



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ**  
**ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Στατιστική επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων για την  
ανάκτηση παραμέτρων των νεφών με συνέργεια τεχνικών  
τηλεπισκόπησης lidar και δεδομένων ραδιοβόλισης**

**Αριάδνη Γαβριήλ**

**Επιβλέπων**

**Καθηγητής Αλέξανδρος Παπαγιάννης**

**Φεβρουάριος 2017**





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στατιστική επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων για την  
ανάκτηση παραμέτρων των νεφών με συνέργεια τεχνικών  
τηλεπισκόπησης lidar και δεδομένων ραδιοβόλισης

Αριάδνη Γαβριήλ

Τριμελής Επιτροπή

Αλέξανδρος Παπαγιάννης    Βασιλεία Καραθανάση    Μαρία Τσακίρη

Καθητής ΕΜΠ (Επιβλέπων)    Καθηγήτρια ΕΜΠ    Καθηγήτρια ΕΜΠ

Φεβρουάριος 2017

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ ιδιαίτερος τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Αλέξανδρο Παπαγιάννη για την συνεχή καθοδήγηση του και τη βοήθεια του στην πραγματοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας, αλλά και για τις βάσεις και τα ερεθίσματα που μου έδωσε μέσω του διδασκόμενου μαθήματος κατά την κανονική περίοδο φοίτησης σπουδών στο ΕΜΠ, καλλιεργώντας το ενδιαφέρον μου ώστε τελικά να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο της διπλωματικής.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές μου στο ΕΜΠ για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν όλα τα χρόνια της φοίτησής μου και τους ερευνητές στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία για τις πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη μετεωρολογία και την κλιματολογία που απέκτησα κατά την πρακτική μου άσκηση εκεί με επιβλέποντες τον κ. Αλέξανδρο Παπαγιάννη από το ΕΜΠ και τον κ Αθανάσιο Σαραντόπουλο από την ΕΜΥ.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου που είναι πάντα δίπλα μου και μου έδωσε τη δυνατότητα να πραγματοποιήσω τις σπουδές μου στη ΣΕΜΦΕ του ΕΜΠ. Ευχαριστώ ακόμη τα φιλικά μου πρόσωπα για τη στήριξή τους.

## Περίληψη

Η ατμόσφαιρα είναι το σύνολο αέριων μαζών που περιβάλλει τη Γη και την ακολουθεί στην περιστροφή της. Χωρίζεται σε στρώματα, αυτά της τροπόσφαιρας, στρατόσφαιρας, μεσόσφαιρας και θερμόσφαιρας. Συμπεριφέρεται ως τέλειο αέριο, ισορροπεί υδροστατικά και ενεργειακά με αποτέλεσμα να ισχύουν κάποιες ιδιότητες και συνθήκες ευστάθειας.

Τα νέφη αποτελούν μέρος της ατμόσφαιρας και βρίσκονται στην τροπόσφαιρα. Τα είδη τους προκύπτουν ανάλογα με τη μορφή και το ύψος τους. Σχηματίζονται λόγω της συμπύκνωσης των υδρατμών με τέσσερις διαφορετικούς μηχανισμούς. Το ύψος που φτάνουν σχετίζεται άμεσα με τις συνθήκες ευστάθειας της ατμόσφαιρας και την κινητική ενέργεια που έχουν αποκτήσει κατά την κατακόρυφη κίνησή τους στην ατμόσφαιρα. Η παρουσία τους γίνεται αντιληπτή μέσω του σημείου κόρου και με την αύξηση της σχετικής υγρασίας, ενώ δεν σηματοδοτεί πάντα την ύπαρξη βροχής. Εάν περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια και ρύπους τότε αλλάζουν οι ιδιότητές τους με αποτέλεσμα την αλλαγή του μεγέθους των υδροσταγονιδίων (περισσότερα σε πλήθος και μικρότερα), την αύξηση του χρόνου ζωής τους και την καθυστέρηση της βροχόπτωσης. Όταν αυτή πραγματοποιηθεί, είναι αυξημένης έντασης κι έχουμε ακραία καιρικά φαινόμενα.

Μερικές από τις παραμέτρους που μετρώνται στην ατμόσφαιρα και από τις οποίες προκύπτουν συμπεράσματα είναι: η θερμοκρασία, η πίεση, η υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, τα αιωρούμενα σωματίδια και οι ρύποι, τα αέρια του θερμοκηπίου και ειδικά το όζον. Οι μετρήσεις γίνονται επίγεια και δορυφορικά. Υπάρχουν αντίστοιχα ειδικά όργανα μέτρησής τους τοποθετημένα σε ειδικούς κλωβούς και σταθμούς σε όλη τη χώρα, προσαρτημένα σε ραδιοβολίδες αλλά και στους μετεωρολογικούς δορυφόρους που περιφέρονται γύρω από τη Γη. Τηλεπισκόπηση σημαίνει «παρατήρηση από μακριά» και η μέθοδος βασίζεται στην καταγραφή των σημάτων της ακτινοβολίας που σκεδάζεται στα μόρια και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Μπορεί να είναι είτε παθητική με καταγραφή της οπισθοσκεδαζόμενης ηλιακής ακτινοβολίας όπως στους περισσότερους δορυφόρους είτε ενεργητική με εκπομπή ακτινοβολίας και μετά την καταγραφή της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας. Μία μέθοδος ενεργητικής τηλεπισκόπησης είναι το LIDAR με εκπομπή ακτινοβολίας laser όπως συμβαίνει με το δορυφόρο CALIPSO (σύστημα LIDAR CALIOP), με αεροπλάνα και ελικόπτερα κατάλληλα εξοπλισμένα κ.α

