των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης ανιχνεύονται και καταγράφονται από την ανακλώμενη ακτινοβολία ή την αποβαλλόμενη ακτινοβολία των αντικειμένων ή της επιφάνειας. Τα διαφορετικά αντικείμενα επιστρέφουν διαφορετικά ποσά ενέργειας σε διαφορετικές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτό εξαρτάται από τις ιδιότητες των υλικών την τραχύτητα της επιφάνειας τη γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας την πυκνότητα και το μήκος κύματος της εκπομπούμενης ακτινοβολίας[19].

Η τηλεπισκόπηση αποτελεί το συνδυαστικό αποτέλεσμα διαφόρων επιστημών όπως της οπτικής, της φασματοσκοπίας της φωτογραφίας των τηλεπικοινωνιών κτλ οι οποίες συνδυάζονται σε ένα σύστημα. Τα βήματα της διαδικασίας της τηλεπικοινωνίας είναι[19]:

- ✓ Αποβολή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας
- ✓ Μετάδοση ενέργειας από την πηγή στην επιφάνεια της γης απορρόφηση και σκέδαση
- ✓ Αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την επιφάνεια της γης: αντανάκλαση και αποβολή
- ✓ Έξοδος των δεδομένων του αισθητήρα
- ✓ Μετάδοση των δεδομένων, επεξεργασία και ανάλυση



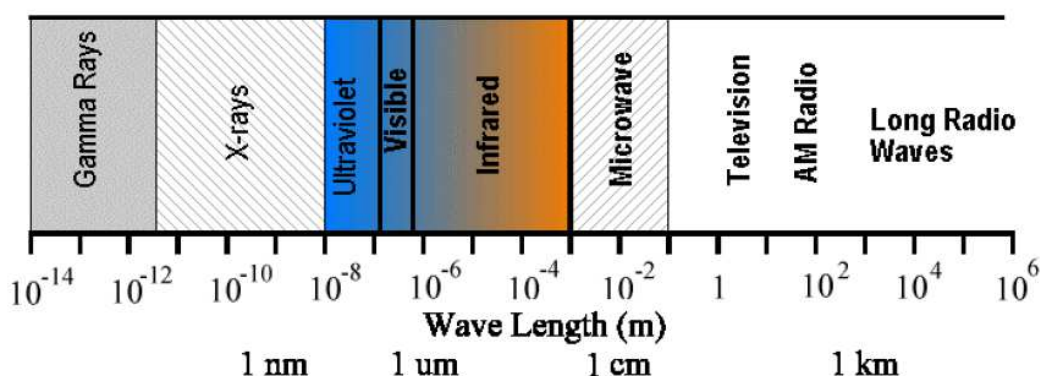
Σχήμα 3.5: Απεικόνιση της διαδικασίας τηλεπισκόπησης από δορυφόρο με αισθητήρα [20]

Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες του μηδενός όλα τα αντικείμενα εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ανάλογα με τις ταλαντώσεις των ατόμων και των μορίων τους. Η συνολική εκπεμπόμενη ακτινοβολία από κάθε σώμα είναι ανάλογη της θερμοκρασίας του. Κάθε σώμα έχει τη δικιά του κατανομή ανακλώμενης, αποβαλλόμενης και απορροφόμενης ακτινοβολίας η οποία χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των αντικειμένων ή τη λήψη πληροφοριών για το σχήμα και τις φυσικές ή χημικές του ιδιότητες.

3.4.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα αποτελεί το συνεχόμενο εύρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τις ακτίνες γάμμα στα ράδιο κύματα και περιλαμβάνει και το ορατό φως. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα αποτελείται από επτά διαφορετικές περιοχές[18]: τις ακτίνες Γ, τις ακτίνες Χ, την υπεριώδη

ακτινοβολία, την ορατή ακτινοβολία την υπέρυθρη, τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα.



Σχήμα 3.6: Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας[18]

Η περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας κυμαίνεται από τα 0.30 έως τα 0.38μm και πήρε το όνομα της από το γεγονός πως βρίσκεται πάνω από την ιώδη περιοχή του ορατού φάσματος της ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία αυτή εκπέμπεται από μερικά στοιχεία της επιφάνειας της γης όπως τα βράχια και τα ορυκτά πετρώματα. Παρόλα αυτά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης με δεδομένο ότι η συγκεκριμένη ακτινοβολία σκεδάζεται σε μεγάλο βαθμό από την γήινη ατμόσφαιρα[19].

Το ορατό φάσμα της ακτινοβολίας κυμαίνεται στην περιοχή 0.4-0.7μm και υποδιαιρείται στο ερυθρό (0.4-0.446μm), στο μπλέ (0.446-0.5μm), στο πράσινο (0.5-0.578μm), στο κίτρινο (0.578-0.592μm) στο πορτοκαλί (0.592-0.62μm) και στο κόκκινο (0.62-0.7μm). Το συγκεκριμένο φάσμα αποτελεί το φάσμα που σχετίζεται με το φως που γίνεται αντιληπτό από την ανθρώπινη όραση και σχετίζεται με την ύπαρξη χρωμάτων. Τα τρία κύρια χρώματα του ορατού φάσματος είναι το κόκκινο το μπλε και το πράσινο. Καθορίζονται ως κύρια γιατί δεν μπορεί να προκύψουν από άλλα χρώματα ενώ όλα τα υπόλοιπα χρώματα προκύπτουν από το συνδυασμό αυτών των τριών σε διάφορες αναλογίες. Το χρώμα ενός αντικειμένου καθορίζεται από το χρώμα της ακτινοβολίας που εκπέμπει.

Το φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας κυμαίνεται από 0.7-100 μ m. Τα μήκη κύματος που είναι μεγαλύτερα από το μήκος κύματος της ερυθρής ακτινοβολίας στο ορατό φάσμα αποτελούν την υπέρυθη ακτινοβολία. Η ανακλώμενη ακτινοβολία διακρίνεται ανάλογα με τις ιδιότητες της ακτινοβολίας σε ανακλώμενη και σε θερμική ακτινοβολία. Η ανακλώμενη ακτινοβολία (0.7-3 μ m) είναι αυτή που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται στην τηλεπισκόπηση. Η θερμική ακτινοβολία (3-35 μ m) είναι η αποβαλλόμενη από τη γη ακτινοβολία με τη μορφή θερμότητας και χρησιμοποιείται επίσης στην τηλεπισκόπηση[19].

Η περιοχή των μικροκυμάτων (1mm-1m) είναι η περιοχή με τα μεγαλύτερα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση. Οι περιοχές σε αυτό το επίπεδο με τα μικρότερα μήκη κύματος έχουν παρόμοιες ιδιότητες με την περιοχή της θερμικής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Το βασικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης ακτινοβολίας είναι ότι μπορεί να διαπερνά ικανοποιητικά τα σύννεφα.

Τέλος η περιοχή των ραδιοκυμάτων (>1m) είναι η περιοχή του φάσματος με το μεγαλύτερο μήκος κύματος και χρησιμοποιείται ευρέως στην μετεωρολογία.

Η τηλεσκοπία μετράει την ενέργεια σε πολλά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Στους δορυφόρους οι αξιοποιήσιμες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι η ορατή ακτινοβολία, η ανακλώμενη και η αποβαλλόμενη ακτινοβολία η περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας και η περιοχή των μικροκυμάτων. Η μέτρηση της ακτινοβολίας καθορίζει τις φασματικές ζώνες που αποτελούν το διακριτό διάστημα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας[18].

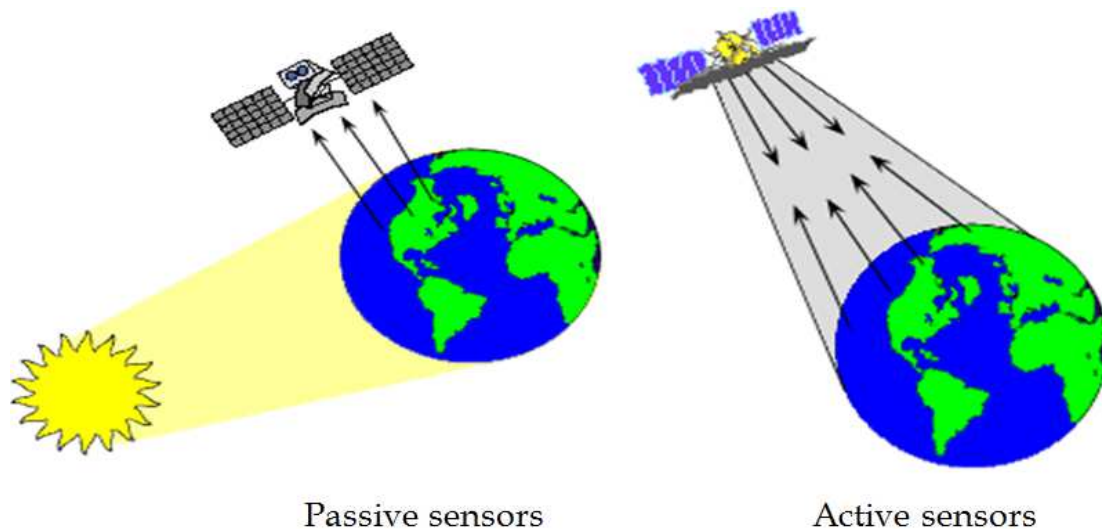
Οι αισθητήρες των δορυφόρων μετράνε τις αποκρίσεις σε μια συγκεκριμένη φασματική ζώνη που μπορεί να διακριτοποιήσει τα κύρια υλικά της γης. Ανάλογα με την εξεταζόμενη περιοχή επιλέγεται και η φασματική ζώνη λειτουργίας των δορυφόρων.

3.4.2 Αρχή λειτουργίας της τηλεσκόπησης

Οι περισσότερες απομακρυσμένες συσκευές τηλεσκόπησης που χρησιμοποιούνται στους δορυφόρους είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να μετράνε φωτόνια. Το βασικό στοιχείο πάνω στο οποίο στηρίζεται η λειτουργία αυτών των αισθητήρων είναι ο ανιχνευτής και η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Σύμφωνα με αυτό γίνεται η αποβολή αρνητικών σωματιδίων (ηλεκτρονίων) όταν μια αρνητικά φορτισμένη πλάκα που αποτελείται από το κατάλληλο υλικό που είναι ευαίσθητο προς την ακτινοβολία δέχεται μια ακτίνα φωτονίων. Το μέγεθος του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος είναι ανάλογο προς την πυκνότητα του φωτός και η οποιαδήποτε αλλαγή του ρεύματος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των μεταβολών των φωτονίων που προσπίπτουν πάνω στον ανιχνευτή σε δεδομένο χρονικό διάστημα[21], Η κινητική ενέργεια των φωτοηλεκτρονίων που απελευθερώνονται εξαρτάται από τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η συχνότητα εκπομπής των ηλεκτρονίων κατά το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο εξαρτάται από το υλικό.

3.4.3 Χαρακτηριστικά των συστημάτων τηλεπισκόπησης

Γενικά τα συστήματα τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιούνται στους μετεωρολογικούς δορυφόρους διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τα παθητικά και τα ενεργητικά. Η διαφορά των δύο συστημάτων είναι πως ενώ στα παθητικά συστήματα δεν υπάρχει αυτογενής πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και εξαρτώνται από την αποβαλλόμενη ή ανακλώμενη ακτινοβολία του αντικειμένου που εξετάζεται στα ενεργά συστήματα χρησιμοποιείται η αυτογενής ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία για τον εντοπισμό του στόχου και στις περισσότερες περιπτώσεις η ανακλώμενη ακτινοβολία χρησιμοποιείται για την αναπαραγωγή πληροφοριών του στόχου[22].



Σχήμα 3.7: Ενεργοί και παθητικοί αισθητήρες [22].

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι όπως και όλοι οι δορυφόροι στην τηλεπισκόπηση χαρακτηρίζονται από τη συλλογή δεδομένων εικόνας η οποία βασίζεται στη χωρική ανάλυση, τη φασματική και τη χρονική ανάλυση[23]..

Χωρική Ανάλυση (Spatial Ανάλυση)

Καθώς ο δορυφόρος κινείται γύρω από τη γη ο αισθητήρας εντοπίζει μια συγκεκριμένη περιοχή της επιφάνειας της Γης. Η περιοχή αυτή απεικονίζεται στην επιφάνεια και ονομάζεται λωρίδα. Η απεικόνιση των λωρίδων μπορεί να γίνει με εύρος από μερικές δεκάδες έως μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα. Καθώς ο δορυφόρος βρίσκεται σε τροχιά γύρω από τη γη από τον ένα πόλο στον άλλο η ανατολικοδυτική του θέση δεν μπορεί να μεταβληθεί αν δεν περιστραφεί η γη. Παρόλα αυτά επειδή η γη περιστρέφεται κάτω από τον δορυφόρο αυτός μετατοπίζεται προς τα δυτικά. Αυτή η κίνηση επιτρέπει την κάλυψη μιας νέας περιοχής σε κάθε πέρασμα. Η περιστροφή της γης σε συνδυασμό με την τροχιά του δορυφόρου επιτρέπουν την πλήρη κάλυψη της επιφάνειας της γης μετά από την ολοκλήρωση ενός αριθμού τροχιών των δορυφόρων[14].

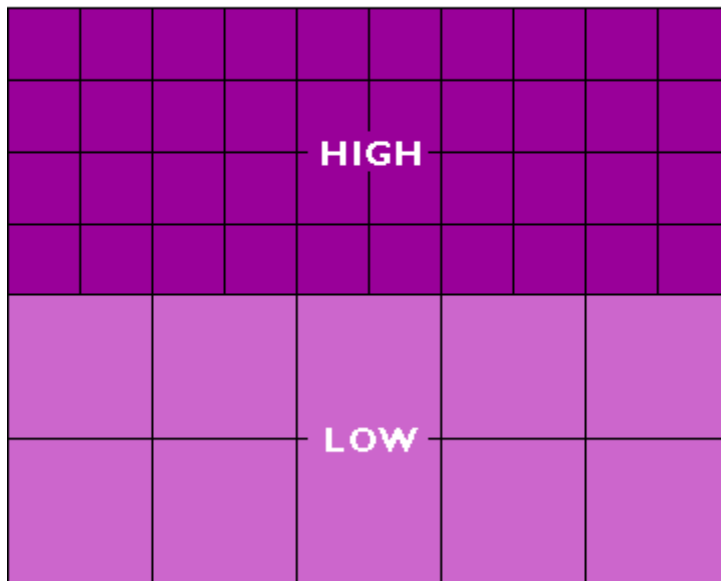
Η χωρική ανάλυση ή χωρική πληροφορία καθορίζει τον αριθμό των πίξελ των εικόνων των δορυφόρων που λαμβάνονται από τη γή. Υπάρχουν δορυφόροι που χαρακτηρίζονται από μεγάλη χωρική ανάλυση (0.6-4m), μεσαία χωρική ανάλυση (4-30m) και χαμηλή χωρική ανάλυση (30-1000m)[23].

Η χωρική ανάλυση των παθητικών αισθητήρων εξαρτάται από το Στιγμιαίο Πεδίο Ορατότητας (Instantaneous Field of View, IFOV) και το ύψος της τροχιάς του δορυφόρου (h). Το IFOV είναι ο γωνιακός κώνος ορατότητας του αισθητήρα ο οποίος καθορίζει της περιοχή της επιφάνειας της γης που πρόκειται να δει από ένα συγκεκριμένο ύψος σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Το IFOV εξαρτάται από την οπτική των αισθητήρων και το μήκος κύματος. Η μέγιστη χωρική ανάλυση του αισθητήρα καθορίζεται από το κελί ανάλυσης επίγειων προβλέψεων IFOV (GIFOV)[14].

Αν το χαρακτηριστικό που πρόκειται να ανιχνευθεί είναι ομογενές το μέγεθος του θα πρέπει να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το GIFOV. Αν το χαρακτηριστικό είναι μικρότερο δεν μπορεί να είναι ανιχνεύσιμο αφού θα καταγραφεί η μέση φωτεινότητα όλων των χαρακτηριστικών σε αυτό το GIFOV.

Οι περισσότερες εικόνες τηλεσκόπησης αποτελούνται από έναν πίνακα πίξελ που αποτελούν τα στοιχεία της εικόνας και είναι τα μικρότερα στοιχεία της εικόνας. Τα πίξελ είναι συνήθως τετράγωνα και απεικονίζουν μια συγκεκριμένη περιοχή της εικόνας. Η χωρική ανάλυση είναι διαφορετικό μέγεθος από το μέγεθος των πίξελ. Αν για παράδειγμα ένας αισθητήρας έχει χωρική ανάλυση 20m και η εικόνα του συγκεκριμένου αισθητήρα είναι σε πλήρη ανάλυση κάθε πίξελ αναπαριστά μια περιοχή 20x20m στο έδαφος το μέγεθος των πίξελ και η ανάλυση ταυτίζονται. Παρόλα αυτά υπάρχουν και εικόνες που απεικονίζονται με το μέγεθος των πίξελ διαφορετικό από το μέγεθος της ανάλυσης[24].

Spatial Resolution



Σχήμα 3.8: Πλέγμα υψηλής και χαμηλής χωρικής ανάλυσης[25]

Οι εικόνες για τις οποίες είναι ορατά μόνο μεγάλα χαρακτηριστικά τους θεωρείται πως έχουν χαμηλή ανάλυση. Στις εικόνες υψηλής ανάλυσης μπορούν να ανιχνευτούν και μικρά αντικείμενα. Χαρακτηριστικοί δορυφόροι μεγάλης ανάλυσης είναι οι στρατιωτικοί δορυφόροι που είναι σχεδιασμένοι για να ανιχνεύουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη λεπτομέρεια στα αντικείμενα που εντοπίζουν. Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η ανάλυση τόσο μικρότερη περιοχή εδάφους απεικονίζεται[24].

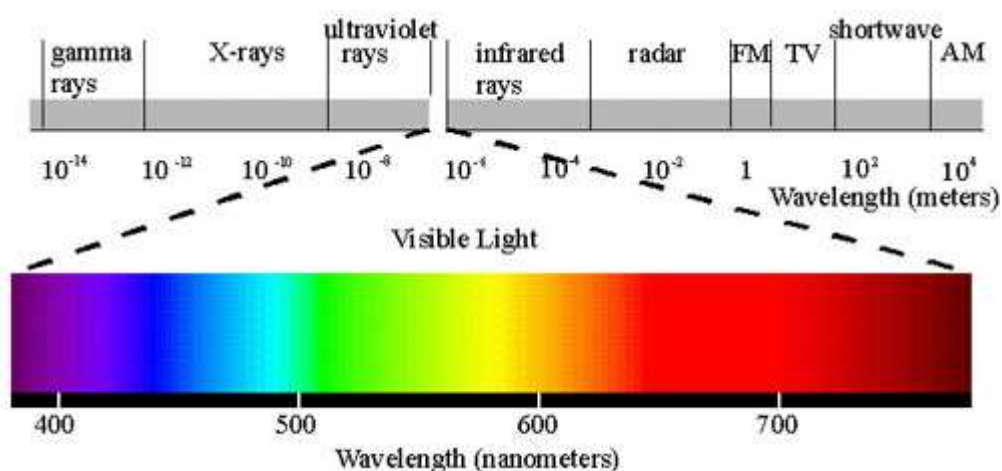
Στους μετεωρολογικούς δορυφόρους η χωρική ανάλυση χρησιμοποιείται για την διαπίστωση της έκτασης της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας των σύννεφων της υγρασίας του εδάφους κτλ. γενικά η χωρική ανάλυση στους συγκεκριμένους δορυφόρους η χωρική ανάλυση αποσκοπεί στη συλλογή πληροφοριών για διδιάστατο επίπεδο[1].

Φασματική Ανάλυση

Ο διαχωρισμός των διαφορετικών χαρακτηριστικών και λεπτομερειών μιας εικόνας μπορεί να διαχωριστούν συγκρίνοντας τις αποκρίσεις τους στα διακριτά επίπεδα μήκους κύματος. Οι γενικές κατηγορίες όπως το νερό και η

βλάστηση μπορεί να εντοπιστεί στους δορυφόρους χρησιμοποιώντας μεγάλα εύρη μήκους κύματος όπως το ορατό και υπέρυθρο φάσμα της ακτινοβολίας.

Όσο μεγαλύτερη ακρίβεια απαιτείται τόσο μεγαλύτερη φασματική ανάλυση είναι απαραίτητη. Γενικά η φασματική ανάλυση περιγράφει την ικανότητα ενός αισθητήρα να ορίζει τα διαφορετικά διαστήματα του μήκους κύματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η φασματική ανάλυση τόσο μικρότερο είναι το εύρος του μήκους κύματος για ένα συγκεκριμένο κανάλι ή ζώνη[24].



Σχήμα 3.9: Ανάλυση του φάσματος της ορατής ακτινοβολίας[23]

Η απλούστερη μορφή φασματικής ανάλυσης είναι ένας αισθητήρας με μια μόνο φασματική ζώνη που ανιχνεύει την ορατή ακτινοβολία. Οι απεικονίσεις από έναν τέτοιο αισθητήρα μοιάζουν με ασπρόμαυρες φωτογραφίες. Όταν οι αισθητήρες του δορυφόρου έχουν τρεις ζώνες φάσματος στην ορατή περιοχή ακτινοβολίας του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας θα συλλέγουν παρόμοιες πληροφορίες με αυτές που είναι ορατές από τον άνθρωπο[18].