Ο δορυφόρος CALIPSO της NASA/CNES, που διαθέτει το σύστημα LIDAR CALIOP, εκτοξεύτηκε τον Απρίλιο του 2006 και από τέλος Ιουνίου 2006 καταγράφει μετρήσεις. Πραγματοποιεί ημερήσιες και νυχτερινές τροχιές και περνάει δύο φορές την ημέρα από την ίδια περίπου περιοχή. Περνά κάθε 16 μέρες πάνω από την Αθήνα στις 00.30 UTC (η δεύτερη τροχιά περνά ανατολικότερα) και παρουσιάζει εικόνες από την οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία στα 532 nm και τα 1064 nm, με επιπλέον στοιχεία μεταβλητών, την οπισθοσκέδαση (κάθετη πόλωση) στα 532 nm, το λόγο αποπόλωσης αερολυμάτων, το δείκτη εξασθένισης χρώματος μεταξύ 1064 nm 532 nm, τον τύπο του σωματιδίου στο οποίο έγινε η σκέδαση, την οριζόντια μέση έκταση των σωματιδίων, την ανίχνευση πάγου ή νερού στα νέφη, τον τύπο του αερολύματος και το είδος του νέφους. Όλα τα δεδομένα είναι διαθέσιμα στη σελίδα του CALIPSO.

Το Πανεπιστήμιο του Wyoming, Σχολή Μηχανολόγων, Τμήμα Επιστήμης της Ατμόσφαιρας συγκεντρώνει στη σελίδα του δεδομένα ραδιοβόλισης από όλον τον κόσμο. Επισκεπτόμενοι τη σελίδα του συμπληρώνουμε φίλτρα για την περιοχή, τις ημερομηνίες έναρξης και λήξης παρουσίασης των επιθυμητών δεδομένων, την ώρα σε UTC και τον τύπο των αποτελεσμάτων σε μορφή λίστας, skewT plot, δηλαδή ένα γράφημα που δείχνει τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και τη θερμοκρασία κόρου, οι οποίες αν συναντηθούν δηλώνουν την πιθανή παρουσία νέφους, και hodograph, ή οδογράφος καμπύλη που δείχνει την ένταση των ανέμων. Παρέχεται επίσης χάρτης της περιοχής με όλους τους διαθέσιμους σταθμούς.

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αποτελεί μία στατιστική επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων για το σχηματισμό των νεφών πάνω από την Αθήνα για την δεκαετία 7/2006-6/2016. Πρώτο μέλημα είναι να συγκεντρώσουμε δεδομένα από το δορυφόρο CALIPSO της NASA/CNES που έχουν αποκτηθεί με τη βοήθεια του LIDAR CALIOP που διαθέτει και αφορούν το σχηματισμό νεφών πάνω από την Αθήνα τη δεκαετία 7/2006-6/2016. Ακολούθως, πραγματοποιούμε μία στατιστική επεξεργασία αυτών, συνολική, ανά εποχή και ανά μήνα. Κατόπιν για τις ημέρες που ο δορυφόρος εντοπίζει νέφος συγκεντρώνουμε δεδομένα που προέρχονται από ραδιοβολίσεις και διατίθενται στη σελίδα του Πανεπιστημίου του Wyoming, Σχολή Μηχανολόγων, Τμήμα Επιστήμης της Ατμόσφαιρας. Τέλος, ακολουθεί μία σύγκριση ώστε να διαπιστώσουμε αν εντοπίζουν νέφη και οι δύο μέθοδοι.

Απαραίτητα εργαλεία είναι το EXCEL για τη δημιουργία πινάκων με συγκεντρωτικά δεδομένα και δεδομένα αποτελεσμάτων και το υπολογιστικό εργαλείο προγραμματισμού MATLAB με το οποίο πραγματοποιείται η στατιστική και η παρουσίαση αποτελεσμάτων, τόσο με τη μορφή υπολογισμένων στατιστικών μεταβλητών σε πίνακες, όσο και τη δημιουργία διαγραμμάτων που παρουσιάζουν τα παραπάνω.

Σαν γενική παρατήρηση, διαπιστώνουμε ότι τα περισσότερα νέφη παρουσιάζονται με φθίνουσα σειρά ως ακολούθως: Χειμώνας, Φθινόπωρο, Άνοιξη, Καλοκαίρι. Ομοίως αναφορικά με τους μήνες, έχουμε: Νοέμβριος, Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Απρίλιος, Φεβρουάριος, Σεπτέμβριος, Μάρτιος, Οκτώβριος, Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος.