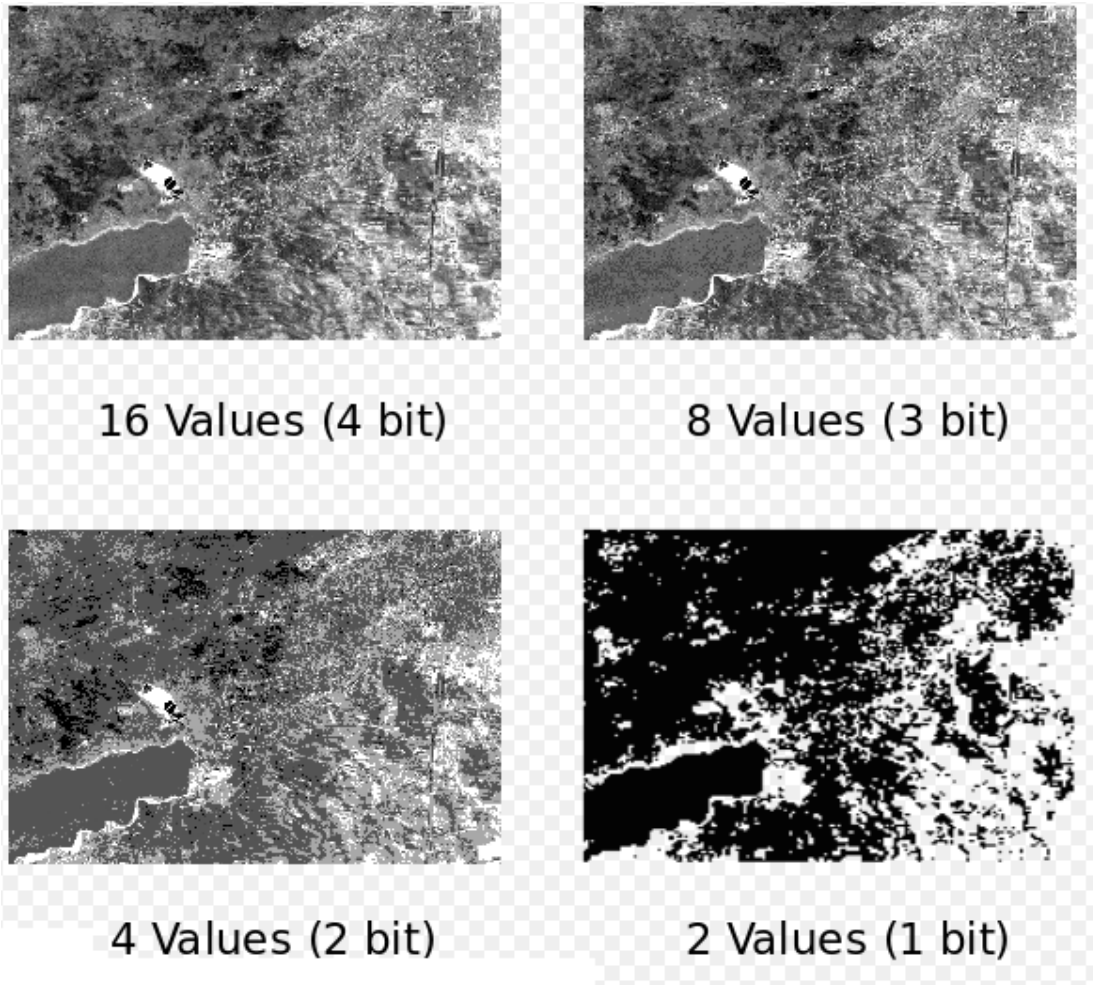
Πολλά συστήματα τηλεσκόπησης έχουν την ικανότητα να καταγράφουν την ενέργεια σε διαφορετικά μήκη κύματος και με διαφορετικές φασματικές αναλύσεις. Τα συστήματα αυτά αποτελούν τους πολυφασματικούς αισθητήρες[18, 24].

Οι σύγχρονοι πολυφασματικοί αισθητήρες έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν πολύ μικρές φασματικές ζώνες στην ορατή, σχεδόν υπέρυθρη και μέση υπέρυθρη περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Ραδιομετρική Ανάλυση

Ενώ η διευθέτηση των πίξελ περιγράφει την χωρική δομή μιας εικόνας τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά περιγράφουν την πραγματικά περιεχόμενη πληροφορία σε μια εικόνα. Η ραδιομετρική ανάλυση ενός συστήματος απεικόνισης περιγράφει την ικανότητα του να διακριτοποιεί πολύ μικρές διαφορές στην ενέργεια. Όσο καλύτερη είναι η ραδιομετρική ανάλυση ενός αισθητήρα τόσο πιο ευαίσθητος είναι αυτός στην ανίχνευση μικρών διαφορών στην αποβαλλόμενη ή ανακλώμενη ενέργεια[26].

Τα δεδομένα απεικόνισης αναπαρίστανται από θετικούς αριθμούς μεταξύ του μηδέν και μιας δύναμης του δύο. Το εύρος αυτό αντιπροσωπεύει τον αριθμό των bits που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση ενός αριθμού ψηφίων στο δυαδικό σύστημα. Ο μέγιστος αριθμός των επιπέδων φωτεινότητας που είναι διαθέσιμα εξαρτάται από τον αριθμό των bits που χρησιμοποιούνται στην αναπαράσταση της καταγραφόμενης ενέργειας. Κατά συνέπεια αν ένας αισθητήρας χρησιμοποιεί 8 bits για την καταγραφή των δεδομένων θα υπάρχουν $2^8=256$ διαθέσιμες ψηφιακές τιμές που θα κυμαίνονται από 0 έως 255 και η ραδιομετρική ανάλυση θα είναι μικρότερη[14]. Τα δεδομένα εικόνας εμφανίζονται γενικά σε μια κλίμακα του γκρι με το μηδέν να αναπαρίσταται με το 0 και το λευκό να αναπαριστά τη μέγιστη τιμή.



Σχήμα 3.10: Εικόνες διαφορετικής ραδιομετρικής ανάλυσης [27]

Χρονική Ανάλυση

Εκτός από τη χωρική και την φασματική ανάλυση ένα άλλο είδος σημαντικό για τις τηλεσκοπικές εφαρμογές είναι η χρονική ανάλυση των τηλεσκοπικών συστημάτων. Ένας αισθητήρας δορυφόρου συνήθως επιστρέφει στο ίδιο σημείο μετά από μερικές μέρες. Κατά συνέπεια, η απόλυτη χρονική ανάλυση ενός συστήματος τηλεσκόπησης για την απεικόνιση της ίδιας περιοχής στην ίδια γωνία για δεύτερη φορά καθορίζει την ομοιότητα των δύο απεικονίσεων.

Εξαιτίας υπερκαλύψεων στις λωρίδες των απεικονίσεων των παρακείμενων τροχιών των δορυφόρων όπως επίσης και της αύξηση στην επικάλυψη στις περιοχές με αυξανόμενο γεωγραφικό μήκος υπάρχουν περιοχές στη Γη που η χρονική ανάλυση λαμβάνει χώρα πιο συχνά[24].

Επιπλέον υπάρχουν δορυφόροι που ρυθμίζουν τους αισθητήρες τους έτσι ώστε η ίδια περιοχή να απεικονίζεται από διαφορετικούς δορυφόρους σε διαφορετικές περιόδους σε χρονικό διάστημα από μία έως πέντε ημέρες. Κατά συνέπεια, η χρονική ανάλυση του αισθητήρα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως τις ιδιότητες του δορυφόρου, την υπερκάλυψη των απεικονίσεων και το γεωγραφικό μήκος της περιοχής.

Ο συντελεστής του χρόνου στην απεικόνιση είναι ιδιαίτερα σημαντική στην απεικόνιση όταν[14]:

- ✓ Υπάρχουν σύννεφα που προσφέρουν περιορισμένη ορατότητα στην επιφάνεια της γης
- ✓ Πρόκειται να απεικονιστούν βραχύχρονα φαινόμενα
- ✓ Απαιτούνται πολλαπλές χρονικά συγκρίσεις
- ✓ Η μεταβολή ενός χαρακτηριστικού με το χρόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το διαχωρισμό του από άλλα παρόμοια χαρακτηριστικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ

Η βασική χρήση και αξιοποίηση των μετεωρολογικών δορυφόρων είναι η πρόγνωση του καιρού. Η πρόγνωση του καιρού αποτελεί μια επιστήμη που χρονολογείται από τον 17^ο αιώνα. Την εποχή εκείνη οι επιστήμονες χρησιμοποιούσαν βαρόμετρα για τη μέτρηση της πίεσης. Η πρόγνωση του καιρού ως επιστήμη αναπτύχθηκε στις αρχές του 1900 όταν εφευρέθηκαν οι μετεωρολογικοί χαρταετοί οι οποίοι μετέφεραν διάφορα όργανα για τη μέτρηση της θερμοκρασίας της πίεσης και της σχετικής υγρασίας. Στη συνέχεια, οι μετεωρολογικοί χαρταετοί αντικαταστάθηκαν από τα αεροσκάφη και τα μετεωρολογικά αερόστατα[28].

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι που χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση του καιρού αναφέρονται ως το «τρίτο μάτι» των μετεωρολόγων καθώς οι παράγομενες εικόνες από αυτούς τους δορυφόρους αποτελούν την κυριότερη πηγή εξαγωγής δεδομένων. Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι λαμβάνουν εικόνες όπως ήδη αναφέρθηκε στην ορατή στην υπέρυθρη και στη ζώνη μικροκυμάτων. Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τις εικόνες για τις συγκεκριμένες ζώνες βοηθάνε στην καλύτερη κατανόηση των καιρικών φαινομένων. Οι εικόνες στο ορατό φάσμα προκύπτουν από τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλάται από τη Γη και τα σύννεφα. Αντίστοιχα οι εικόνες στην υπέρυθρη ζώνη και στη ζώνη των μικροκυμάτων προκύπτουν από τις αντίστοιχες ακτινοβολίες που αποβάλλονται από τα σύννεφα και τη γη αντίστοιχα. Ορισμένες εικόνες επίσης σχηματίζονται από τη μέτρηση της σκέδασης των ιδιοτήτων των συννέφων και της γης όταν η ακτινοβολία μικροκυμάτων ή η ακτινοβολία λέιζερ προσπίπτει πάνω τους[29].

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο της εργασίας αρχικά θα γίνει μια εισαγωγή στο είδος των εικόνων που λαμβάνονται από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους και πως αυτές χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση του καιρού και στη συνέχεια, θα αναφερθούν πιο συγκεκριμένες εφαρμογές των μετεωρολογικών δορυφόρων όπως η μέτρηση των παραμέτρων των σύννεφων, η μέτρηση της

βροχής, της ταχύτητας του ανέμου και της κατεύθυνσής του τη θερμοκρασία της θάλασσας, η μέτρηση της αέριας ρύπανσης ο εντοπισμός της ομίχλης και μετρήσεις σχετικές με την ωκεανογραφία.

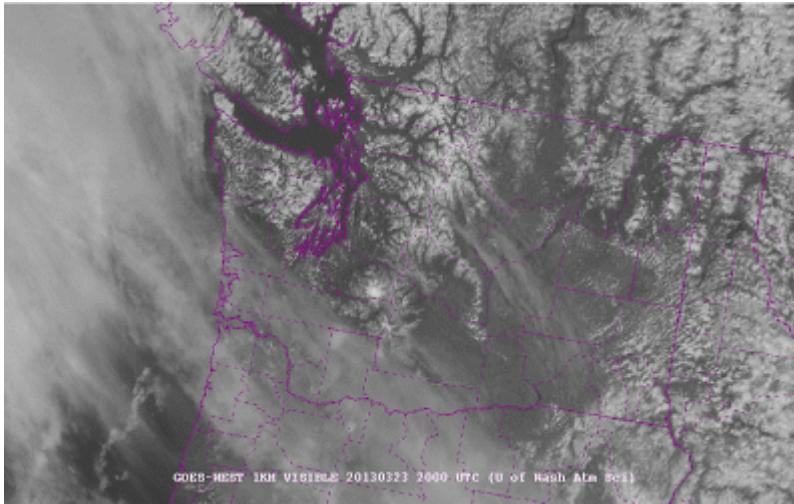
4.1 Εικόνες από τους Μετεωρολογικούς δορυφόρους για την πρόγνωση του καιρού

Οι εικόνες που μπορούν να ληφθούν από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους και να χρησιμοποιηθούν για την πρόγνωση του καιρού διακρίνονται σε: ορατές εικόνες, υπέρυθρες, εικόνες ατμού του νερού και εικόνες μικροκυμάτων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών των εικόνων[30].

4.1.1 Ορατές εικόνες

Οι δορυφόροι μετράνε την ανακλώμενη ή τη σκεδαζόμενη ηλιακή ακτινοβολία στην περιοχή μήκους κύματος από 0.28 έως 3μm. Η συνηθέστερη ζώνη που χρησιμοποιείται από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους είναι η ορατή ζώνη (0.4-0.9μm). Οι ορατές εικόνες αντιπροσωπεύουν την ποσότητα της ακτινοβολίας που ανακλάται πίσω στο διάστημα από τα σύννεφα ή την επιφάνεια της γης στο ορατό φάσμα της ακτινοβολίας[29].

Οι συγκεκριμένες εικόνες χρησιμοποιούνται κυρίως στον καθορισμό των συννέφων. Οι περισσότεροι μετεωρολογικοί δορυφόροι ανιχνεύουν την ποσότητα της ακτινοβολίας χωρίς όμως να την διασπούν σε διαφορετικά χρώματα. Κατά συνέπεια οι ορατές εικόνες που λαμβάνονται από τους συγκεκριμένους δορυφόρους είναι ασπρόμαυρες. Ανάλογα με την ανακλαστικότητα των συννέφων τόσο πιο έντονη είναι η πυκνότητα των συγκεκριμένων δορυφόρων[31].



Εικόνα 4.1: Παράδειγμα ορατής εικόνας από μετεωρολογικούς δορυφόρους[31]

Η διαφορετική ανακλαστικότητα παρουσιάζεται στις ορατές εικόνες με διαφορετική απόχρωση του γκρι. Οι περιοχές σε μια εικόνα αυτού του είδους στις οποίες παρουσιάζεται μεγαλύτερη ανακλαστικότητα εμφανίζονται με άσπρο στην εικόνα ενώ οι περιοχές στις οποίες υπάρχει σκιά σε μια ορατή εικόνα απεικονίζονται με γκρι ή μαύρο χρώμα[31].

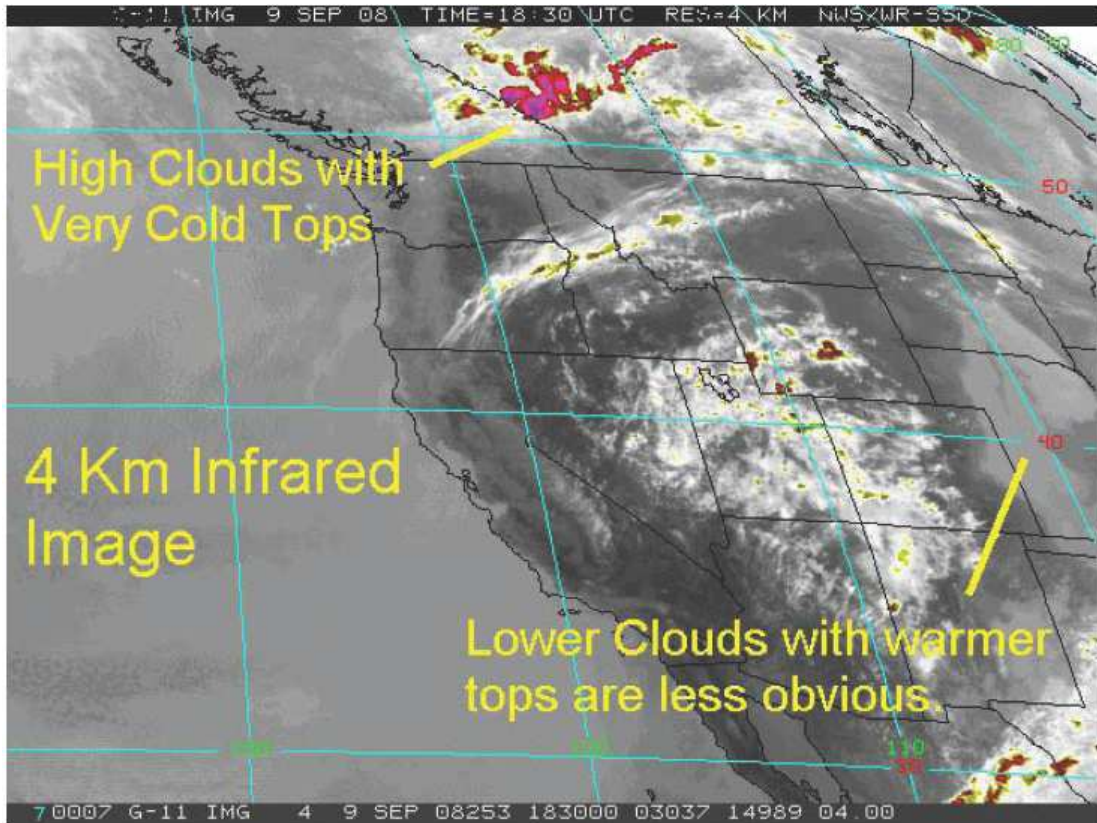
Τα σύννεφα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανακλαστικότητα από την επιφάνεια της γης με αποτέλεσμα ενώ η επιφάνεια της γης απεικονίζεται με σκούρα χρώματα τα σύννεφα να εμφανίζονται λευκά στην απεικόνιση. Οι ορατές εικόνες μπορεί να δώσουν χρήσιμες πληροφορίες για το σχήμα, το μέγεθος, το βάθος και την κίνηση των συννέφων. Το οπτικό βάθος των συννέφων είναι μεγαλύτερο όταν τα σύννεφα είναι πιο φωτεινά. Το ίδιο συμβαίνει και με το περιεχόμενο νερό ή πάγο στα σύννεφα ενώ η φωτεινότητά τους είναι αντίστροφα ανάλογη προς το μέσο μέγεθος των σταγόνων που περιέχουν[30].

Οι περισσότεροι μετεωρολογικοί δορυφόροι είναι εφοδιασμένοι με συσκευές στην ορατή ζώνη φάσματος. Υπάρχουν όμως και μετεωρολογικοί σταθμοί οι οποίοι μετράνε το ανακλώμενο ηλιακό φως και στις υπόλοιπες περιοχές του φάσματος δίνοντας σημαντικές πληροφορίες για το νερό, τη βλάστηση, τη βροχή και τη σύσταση των συννέφων.

Οι ορατές εικόνες συνήθως χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση του καιρού και μπορούν να αποδώσουν πληροφορίες που δεν είναι συνήθως ορατές στις υπέρυθρες εικόνες. Παρόλα αυτά ένας από τους βασικούς περιορισμούς που τίθενται σε αυτές τις εικόνες είναι ότι μπορεί να ληφθούν μόνο κατά την διάρκεια της ημέρας. Επιπλέον παρουσιάζεται ιδιαίτερη δυσκολία στις ορατές εικόνες να διακριθούν τα διαφορετικά επίπεδα των συννέφων δεδομένου ότι μπορεί να έχουν την ίδια ανακλαστικότητα. Για τον ίδιο λόγο με αυτές τις απεικονίσεις είναι δύσκολος ο διαχωρισμός ανάμεσα στα σύννεφα και στο έδαφος όταν αυτά καλύπτονται από χιόνι[30].

4.1.2 Υπέρυθρες εικόνες

Ένα άλλο είδος εικόνων δορυφόρων δημιουργούνται από την αποβαλλόμενη ακτινοβολία από τα σύννεφα και τη γη στην υπέρυθρη ζώνη (10-12 μ m). Οι εικόνες αυτές χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας στην πρόβλεψη του καιρού, τον προσδιορισμό του πάγου στις διάφορες περιοχές καθώς και για τον προσδιορισμό της κατανομής της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας. Με δεδομένο ότι η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση του ύψους από την επιφάνεια της θάλασσας η μικρότερη υπέρυθρη ακτινοβολία αποβάλλεται από τα σύννεφα που είναι πιο απομακρυσμένα από την επιφάνεια της γης ενώ η μεγαλύτερη υπέρυθρη ακτινοβολία εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης. Κατά συνέπεια στις υπέρυθρες απεικονίσεις τα σύννεφα εμφανίζονται πιο σκοτεινά σε σχέση με την επιφάνεια της γης[32].



Σχήμα 4.2: Υπέρυθρη εικόνα από μετεωρολογικό δορυφόρο[32]

Το πλεονέκτημα των υπέρυθρων απεικονίσεων είναι πως μπορούν να ληφθούν κατά τη διάρκεια όλου του εικοσιτετραώρου. Το μειονέκτημα τους εντοπίζεται στο γεγονός ότι δεν είναι εφικτός ο διαχωρισμός δύο αντικειμένων που έχουν την ίδια θερμοκρασία. Επιπλέον, οι υπέρυθρες εικόνες έχουν μικρότερη ανάλυση από τις ορατές εικόνες. Αυτή η διαφορά στην ανάλυση οφείλεται στο ότι η αποβαλλόμενη υπέρυθρη ακτινοβολία είναι μικρότερη από την ορατή ακτινοβολία[33].