Σύμφωνα με τα διαγράμματα απόλυτων και σχετικών συχνοτήτων, στην πλειοψηφία τους απεικονίζουν λεπτόκυρτες καμπύλες με δεξιά ασυμμετρία. Σύμφωνα με τα υπολογισμένα στατιστικά μεγέθη, τα δεδομένα παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά και ασυμμετρία ενώ το διάγραμμα αθροιστικών σχετικών συχνοτήτων παρουσιάζει ενδιαφέρον ως προς την κατανομή των υψών και του πάχους. Το ύψος με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι γύρω στα 2 km, η πλειοψηφία των νεφών είναι τύπου *cirrus*, δηλαδή νέφη που παρουσιάζονται σε μεγαλύτερα ύψη, γεγονός σχετικά αναμενόμενο λόγω των διασπορών, της ασυμμετρίας και της κατανομής που αναφέρθηκε.

Ως προς τη φάση πάγου/νερού του νέφους, το Χειμώνα και την Άνοιξη επικρατεί ο πάγος ενώ το Φθινόπωρο και το Καλοκαίρι επικρατεί το νερό. Για τους μήνες βλέπουμε ότι 7/12 επικρατεί ο πάγος και 4/12 το νερό ενώ σε ένα μήνα (Νοέμβριος) έχουν ίδιο ποσοστό.

Από τη σύγκριση με τα δεδομένα ραδιοβόλισης έχουμε χρονικά διαθέσιμα για 4.5 έτη. Από αυτά το 75% δείχνει την παρουσία νέφους επομένως συμφωνεί με τα ευρήματα της μεθόδου του LIDAR, το 25% δεν έχει διαθέσιμα δεδομένα από ορισμένο ύψος και πάνω, μιας και στη ραδιοβόλιση μπορεί να σταματήσει η καταγραφή μετρήσεων στα 7-10 km, ενώ στο LIDAR καταγράφονται μετρήσεις ως την τροπόπαυση, περίπου 12 km για τη χώρα μας.

## **Abstract**

Atmosphere is a layer of gases which surrounds earth and moves with it in rotation. It consists of four main layers, troposphere, stratosphere, mesosphere and thermosphere. It acts as an ideal gas and satisfies hydrostatic and thermodynamic equilibriums. Thus some equations, properties and conditions of static stability are satisfied.

Clouds are part of the atmosphere and are located in troposphere. Cloud types are an outcome of their form and the height that they are made of. Their creation is due to the liquid droplets' condensation with four different mechanisms. Their final height depends on state stability's conditions and the kinetic energy that is obtained during the vertical movement in the atmosphere. The existence of a cloud is perceivable via the dew point and relative hydration's increasing. However, a cloud in the sky doesn't always mean a rainy day. If clouds contain aerosols and dust, their properties change. As a result, liquid droplets are smaller and in larger number, lifetime increases and precipitation holds on. When it finally rains, precipitation and weather phenomena are extreme.

Some interesting atmosphere parameters that are measured are temperature, pressure, hydration, solar radiation, aerosols and greenhouse's gases as ozone. Measurements take place on the ground (terrestrial) and via satellites. Special instruments are located in proper stations along the country or are hung from a radiosonde and are contained in meteorological satellites that orbit around earth. Remote sensing method is based on recording radiation signals that is scattered on molecules and particles of the atmosphere. In passive remote sensing, backscatter solar radiation is recorded, as done in most of the satellites. In action remote sensing, radiation is emitted and then backscatter radiation is recorded. LIDAR method is an action remote sensing method, which uses laser radiation as happens with satellite CALIPSO (LIDAR system CALIOP), airplanes-helicopters properly equipped and elsewhere.

Satellite CALIPSO of NASA/CNES which contains LIDAR system CALIOP, was launched in April 2006 and has been recording measurements since late June 2006. It orbits in daytime and nighttime and passes twice a day above a place. Every 16 days CALIPSO passes above Athens at 00.30 UTC (second orbit passes eastern). Images indicate backscatter radiation in 532nm and 1064nm with parameter information, perpendicular backscatter in 532nm, depolarization ratio, attenuated color ratio 1064/532, vertical feature mask, horizontal averaging, ice/water phase of clouds, aerosol subtypes and cloud subtypes. Data are available on CALIPSO website.

University of Wyoming, College of Engineering, Department of Atmospheric Science, gathers data from radiosondes on its website all over the world. When visiting its website, according to the procedure, you have to fill filters about region, dates (from-to), time in UTC and type of plot. It includes list, skew T-plot, plot that indicates temperature and dew point where their meeting means cloud existence and hodograph, plot that indicates winds (direction and strength). Region map with all the available stations are included as well.

The present Thesis is a statistical processing of meteorological data about cloud formation above Athens for the decade 7/2006-6/2016.



Firstly, we gather data from satellite CALIPSO and its LIDAR CALIOP about cloud formation above Athens for the period of 7/2006-6/2016 and then we process them statistically in total, per season and per month. Secondly, for the cloudy days according to CALIOP, we gather data from radiosondes as they are displayed on the website of the University of Wyoming, College of Engineering, Department of Atmospheric Science and are compared statistically in order to figure whether both methods detect clouds. For this procession, statistics and programming took place, with the usage of the important tools of Microsoft Excel for the tables of collected data and result data and MATLAB for the statistics and results' presentation, either computing statistic variables or making figures with diagrams.