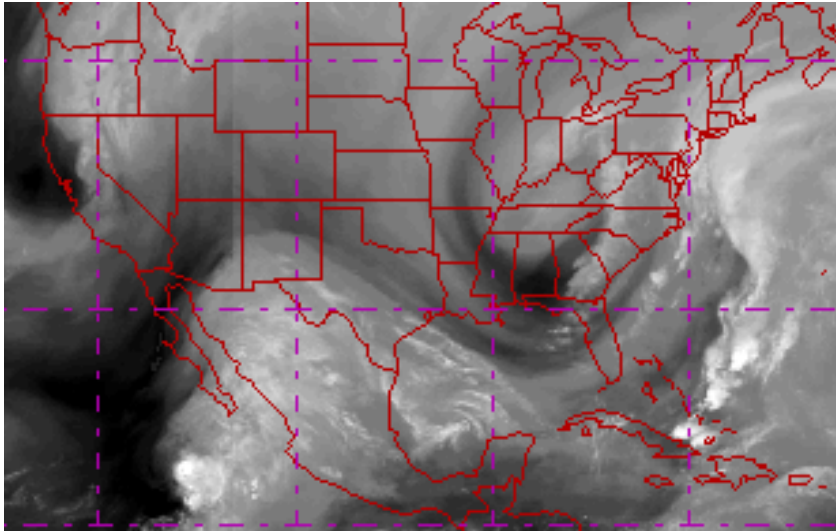
Οι υπέρυθρες απεικονίσεις μπορεί να είναι ασπρόμαυρες ή έγχρωμες στις οποίες τα διαφορετικά χαρακτηριστικά αντιστοιχούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Στις ασπρόμαυρες απεικονίσεις οι σκουρότερες περιοχές απεικονίζουν περιοχές με χαμηλότερες θερμοκρασίες. Προκειμένου οι υπέρυθρες απεικονίσεις να μετατραπούν σε ορατές εικόνες θα πρέπει να γίνει αντιστροφή τους. Στις αντεστραμμένες εικόνες οι «πιο ανοικτές» σε χρώμα

περιοχές αντιστοιχούν σε περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας και τα σύννεφα εμφανίζονται λευκά[30].

4.1.3 Απεικονίσεις Υδρατμών

Οι ορατές και υπέρυθρες απεικονίσεις που ήδη αναφέρθηκαν δεν δίνουν καθόλου πληροφορίες σχετικά με την ατμόσφαιρα αφού αυτά τα μήκη κύματος είναι διαφανή στην ατμόσφαιρα. Οι εικόνες των μετεωρολογικών δορυφόρων μπορεί να δημιουργηθούν από την απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από ένα αέριο όπως για παράδειγμα διοξείδιο του άνθρακα, υδρατμούς κτλ. Η ακτινοβολία στη ζώνη του μήκους κύματος των 6.5μm απορροφάται εξίσου ικανοποιητικά όπως αποβάλλεται από τους υδρατμούς. Αυτό το μήκος κύματος είναι το μήκος κύματος στο οποίο λειτουργεί το κανάλι των υδρατμών στους μετεωρολογικούς δορυφόρους που χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση του καιρού. Το επίπεδο φωτεινότητας της εικόνας που λαμβάνεται στο συγκεκριμένο εύρος ζώνης υποδεικνύει τα ποσοστά της υγρασίας στην ατμόσφαιρα[30].

Η ακτινοβολία που αποβάλλεται από το κατώτερο στρώμα των υδρατμών προσροφάται από το ανώτερο στρώμα. Με δεδομένο ότι στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας υπάρχει περιορισμένη ποσότητα υδρατμών αντιλαμβάνεται κανείς πως από αυτά τα στρώματα η ακτινοβολία που θα εκπέμπεται θα είναι μικρή. Η μεγαλύτερη ποσότητα ακτινοβολίας εκπέμπεται από τη μεσόσφαιρα στην οποία υπάρχει και η μεγαλύτερη περιεκτικότητα υδρατμών και ανάλογα με την ποσότητα τους χαρακτηρίζονται στις απεικονίσεις ως λευκές περιοχές ή περιοχές με χρώμα στην κλίμακα του γκρι. Είναι προφανές πως οι ψυχρές περιοχές έχουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα υδρατμών ενώ οι θερμότερες περιοχές μικρότερη. Οι δεύτερες στις απεικονίσεις των δορυφόρων παρουσιάζονται ως σκούρες γκρι ή μαύρες[33].

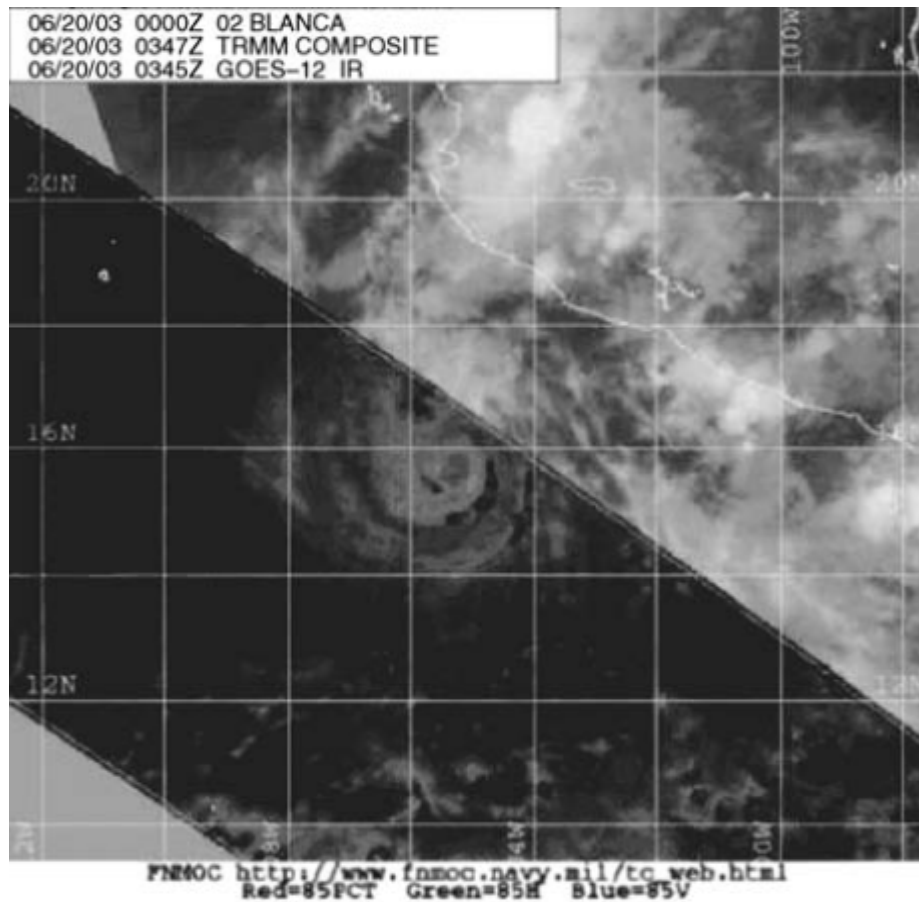


Σχήμα 4.3: Απεικόνιση νερού υδρατμού από μετεωρολογικό δορυφόρο[33]

Αξίζει να σημειωθεί πως στις συγκεκριμένες απεικονίσεις εμφανίζονται μόνο τα επίπεδα υγρασίας στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας ενώ η λήψη της συγκεκριμένης απεικόνισης μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο στις περιοχές που δεν σκιάζονται από σύννεφα.

4.1.4 Απεικονίσεις μετεωρολογικών δορυφόρων με μικροκύματα

Η ζώνη των μικροκυμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους στα μήκη κύματος από 0.1 έως 10cm. Η μέτρηση στο φάσμα των μικροκυμάτων μπορεί να γίνει με τη χρήση ενεργών και παθητικών τεχνικών. Οι παθητικές τεχνικές μετράνε την ποσότητα της μικροκυμματικής ακτινοβολίας που αποβάλλεται από την επιφάνεια της γης και τα σύννεφα ενώ οι ενεργητικές τεχνικές περιλαμβάνουν αισθητήρες που εκπέμπουν ακτινοβολία μικροκυμάτων προς την επιφάνεια της γης και στη συνέχεια μετράνε τη σκέδαση ή την αντανάκλαση αυτής της ακτινοβολίας από τα σύννεφα, την επιφάνεια της γης και την ατμόσφαιρα[34].



Σχήμα 4.4 Εικόνα μικροκυμάτων από μετεωρολογικό δορυφόρο[30]

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι που έχουν αισθητήρες για την απεικόνιση στην περιοχή των μικροκυμάτων χρησιμοποιούνται στον καθορισμό της θερμοκρασίας τόσο των συννέφων όσο και της επιφάνειας της γης. Το πλεονέκτημα των συγκεκριμένων αισθητήρων είναι πως μπορούν να διαπερνούν την ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια μπορούν να απεικονίσουν την επιφάνεια της γης ακόμα και όταν είναι πλήρως καλυμμένη από σύννεφα. Επιπλέον είναι το ίδιο αποτελεσματικοί κατά τη διάρκεια της μέρας όπως και κατά τη διάρκεια της νύκτας. Οι εικόνες μικροκυμάτων μπορεί να είναι είτε ασπρόμαυρες είτε έγχρωμες. Το βασικό μειονέκτημα των συγκεκριμένων εικόνων είναι πως έχουν μικρή χωρική και χρονική ανάλυση ιδιαίτερα σε σχέση με τις ορατές και υπέρυθρες απεικονίσεις ενώ επιπλέον, η ερμηνεία των απεικονίσεών τους είναι πιο δύσκολη ειδικά όταν η απεικόνιση αναφέρεται στο έδαφος[34].

4.2 Εφαρμογές μετεωρολογικών δορυφόρων

Ο ρόλος των μετεωρολογικών δορυφόρων όπως ήδη αναφέρθηκε είναι ιδιαίτερα σημαντικός στην πρόγνωση. Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι μπορούν να προσδιορίσουν τα μονοπάτια των τροπικών κυκλώνων με μεγαλύτερη αξιοπιστία από οποιοδήποτε άλλο εργαλείο πρόγνωσης του καιρού. Επιπλέον μπορούν να βοηθήσουν στην αποτελεσματική πρόβλεψη των βροχοπτώσεων, του παγετού ή της ξηρασίας ενώ, μπορούν επίσης αποτελεσματικά να καθορίσουν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των σύννεφων. Εκτός από την πρόβλεψη των καιρικών φαινομένων οι μετεωρολογικοί δορυφόροι μπορούν να βοηθήσουν στη διαχείριση των δασών και των πυρκαγιών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αυτές οι εφαρμογές των μετεωρολογικών δορυφόρων.

4.2.1 Προσδιορισμός χαρακτηριστικών των σύννεφων

Η απεικόνιση που λαμβάνεται από τους δορυφόρους αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για τους μετεωρολόγους για την παρατήρηση των σύννεφων σε όλα τα στρώματα της ατμόσφαιρας τόσο στην επιφάνεια της γης όσο και στους ωκεανούς.

Τα βασικά χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν το είδος ενός σύννεφου είναι[35]:

Το κλάσμα κάλυψης του σύννεφου: η συγκεκριμένη παράμετρος αναπαριστά το κλάσμα της περιοχής που καλύπτεται από σύννεφα όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τους δορυφόρους. Το κλάσμα αυτό μπορεί να υπολογιστεί από τον αριθμό των τομέων απεικόνισης από τους δορυφόρους που είναι καλυμμένοι με σύννεφα. Ο αριθμός των τομέων διαιρείται με τον συνολικό αριθμό των πίξελ σε μια περιοχή ίση με 280km. Τα σύννεφα για τα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας προσδιορίζονται από τον λόγο της περιοχής που καλύπτεται από σύννεφα σε αυτό το στρώμα.

Ανώτερη πίεση σύννεφου: Αυτή η παράμετρος αναπαριστά την περιοχή που ακτινοβολεί στο πάνω μέρος των σύννεφων. Η ανώτερη πίεση του σύννεφου προσδιορίζεται με βάση την ανώτερη πίεση του σύννεφου η οποία μπορεί να μετρηθεί άμεσα από έναν μετεωρολογικό δορυφόρο με τη χρήση του προφίλ της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και της πίεσης. Η ανώτερη πίεση των σύννεφων ισοδυναμεί με το ανώτερο ύψος από την επιφάνεια της θάλασσας.

Ανώτερη θερμοκρασία σύννεφου και κλίμακα μέσης μεταβλητότητας: Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι μετράνε την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα σύννεφα θεωρώντας ότι αυτά καλύπτουν πλήρως μια περιοχή. Αν το σύννεφο είναι μικρό ακτινοβολεί όπως ένα μαύρο σώμα και κατά συνέπεια, η παρατηρούμενη εκπομπή ακτινοβολίας ισοδυναμεί με την πραγματική θερμοκρασία στην κορυφή του σύννεφου. Αν το σύννεφο είναι μικρό η αποβολή θα είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία στο ανώτερο στρώμα του σύννεφου επειδή επιπλέον ακτινοβολία μεταδίδεται από τη θερμότερη ατμόσφαιρα και την επιφάνεια που βρίσκεται κάτω από το σύννεφο.

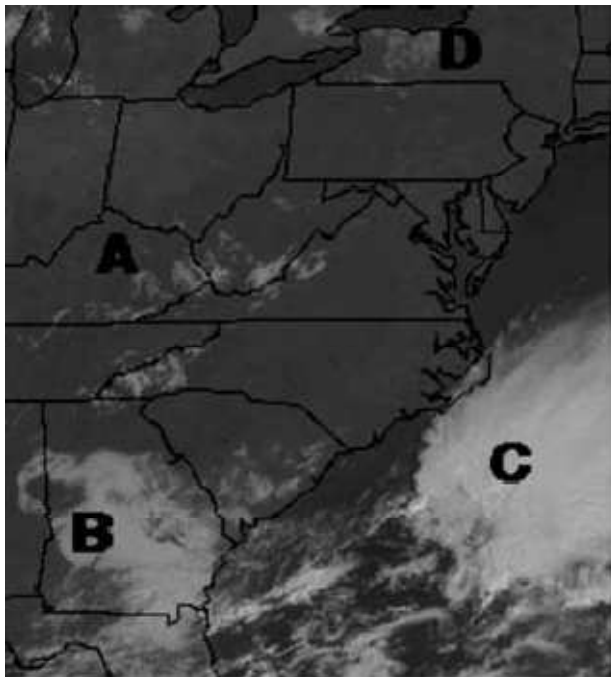
Οπτικό πάχος του σύννεφου και η κλίμακα μέσης μεταβλητότητας του: Η παράμετρος αυτή αναπαριστά το οπτικό πάχος των σύννεφων στα ορατά μήκη κύματος. Προσδιορίζεται από το δορυφόρο με τη μέτρηση της ορατής ανακλαστικότητας του ήλιου στις περιοχές με συννεφιά θεωρώντας ότι οι τομείς που απεικονίζονται καλύπτονται ομοιόμορφα από τα σύννεφα. Η ανάκτηση της εικόνας εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων στο σύννεφο και το σχήμα.

Το καιρικό μονοπάτι του σύννεφου: Αυτή η παράμετρος συνδυάζει το μετρούμενο οπτικό πάχος στο σύννεφο με τη θεωρούμενη κατανομή των σωματιδίων και υπολογίζει την κατανομή της μάζας στη στήλη του σύννεφου. Ο υπολογισμός της συγκεκριμένης παραμέτρου γίνεται με βάση την υπόθεση ότι όλο το στρώμα του σύννεφου έχει την ίδια περιεκτικότητα σε νερό και την ίδια κατανομή σωματιδίων στην κορυφή του σύννεφου.

Η βασική πίεση των σύννεφων: η παράμετρος αυτή αναπαριστά τη μέση πίεση στη βάση του χαμηλότερου στρώματος του σύννεφου σε κάθε τοποθεσία. Εξαρτάται από τη μέγιστη πίεση του σύννεφου και τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής στην οποία βρίσκεται το σύννεφο καθώς και από το πάχος και τη δομή του.

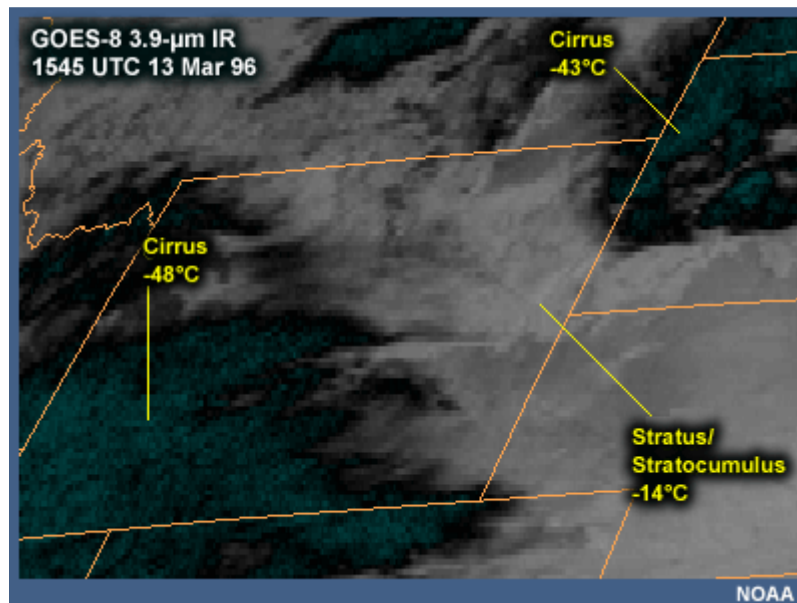
Η βασική θερμοκρασία των σύννεφων: Η παράμετρος αυτή αναπαριστά τη μέση θερμοκρασία στη βάση του σύννεφου και καθορίζεται από τη βασική πίεση και τα ατμοσφαιρικά προφίλ της θερμοκρασίας συναρτήσεως της πίεσης.

Για τον καθορισμό των παραμέτρων των σύννεφων οι μετεωρολογικοί δορυφόροι χρησιμοποιούν τόσο τις ορατές όσο και τις υπέρυθρες εικόνες σε συνδυασμό μεταξύ τους. Οι ορατές εικόνες καθορίζουν μέσω των πληροφοριών που παρέχουν το πάχος, την υφή και το σχήμα του σύννεφου. Από την άλλη μεριά οι υπέρυθρες εικόνες παρέχουν τη δυνατότητα του καθορισμού του ύψους των σύννεφων.



Σχήμα 4.5: Ορατή εικόνα από μετεωρολογικό δορυφόρο (GOES) που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των παραμέτρων των σύννεφων[30]

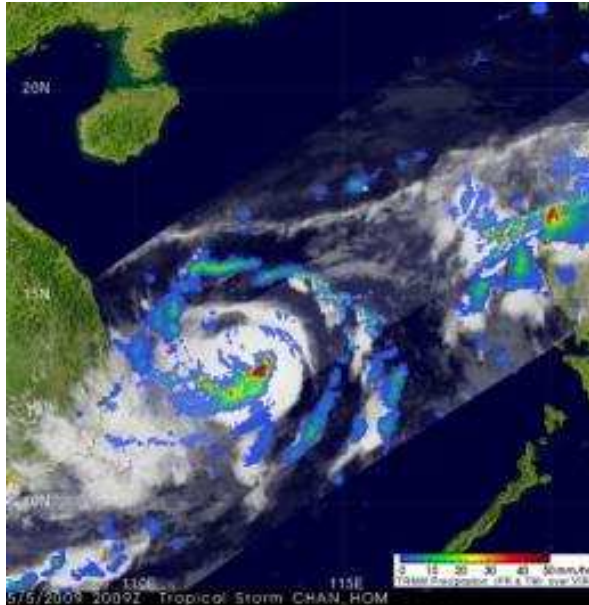
Προκειμένου να επιτευχθεί λεπτομερής ανάλυση των σύννεφων χρησιμοποιούνται οι υπέρυθρες εικόνες εσφαλμένου χρώματος. Ο καθορισμός των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των σύννεφων είναι χρήσιμο εργαλείο για την πρόβλεψη της βροχής, των καταιγίδων καθώς και ακραίων καιρικών φαινομένων όπως είναι οι τυφώνες. Επιπλέον οι πληροφορίες που μπορεί να συλλεχτούν για την κίνηση των σύννεφων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της ταχύτητας του ανέμου και της κατεύθυνσής του[30].



Σχήμα 4.6: Υπέρυθρη εικόνα από μετεωρολογικό δορυφόρο (GOES) που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των παραμέτρων των σύννεφων[36].

4.2.2 Εκτίμηση της βροχής

Μια άλλη εξίσου σημαντική εφαρμογή των μετεωρολογικών δορυφόρων είναι η εκτίμηση της βροχής από τις απεικονίσεις που λαμβάνουν. Η πρόβλεψη αλλά και η εκτίμηση του ύψους της βροχής που πρόκειται να πέσει σε μια περιοχή έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί δίνει την δυνατότητα στους μετεωρολόγους να προβλέψουν φαινόμενα πλημμύρας και βροχής. Οι εικόνες που λαμβάνονται από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους για τα σύννεφα επεξεργάζονται και αναλύονται έτσι ώστε να γίνει η πρόβλεψη του τόπου που θα έχει βροχόπτωση αλλά και της δυναμικής της[30].