As concerns the seasons, cloud percentage is decreasing as follows: Winter, Fall, Spring and Summer. When it comes to months, cloud percentage is decreasing as detailed below: November, December, January, April, February, September, March, October, May, June, July and August.

According to absolute and relative frequency histograms, most of the distribution are leptokurtic with positive skew. Also computing statistic variables show great variance and skewness, while cumulate relative frequency histogram is quite interesting in height and thickness distributions. The most frequent height is about 2 km while the most clouds are cirrus type, a cloud subtype that appears in greater heights. This happens because of the great variance, skewness and the distribution form.

About ice/water phase of the cloud, ice predominates in Winter and Spring and water predominates in Fall and Summer. Also ice prevails in 7/12 months and water in 4/12 months while ice and water have the same percentage in November.

Radiosondes data are available for about 4.5 years. 75% of them indicate cloud existence as CALIOP as well and 25% of them are not available for some heights and higher, considering that data recording in radiosondes takes place up to 7-10 km while in LIDAR method up to tropopause, about 12 km in Greece.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1-ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ.....	12
1.1 Η γήινη ατμόσφαιρα.....	12
1.2 Κατακόρυφη δομή ατμόσφαιρας.....	13
1.3 Ιδιότητες της γήινης ατμόσφαιρας.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2-ΝΕΦΗ.....	20
2.1 Εισαγωγή.....	20
2.2 Μηχανισμοί δημιουργίας νεφών.....	21
2.3 Είδη νεφών.....	22
2.4 Χαρακτηριστικά νεφών και βροχή.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3-ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ.....	27
3.1 Παράμετροι της ατμόσφαιρας.....	27
3.2 Τεχνικές μέτρησης των ατμοσφαιρικών παραμέτρων.....	30
3.3 Δορυφόρος CALIPSO.....	32
3.4 Δεδομένα ραδιοβολίσεων.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	54
4.1 Συλλογή δεδομένων.....	54
4.2 Στατιστική επεξεργασία.....	74
4.3 Προγραμματισμός στο MATLAB.....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	79
5.1 Στατιστική 10 ετών.....	79
5.2 Στατιστική ανά εποχή.....	81
5.3 Στατιστική ανά μήνα.....	91
5.4 Σύγκριση με δεδομένα ραδιοβολίσης.....	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	118
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	122
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	123
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	125
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ ΡΑΔΙΟΒΟΛΙΣΗΣ.....	125
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ ΚΩΔΙΚΕΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATLAB.....	129

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν θέμα τη συλλογή, επεξεργασία και στατιστική ανάλυση μετεωρολογικών δεδομένων για την ανάκτηση παραμέτρων των νεφών με συνέργεια τεχνικών τηλεπισκόπησης laser (τεχνική lidar) και δεδομένων ραδιοβόλισης.

Αρχικά, παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία που αφορούν την γήινη ατμόσφαιρα (κατακόρυφη δομή) και τα νέφη, περιλαμβάνονται γενικές πληροφορίες και ιδιότητες. Το τρίτο κεφάλαιο αφορά τις παραμέτρους της ατμόσφαιρας (υγρασία, θερμοκρασία κλπ), την σημασία μελέτης τους και τεχνικές μέτρησής τους.

Στο τέταρτο περιγράφεται η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων για τη δεκαετία 2006-2016 για τα νέφη πάνω από την Αθήνα, ενώ στο πέμπτο γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Στο έκτο κεφάλαιο είναι τα συμπεράσματα και κατόπιν ακολουθεί ο επίλογος, η βιβλιογραφία και τα παραρτήματα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

## 1.1 Η γήινη ατμόσφαιρα

Η γήινη ατμόσφαιρα αποτελείται από ένα μίγμα αερίων. Το μίγμα αυτό περιέχει διαφορετικά αέρια και υδρατμούς. Πιστεύεται ότι δημιουργήθηκε πριν από 4.6 δισεκατομμύρια χρόνια με αρχική σύνθεση τα άζωτο, υδρογόνο, διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμούς, ενώ πριν από 400 εκατομμύρια χρόνια η σύστασή της σταθεροποιήθηκε. Σήμερα ο ξηρός ατμοσφαιρικός αέρας έχει την εξής σύσταση: άζωτο (78%) , οξυγόνο (21%), αργόν, διοξείδιο του άνθρακα, νέον, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου, υδρογόνο, μονοξείδιο του άνθρακα, όζον, υδρατμοί (1%) κλπ.

Η ατμόσφαιρα αρχίζει από την επιφάνεια του εδάφους που ορίζεται ως η μέση στάθμη της θάλασσας (ΜΣΘ) με ύψος 0 km. Το τέλος της ή αλλιώς το όριο ανάμεσα σε αυτήν και το διάστημα δεν είναι αυστηρά καθορισμένο. Καθώς μεγαλώνει η απόσταση της από τη επιφάνεια της Γης η πυκνότητα της ατμόσφαιρας σταδιακά μειώνεται. Έτσι το υψόμετρο των 120-150 km μπορεί να καθορισθεί ως το τέλος της γήινης ατμόσφαιρα.