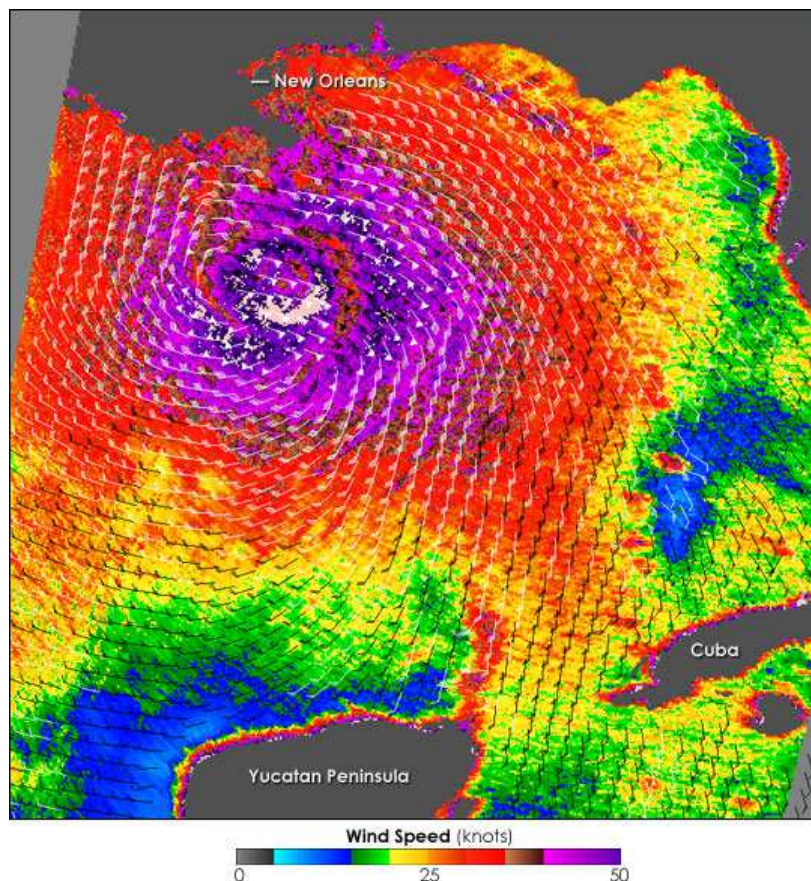
Σχήμα 4.7: Κατανομή βροχής όπως καταγράφηκε σε τροπική καταιγίδα πάνω από τη Βόρεια Κίνα[37]

4.2.3 Προσδιορισμός της ταχύτητας και της κατεύθυνσης των ανέμων

Ο καθορισμός της ταχύτητας των ανέμων και της κατεύθυνσής είναι βασικός για τον καθορισμό της κατάστασης στην ατμόσφαιρα. Οι σχετικές με τον άνεμο πληροφορίες προσδιορίζονται από την παρακολούθηση της μετακίνησης των σύννεφων στις υπέρυθρες ή ορατές απεικονίσεις που λαμβάνονται από τους γεωστατικούς μετεωρολογικούς δορυφόρους. Απαραίτητη προϋπόθεση για τις συγκεκριμένες μετρήσεις είναι να πραγματοποιούνται όταν υπάρχουν σύννεφα. Αυτή η δυσκολία παρακάμπτεται με την παρακολούθηση της κίνησης του ανέμου μέσω εικόνων από τα κανάλια υδρατμών. Παρόλα αυτά καμία από αυτές τις μεθόδους δεν είναι ακριβής. Η πιο ακριβής μέθοδος για τον προσδιορισμό της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου είναι η πραγματοποίηση μετρήσεων για το προφίλ της θερμοκρασίας και της θέσης των σύννεφων[38].

Ένα από τα μειονεκτήματα της παρακολούθησης των σύννεφων είναι πως δεν είναι γνωστή η διαδρομή που ακολουθούν. Ο ακριβής προσδιορισμός

αυτής της διαδρομής οδηγεί και στον καθορισμό της διεύθυνσης του ανέμου. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται η παρακολούθηση δυο διαδοχικών χρονικά απεικονίσεων. Ιδανική σε αυτή την περίπτωση θεωρείται η επιλογή μικρών χρονικών διαστημάτων ανάμεσα στις απεικονίσεις δεδομένου ότι τα σύννεφα κινούνται γρήγορα.

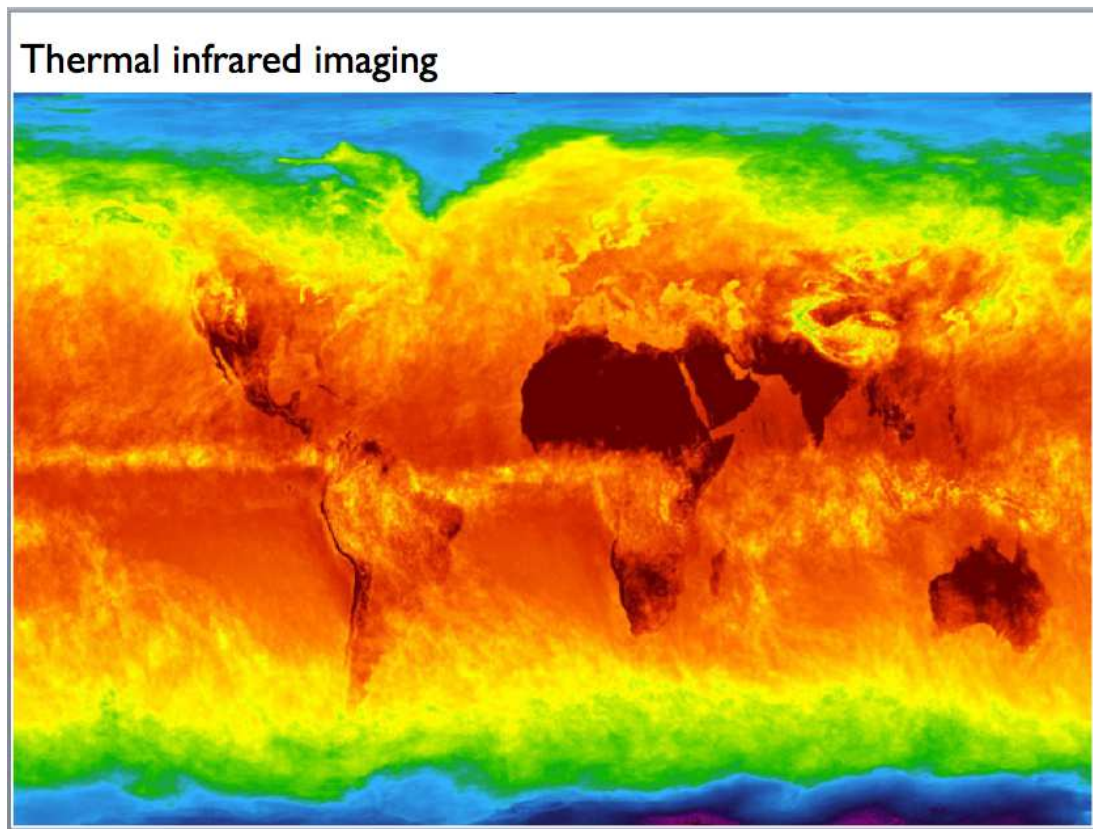


Σχήμα 4.8: Απεικόνιση χάρτη ανέμων μετά τον τυφώνα Κατρίνα όπως καταγράφηκε από μετεωρολογικό δορυφόρο[39].

4.2.4 Μετρήσεις της θερμοκρασίας στο στρώμα του εδάφους

Τα δεδομένα των μετεωρολογικών δορυφόρων δεν μπορούν να δώσουν ακριβείς πληροφορίες σχετικά με το προφίλ της θερμοκρασίας στις χαμηλότερες περιοχές της ατμόσφαιρας. Παρόλα αυτά μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για παρατηρήσεις φυσικών φαινομένων. Η παρακολούθηση της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας μπορεί να

επιτευχθεί με τη χρήση υπέρυθρων ραδιομέτρων ενώ η υπέρυθρη απεικόνιση χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμικών χαρτών της γης.



Σχήμα 4.9: Θερμικός Χάρτης με υπέρυθρη απεικόνιση[39]

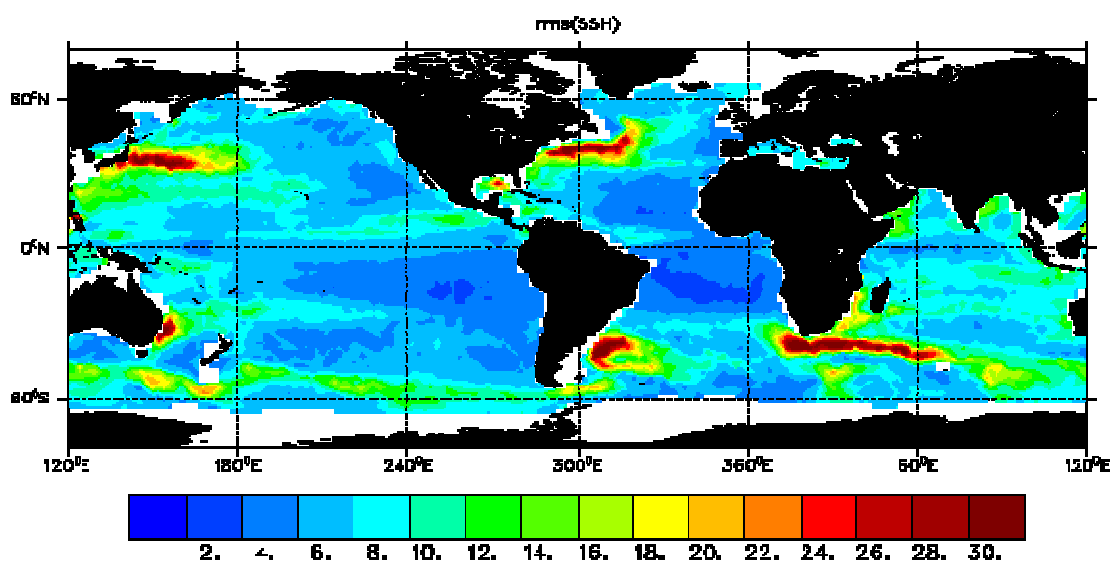
Παρόλα αυτά η χρήση των μετεωρολογικών δορυφόρων ενδείκνυται μόνο στην περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για τη θερμοκρασία του εδάφους. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που η μέτρηση της θερμοκρασίας στο έδαφος είναι πιο ακριβείς όπως για παράδειγμα τις πολύ ψυχρές μέρες που η κατανομή της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα είναι ελάχιστη.

4.2.5 Εφαρμογές των μετεωρολογικών δορυφόρων στην ωκεανογραφία

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για τις εφαρμογές της ωκεανογραφίας. Η ανακύκλωση των ωκεανών δεν είναι ούτε ομοιόμορφη ούτε σταθερή. Αντίθετα παρουσιάζει απότομες διακυμάνσεις σε

πολλές χωρικές και χρονικές κλίμακες όπως ακριβώς και ο καιρός στην ατμόσφαιρα. Η παρακολούθηση των ωκεανών από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους δίνει τη δυνατότητα συχνών δειγματοληψιών σε παγκόσμια κλίμακα παρουσιάζοντας όμως το μειονέκτημα των περιβαλλοντικών συνθηκών[40].

Στόχος της μελέτης της ωκεανογραφίας με τη βοήθεια των μετεωρολογικών δορυφόρων είναι να προσδιοριστεί η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας, το χρώμα, το ύψος της επιφάνειας της θάλασσας και τα ρεύματα των ωκεανών όπως επίσης να προσδιοριστεί η δύναμη των ανέμων που προκαλούν την ανακύκλωση των ωκεανών. Αυτές οι μετρήσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη γενικά της ανακυκλοφορίας των ωκεανών, τη μικρή μεταβολή συχνότητας, τη βιολογική αναπαραγωγή που γίνεται στους ωκεανούς και τις αλληλεπιδράσεις αέρα –θάλασσας[40].