Η ατμόσφαιρα διατηρείται γύρω από τη Γη εξαιτίας της βαρύτητας και κινείται μαζί με τη Γη λόγω της περιστροφής της. Η ζωή στον πλανήτη οφείλεται στην ατμόσφαιρα. Περιέχει το οξυγόνο απαραίτητο για την αναπνοή των οργανισμών, το όζον που μαζί με τα άλλα αέρια του θερμοκηπίου απορροφούν την επικίνδυνη υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία αλλά και τη γήινη υπέρυθη ακτινοβολία (που συναρτάται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου) διατηρώντας έτσι μία βιώσιμη θερμοκρασία για τους έμβιους οργανισμούς.

Η διάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα, βασίζεται στη σκέδαση της και απορρόφηση από τα μόρια και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Η σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα μόρια της ατμόσφαιρας δημιουργεί το γαλάζιο χρώμα του ουρανού, ενώ η σκέδαση από τα σωματίδια δημιουργεί τα χρώματα των νεφών, της ανατολής και της δύσης. Η ύπαρξη της ατμόσφαιρας είναι υπεύθυνη για

την δημιουργία φαινομένων, όπως η Ηλιακή και η Σεληνιακή άλως, το ουράνιο τόξο, το πολικό Σέλας, η διάθλαση, ο αντικατοπτρισμός, κλπ.

## 1.2 Κατακόρυφη δομή της ατμόσφαιρας

Το ατμοσφαιρικό στρώμα από το έδαφος έως τα 80-100 km ύψος ονομάζεται **ομοιόσφαιρα**, καθώς επικρατούν συνθήκες πλήρους ανάμιξης και ο αέρας έχει σταθερό μοριακό βάρος. Πάνω από αυτό το όριο (*τυρβόπαυση*) υπάρχει η **ετερόσφαιρα**. Η πυκνότητα εκεί είναι τόσο μικρή που τα μόρια και τα άτομα συγκρούονται λιγότερο συχνά με αποτέλεσμα τα αέρια να διαστρωματώνονται ανάλογα με το μοριακό τους βάρος. Επίσης, ουσίες που φυσιολογικά είναι αντιδραστικές (π.χ. οι ελεύθερες ρίζες) παρουσιάζουν μεγάλους χρόνους παραμονής στην ετερόσφαιρα. Μολονότι οι τελευταίες αραιότερες παρυφές της ατμόσφαιρας φτάνουν σε ύψος ~120-150 km, το 99% της συνολικής της μάζας περιέχεται σε μία ζώνη από την επιφάνεια έως το ύψος των ~30 km. (Μακρογιάννης et al., 2004)

Επιπλέον, είναι σύνηθες να γίνεται διαχωρισμός των ατμοσφαιρικών στρωμάτων ανάλογα με την κατακόρυφη μεταβολή της θερμοκρασίας. Η παρακάτω κατακόρυφη δομή της ατμόσφαιρας σε στρώματα και καθορισμού ύψους εκάστου ορίσθηκε το 1962 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO).

### α) Τροπόσφαιρα

Η τροπόσφαιρα πήρε το όνομά της από τις λέξεις *τρόπος* και *σφαίρα*, από το Βρετανό μετεωρολόγο Sir Napier Shaw. Εκτείνεται από το έδαφος ως τα 10-18 km ύψος (τροπόπαυση) ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του χρόνου. Στους Πόλους φτάνει μέχρι τα 6-8 km, στα μέσα γεωγραφικά πλάτη όπως και της χώρας μας έως τα ~12 km και στον Ισημερινό έως τα 18 km.

Η τροπόσφαιρα περιέχει το 85-90% της μάζας της ατμόσφαιρας και χαρακτηρίζεται από μείωση της θερμοκρασίας με την αύξηση του ύψους (-10K/km), δυναμική αστάθεια (τυρβώδης ατμόσφαιρα) και έντονη κατακόρυφη ανάμιξη αέριων μαζών και παράλληλη διανταλλαγή ενέργειας λόγω της κατακόρυφης μεταφοράς αέριων μαζών (συναγωγή). Επιπλέον, εμπεριέχει το Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ)

που βρίσκεται στα 1-2 πρώτα χιλιόμετρα, ενώ τα στρώματα πάνω από το ΑΟΣ έως την τροπόπαυση, αποτελούν την ελεύθερη τροπόσφαιρα.

Για τη Μετεωρολογία η τροπόσφαιρα είναι το σημαντικότερο στρώμα γιατί σε αυτήν συμβαίνουν όλες οι μεταβολές του καιρού και τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Τα αεροπλάνα πετούν ακριβώς κάτω από την τροπόπαυση με εξαίρεση κάποια στρατιωτικά που πετούν και στη στρατόσφαιρα.