Σχήμα 4.10: Μεταβολή του ύψους της επιφάνειας της θάλασσας όπως παρατηρείται από μετεωρολογικό δορυφόρο[40].

Η υπέρυθρη απεικόνιση των μετεωρολογικών δορυφόρων ειδικότερα χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των θερμικών ρευμάτων στα επιφανειακά στρώματα των ωκεανών. Επιπλέον, οι μετεωρολογικοί δορυφόροι μετράνε την τραχύτητα της επιφάνειας στους ωκεανούς χρησιμοποιώντας μετρήσεις μικροκυμάτων[30].

4.2.6 Χρήση των μετεωρολογικών δορυφόρων για τη μελέτη «βίαιων» καιρικών φαινομένων.

Από τις πιο σημαντικές εφαρμογές των μετεωρολογικών δορυφόρων είναι η πρόβλεψη «βίαιων» καιρικών φαινομένων όπως οι ανεμοστρόβιλοι, οι κυκλώνες οι τροπικές καταιγίδες κτλ. Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι μπορούν να ανιχνεύσουν και να παρακολουθήσουν την πορεία μεγάλων καταιγίδων στα διάφορα στάδια ανάπτυξής τους επιτρέποντας στους μετεωρολόγους να προειδοποιούν τον πληθυσμό για την εκδήλωση τέτοιων φαινομένων που μπορεί να αποβούν και μοιραία για την ανθρώπινη ζωή[30].

Η μεταβολή των βασικών χαρακτηριστικών των σύννεφων είναι η κύρια αιτία δημιουργίας των καταιγίδων η ανάπτυξη ή η ύφεση των οποίων μπορεί να γίνει αντιληπτή από τις επαναλαμβανόμενες εικόνες.

Οι τυφώνες παράγονται και παρακολουθούνται παρατηρώντας τον πυρήνα τους ο οποίος είναι μια περιοχή με χαμηλούς ανέμους χαμηλή πίεση και χωρίς βροχή. Το σπειροειδές σχήμα που συνήθως έχει ο πυρήνας καθώς και η πυκνότητά τους δίνουν τις απαραίτητες πληροφορίες για τον προσδιορισμό του σταδίου ανάπτυξης των τυφώνων. Στην ίδια βάση αναλύονται και οι κυκλώνες και οι καταιγίδες[41, 42].



Σχήμα 4.11: Τυφώνας Sandy[42]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν οι μετεωρολογικοί δορυφόροι και οι βασικότερες εφαρμογές τους. Η ιστορία των μετεωρολογικών δορυφόρων συμβαδίζει με την ιστορία των υπόλοιπων δορυφόρων που πρωτοεμφανίστηκαν στην Αμερική το 1959 και είχαν σαν στόχο τη συλλογή πληροφοριών για την γη και τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας.

Η ανάπτυξη των μετεωρολογικών δορυφόρων βασίστηκε στην ανάπτυξη της τεχνολογίας και ιδιαίτερα της τηλεσκοπίας και των μαθηματικών. Το βασικό εργαλείο συλλογής πληροφοριών από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους είναι η απεικόνιση στα διάφορα φάσματα ακτινοβολίας.

Η ανάπτυξη των μετεωρολογικών δορυφόρων και η συλλογή πληροφοριών σχετικά με τη μετεωρολογία έχει ως αποτέλεσμα την πρόβλεψη επικίνδυνων καιρικών φαινομένων όπως τους τυφώνες και τις καταιγίδες. Επειδή οι συγκεκριμένοι δορυφόροι συνδυάζουν την παρακολούθηση από το διάστημα και την ανάπτυξη της τεχνολογίας των διαφόρων αισθητήρων αποτελούν πολύτιμο εργαλείο πρόγνωσης των διαφόρων καιρικών φαινομένων.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι όλο και μεγαλύτερες ανάγκες για πληροφόρηση αλλά και να καλυφθούν οι απαιτήσεις για την ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια των μετεωρολογικών δορυφόρων θα πρέπει να συνεχιστούν οι προσπάθειες για βελτίωση των δυνατοτήτων παρατήρησης που έχουν, να βελτιωθούν οι αδυναμίες που τυχόν παρουσιάζουν στη συλλογή δεδομένων και να υπάρξει μεγαλύτερη διάχυση τεχνογνωσίας και εμπειρίας στην ερευνητική κοινότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Kishtawal, C.M., *Meteorological Satellites*. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology: p. 66-79.
2. *METEOROLOGY AND ATMOSPHERIC SCIENCES*. Chapter XII <http://www.iisc.ernet.in/insa/ch12.pdf>.
3. Λαζαρίδου-Αθανασιάδου, Μ., *Εισαγωγή στη μετεωρολογία*. <http://www.teidasoponias.gr/site/news/xtra/morfologia/eisagogi.pdf>.
4. Ζάνης, Π., *Εισαγωγή στη μετεωρολογία*. http://meteo.geo.auth.gr/askiseis/geniki_meteorologia.pdf.
5. Environment Canada, *A short course in basic meteorology*. ftp://seismo.nrcan.gc.ca/exports/Meteorology/Basic_Meteorology.pdf, 2011.
6. *Vertical Profile of Temperature*. http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter1/vert_temp_all.html.
7. WMO, *Climate Observation Networks and Systems*. http://www.wmo.int/pages/themes/climate/climate_observation_networks_systems.php.
8. OFCM, *Surface weather Observations and Reports*. Federal Meteorologic Handbook No1 <http://www.ofcm.gov/fmh-1/pdf/FMH1.pdf>, 2005.
9. *Lindenberg Meteorological Observatory - Richard Aßmann Observatory*. http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=dwdwww_wetter_warnungen_warnungen&_state=maximized&_windowLabel=T169600781711254206874155&T169600781711254206874155gsbDocumentPath=Navigation%252FForschung%252FPhysik_der_Atmos%252Fmol3_radioson_node.html%253F_nnn%253Dtrue&switchLang=en.
10. <http://www.isws.illinois.edu/atmos/radar.asp>.
11. *Chapter 1 Outline of meteorological satellites**. http://rammb.cira.colostate.edu/wmovl/VRL/Texts/SATELLITE_METEOROLOGY/CHAPTER-1.PDF.

12. Brown, G., *How Satellites Work*.
<http://science.howstuffworks.com/satellite6.htm>.
13. *GEOSTATIONARY SATELLITES*.
http://www.newmediastudio.org/DataDiscovery/Hurr_ED_Center/Satellites_and_Sensors/Geostationary_Orbits/Geostationary_Sat.html.
14. *Chapter 5 Principles of Satellite Remote Sensing*. http://www.iup.uni-bremen.de/~bms/remote_sensing/remote_sensing_chap5.pdf.
15. Microwaves, G.W.a., *How a Satellite Works*.
<http://globalmicrowave.org/satellites.php>.
16. *Section 5: Types of Orbits, or Why Satellites Are Where They Are*.
http://www.amacad.org/publications/Section_5.pdf.
17. *Types of Orbits*.
<http://marine.rutgers.edu/mrs/education/class/paul/orbits2.html>.
18. Sanderson, R., *Introduction to remote sensing*. New Mexico Space Grant Consortium
ftp://ftp.wsl.ch/downloads/babst/Fernerkundung_WS2012/literatur/remote_sensing.pdf.
19. Aggarwal, S., *PRINCIPLES OF REMOTE SENSING*. *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*: p. 23-38.
20. <http://visual.merriam-webster.com/earth/geography/remote-sensing/satellite-remote-sensing.php>.
21. <http://www.ciesin.org/TG/RS/RS-home.html>.
22. Ashraf, M.A., Maah, J., Yusoff I, *Introduction to Remote Sensing of Biomass*. Chapter 8: Biomass and Remote Sensing of Biomass
<http://www.intechopen.com/books/biomass-and-remote-sensing-of-biomass/introduction-to-remote-sensing-of-biomass>, 2011.
23. *CHARACTERIZATION OF SATELLITE REMOTE SENSING SYSTEMS*.
<http://www.satimagingcorp.com/characterization-of-satellite-remote-sensing-systems.html>.
24. Samarakoon, L., *Introduction to Remote Sensing*.
http://www.isprs.org/caravan/documents/Lao_Basic_RS.pdf.
25. *Chapter 8: Remotely Sensed Image Data*. <https://www.e-education.psu.edu/natureofgeoinfo/book/export/html/1608>.

26. Natural Resources of Canada, *Radiometric Resolution*.
<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geography-boundary/remote-sensing/fundamentals/2097>.
27. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Decreasing_radiometric_resolution_from_L7_15m_panchromatic.svg.
28. Observatory, E., *Weather forecasting through the ages*.
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/WxForecasting/wx2.php>.
29. Conway, D., *The Three Types of Weather Satellite Imagery*.
http://henry.pha.jhu.edu/ssip/asat_int/types.html, 1997.
30. Maini, A., Agrawal, V, *Sattelite Technology Principles and Applications*. John Willey and Sons Applications Second Edition available at
<http://203.128.31.71/articles/0470660244.pdf>, 2011.
31. Cliff Mass Weather Blog, *Can a weather satellite read your license plate?* <http://cliffmass.blogspot.gr/2013/03/can-weather-satellite-read-your-license.html>, 2013.
32. Fugazzi, M., *Satellite Imagery Overview for Pilots*. The Front, 2008. **8 available at:**
<http://aviationweather.gov/general/pubs/front/docs/oct-08.pdf>
33. UNISYS, *Satellite Image Details*.
<http://weather.unisys.com/satellite/details.php>.
34. Asano, J., Nishimura, S., Kato, K., Mouri, K., Saitoh, S., Yoshida, S., Endo, T., Ootubo, K., Shimizu, A., Oyama, R., *Analysis of Tropical Cyclones Using Microwave Satellite Imagery*.
<http://www.jma.go.jp/jma/jma-eng/jma-center/rsmc-hp-pub-eg/techrev/text10-3.pdf>.
35. *ISCCP Definition of cloud types*.
<http://isccp.giss.nasa.gov/cloudtypes.html>.
36. Winter Microphysics Topics,
http://stream2.cma.gov.cn/pub/comet/WinterWeather/oceansnowcase/comet/norlat/snow/micro_ice/1.1.crystal_growth.htm.
37. *TRMM satellite captures rainfall from 2 typhoons that soaked Philippines*. <http://phys.org/news161269276.html>.
38. *Module 6 Satellite Winds*.
http://cimss.ssec.wisc.edu/satmet/modules/6_sat_winds/sw-4.html#tag.
39. <http://surfforecasting.magicseaweed.com/?p=1107>.

40. *Satellite Oceanography.* <http://www-pord.ucsd.edu/po/research/satOcean.html>.
41. <http://www.intellicast.com/Storm/Hurricane/>.
42. *Blind Spot Looming for Weather Satellites That Predicted Sandy.* <http://www.bloomberg.com/news/2012-11-02/blind-spot-looming-for-weather-satellites-that-predicted-sandy.html>.