Ο ορισμός της τροπόπαυσης σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας (WMO) έχει ως εξής: Η τροπόπαυση είναι το χαμηλότερο επίπεδο της ατμόσφαιρας στο οποίο ο ρυθμός μείωσης της θερμοκρασίας με το ύψος μειώνεται με ρυθμό  $<2\text{K/km}$  και ο μέσος όρος του ρυθμού μείωσης της θερμοκρασίας με το ύψος μεταξύ του χαμηλότερου επιπέδου της ατμόσφαιρας και οποιουδήποτε ανώτερου επιπέδου σε εύρος το πολύ 2 km δεν υπερβαίνει τα  $2\text{K/km}$ .

### **β) Στρατόσφαιρα**

Η στρατόσφαιρα πήρε το όνομά της από τη λατινική λέξη *stratus* (στρώμα) και την λέξη *σφαίρα*. Ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο μετεωρολόγο Leon Philippe Teisserenc de Bort και εκτείνεται από την τροπόπαυση μέχρι τα 45-50 km όπου βρίσκεται η στρατόπαυση. Περιέχει το 90% του ατμοσφαιρικού όζοντος.

Επίσης, παρουσιάζει μία περιοχή, εύρους  $\sim 10$  km για τα μέσα γεωγραφικά πλάτη, στην οποία η θερμοκρασία παραμένει σταθερή με το ύψος ενώ άνω των 20 km παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας με την αύξηση του ύψους εξαιτίας της έντονης απορρόφησης της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας από το στρώμα του όζοντος στη φασματική περιοχή μεταξύ 200 και 300 nm.

Άλλα χαρακτηριστικά αυτού του στρώματος είναι η σχεδόν τέλεια απουσία υδρατμών και η ελάχιστη ανάμιξη των αέριων μαζών της. Πρόκειται δηλαδή για ένα στρώμα στο οποίο δεν αναμειγνύονται παρά ελάχιστα οι αέριες μάζες και αν μία βρεθεί εκεί προερχόμενη από την τροπόσφαιρα μπορεί να μείνει από 1-5 χρόνια.

### **γ) Μεσόσφαιρα**

Η Μεσόσφαιρα εκτείνεται από την στρατόπαυση μέχρι τα 80-90 km όπου ευρίσκεται η μεσόπαυση. Σε αυτό το στρώμα η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση του ύψους, σημειώνεται η χαμηλότερη τιμή της γήινης θερμοκρασίας στους -88 έως -90°C, ενώ υπάρχει έντονη κατακόρυφη ανάμειξη των αέριων μαζών της.

### **δ) Ιονόσφαιρα**

Η Ιονόσφαιρα βρίσκεται μεταξύ της μεσόσφαιρας και της θερμόσφαιρας και εκτείνεται από τα 80-300 km περίπου. Σε αυτήν παρατηρείται μερικός ιονισμός των ατμοσφαιρικών συστατικών από την ηλιακή ή τη σωματιδιακή ακτινοβολία.

### **ε) Θερμόσφαιρα**

Η σφαίρα αυτή εκτείνεται από την μεσόπαυση μέχρι 400 km όπου υπάρχει η θερμόπαυση. Παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας με την αύξηση του ύψους λόγω της απορρόφησης της υπεριώδους ακτινοβολίας από τα οξυγόνο και άζωτο ενώ η θερμοκρασία της θερμόσφαιρας εξαρτάται άμεσα από την ηλιακή δραστηριότητα. Ακόμα η κατακόρυφη κατανομή των αέριων μαζών της είναι ελάχιστη. Σε αυτό το τμήμα της ατμόσφαιρας βρίσκεται ο Διεθνής Διαστημικός Σταθμός (ISS). (Κατσαφάδος et al,2015)

### **στ) Εξώσφαιρα**

Τέλος, το τμήμα από τη θερμόπαυση μέχρι 3500 km λέγεται εξώσφαιρα.

## **1.3 Ιδιότητες της γήινης ατμόσφαιρας**

### **A) Η ατμόσφαιρα ως τέλειο αέριο**

Η ατμόσφαιρα συμπεριφέρεται ως τέλειο αέριο σε μεγάλο βαθμό με αποτέλεσμα για ένα γραμμομόριο να ισχύει:

$$PV_m = R^*T \quad (1.1)$$

όπου  $P$  είναι πίεση του αερίου,  $V_m$  όγκος ενός γραμμομορίου,  $R^* = 8,3143JK^{-1}mol^{-1}$  η παγκόσμια σταθερά των αερίων,  $T$  η απόλυτη θερμοκρασία (K).

Επίσης, η πυκνότητα  $\rho$  της ατμόσφαιρας δίνεται από τη σχέση:

$$\rho = \frac{M_m}{V_m} \quad (1.2)$$

όπου  $M_m$  είναι η μάζα ενός γραμμομορίου. Από τις εξισώσεις (1.1) και (1.2) προκύπτει ότι:

$$P = \frac{R^*T}{V_m} = (R^*/M_m)\rho T = \rho RT \quad (1.3)$$

όπου  $R = R^*/M_m$  η σταθερά των αερίων ανά μονάδα μάζας και εξαρτάται από τη σύνθεση του ατμοσφαιρικού δείγματος. Ισχύει επίσης:

$$PV = nkT \quad (1.4)$$

όπου  $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$ ,  $R^* = N_A k$ ,  $N_A = 6.023 \cdot 10^{23} \text{μόρια/mole}$  είναι ο αριθμός Avogadro και  $n=N_A$

Η μερική πίεση  $P_i$  ενός αερίου ορίζεται ως η πίεση που ασκούν  $n_i$  μόρια του αερίου στο δείγμα αέρα εαν μόνα τους αυτά καταλαμβάνουν όγκο  $V$  σε θερμοκρασία  $T$ , οπότε:

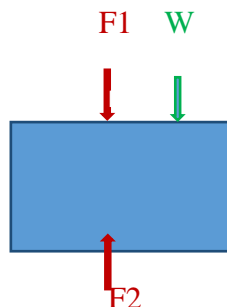
$$P_i V = n_i k T \quad (1.5)$$

Αντίστοιχα, ορίζεται ο μερικός όγκος  $V_i$  ενός αερίου, είναι δηλαδή ο όγκος που θα καταλάμβαναν μόνα τους τα μόρια του αερίου στο αέριο δείγμα σε θερμοκρασία  $T$  και πίεση  $P$ , οπότε:

$$P V_i = n_i k T \quad (1.6)$$

## B) Υδροστατική ισορροπία στην ατμόσφαιρα

Έστω μία κατακόρυφη στατική ατμοσφαιρική στήλη αέρα με διατομή  $\Delta A$ , ύψος  $\Delta z$ , πυκνότητα  $\rho$  και μάζα  $\Delta m = \rho \Delta A \Delta z$ . Θεωρώντας ότι η ατμοσφαιρική πίεση οφείλεται στο βάρος ανά επιφάνεια που ασκεί ο αέρας που βρίσκεται πάνω από το ύψος  $z$ , τότε υπάρχει υδροστατική ισορροπία.



Εικόνα 1: Υδροστατική ισορροπία στην ατμόσφαιρα.

Τα δύο κόκκινα βέλη δηλώνουν τις δυνάμεις λόγω πίεσης και το πράσινο τη βαρυτική δύναμη της ατμοσφαιρικής στήλης.

$$F_1 = \Delta A p(z + \Delta z) \quad (1.7)$$



$$F_2 = \Delta Ap(z) \quad (1.8)$$

$$W = g\Delta m = g\rho\Delta A\Delta z \quad (1.9)$$

Οι δυνάμεις  $F_1$ ,  $W$  έχουν φορά προς τα κάτω, ενώ η  $F_2$  προς τα πάνω. Οπότε λόγω της ισορροπίας έχουμε:

$$\Sigma F = 0 \Leftrightarrow F_2 - F_1 - W = 0$$

$$\Delta Ap(z) - \Delta Ap(z + \Delta z) - g\rho\Delta A\Delta z = 0 \quad (1.10)$$

$$\frac{[p(z+\Delta z)-p(z)]}{\Delta z} = \frac{dp}{dz} \quad (1.11)$$

Από τις εξισώσεις (1.3), (1.10), (1.11) προκύπτει:

$$\frac{dp(z)}{dz} = -\rho(z)g \Leftrightarrow \frac{dp(z)}{p} = -\frac{gdz}{RT} \quad (1.12)$$

Η εξίσωση (1.12) είναι μία σχέση που συνδέει την πίεση και το ύψος. Έτσι, μπορούμε να υπολογίσουμε την πίεση  $p$  σε κάποιο ύψος  $z$  εάν γνωρίζουμε τη θερμοκρασία και την αρχική πίεση στο έδαφος. Επίσης, μπορούμε να ορίσουμε την ατμοσφαιρική κλίμακα ύψους ή υψομετρική κλίμακα πίεσης την ποσότητα:

$$H(z) = RT(z)/g \quad (1.13)$$

Αν αρχικά  $z=0$  στην επιφάνεια του εδάφους,  $p_0$  πίεση,  $T_0$  σταθερή θερμοκρασία τότε αντικαθιστώντας στις (1.12), (1.13):

$$\begin{aligned} \frac{d(\ln p)}{dz} = -\frac{g}{RT} &\Leftrightarrow \ln p - \ln p_0 = -\left(\frac{g}{R}\right) \int_0^z dz'/T(z') \\ p(z) = p_0 \exp\left[-\frac{g}{R} \int_0^z \frac{dz'}{T(z')}\right] &\Leftrightarrow p(z) = p_0 \exp\left(-\int_0^z \frac{dz'}{H(z')}\right) \\ p(z) = p_0 \exp\left(-\frac{gz}{RT_0}\right) &\Leftrightarrow p(z) = p_0 \exp(-z/H_0) \quad (1.14) \end{aligned}$$

Επιπροσθέτως με την εξίσωση (1.12) και δοθείσης μίας ισοβαρούς επιφάνειας (επιφάνεια με σταθερή πίεση)  $p_1$  σε ύψος  $z_1$  μπορούμε να υπολογίσουμε το ύψος  $z_2$  μιας άλλης ισοβαρούς επιφάνειας  $p_2$ . Αν το ύψος  $z_2 > z_1$  τότε  $p_2 < p_1$  γεγονός που υποδηλώνει ότι η πίεση μειώνεται όσο αυξάνεται το ύψος.

Στην περίπτωση αυτή ισχύει:

$$gdz = -RTd(\ln p) \Leftrightarrow (z_2 - z_1) = -R/g \int_{p_1}^{p_2} Td(\ln p)$$

$$(z_2 - z_1) = -\left(\frac{RT}{g}\right) \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = \left(\frac{RT}{g}\right) \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) \quad (1.15a)$$

$$(z_2 - z_1) = -\left(\frac{RT_{mean}}{g}\right) \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) = \left(\frac{RT_{mean}}{g}\right) \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right) \quad (1.15b)$$

όπου η (1.15a) ισχύει εάν η  $T(z)$  είναι σταθερή με το ύψος, ενώ η (1.15b) ισχύει όταν η  $T(z)$  δεν είναι σταθερή με το ύψος και η  $T_{mean}$  δίνεται από τη σχέση:

$$T_{mean} = \frac{\int_{p_1}^{p_2} T d(\ln p)}{\int_{p_1}^{p_2} d(\ln p)} \quad (1.16)$$

### Γ) Ευστάθεια της ατμόσφαιρας

Μελετώντας ένα τμήμα ατμοσφαιρικού αέρα πίεσης  $p$ , όγκου  $V$  και θερμοκρασίας  $T$  που κινείται κατακόρυφα ισχύει το 1<sup>ο</sup> Θερμοδυναμικό Αξίωμα:

$$dQ = dU + dW \quad (1.17)$$

όπου  $dQ$  είναι η προσφερόμενη θερμότητα,  $dU$  η εσωτερική ενέργεια και  $dW$  το παραγόμενο έργο. Για μια μοναδιαία μάζα και αδιαβατική κίνηση ( $dQ=0$ ) ισχύουν επίσης:

$$dU = c_V dT \quad (1.18)$$

$$dW = p dV \quad (1.19)$$

$$c_p - c_V = R^* \quad (1.20)$$

Από τις εξισώσεις (1.1), (1.12), (1.17) και (1.20) ορίζουμε την ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα:

$$\Gamma_d = -\frac{dT}{dz} = \frac{g}{c_p} \quad (1.21)$$

η οποία έχει τιμή  $\Gamma_d = 9.76 \frac{K}{km}$  και λειτουργεί ως κλίση αναφοράς σε σχέση με την πραγματική θερμοβαθμίδα του περιβάλλοντος. Αν η αέρια μάζα δεν είναι ξηρή κι έχει υδρατμούς ανεβαίνοντας δεν ψύχεται τόσο γρήγορα, επομένως, η κλίση της είναι μικρότερη της  $\Gamma_d$ . Από τις εξισώσεις (1.12) και (1.21) προκύπτει ότι:

$$\frac{dT}{dp} = \frac{1}{\rho c_p} \quad (1.22)$$

Με βάση τις εξισώσεις (1.1) και (1.21) συμπεραίνουμε:

- Η μείωση πίεσης σημαίνει μείωση θερμοκρασίας και αύξηση όγκου άρα ο ανερχόμενος αέρας ψύχεται και εκτονώνεται.
- Η αύξηση πίεσης σημαίνει αύξηση θερμοκρασίας και μείωση όγκου άρα ο κατερχόμενος αέρας θερμαίνεται και συμπιέζεται.

Αν τώρα η πραγματική θερμοβαθμίδα του περιβάλλοντος έχει μεγαλύτερη κλίση από τη  $\Gamma_d$  τότε αυτή ονομάζεται υπεραδιαβατική και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι ασταθείς. Δηλαδή, εάν μία αέρια μάζα, που ακολουθεί τη ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα, ανεβαίνει, τότε επειδή είναι θερμότερη από το περιβάλλον της θα

συνεχίσει να ανεβαίνει, ενώ εάν κατεβαίνει είναι ψυχρότερη από το περιβάλλον της και θα συνεχίσει να κατεβαίνει.

Αντίθετα, εάν η πραγματική θερμοβαθμίδα έχει μικρότερη κλίση από τη  $\Gamma_d$  τότε αυτή ονομάζεται υποαδιαβατική και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι ευσταθείς. Δηλαδή εάν μία ανερχόμενη αέρια μάζα, που ακολουθεί τη ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα (θεωρούμενη ως κλίση αναφοράς), τότε επειδή θα είναι ψυχρότερη από το περιβάλλον της, θα επανέλθει στην αρχική της θέση, ενώ εάν κατεβαίνει θα είναι θερμότερη από το περιβάλλον της, με αποτέλεσμα να επανέλθει, κινούμενη προς τα επάνω, στην αρχική της θέση.

Ανάλογα, με βάση το μέγεθος της δυναμικής θερμοκρασίας και παίρνοντας τη βαθμίδα της, καταλήγουμε σε αντίστοιχα συμπεράσματα. Πράγματι, χρησιμοποιώντας τις έννοιες της εντροπίας και ενθαλπίας έχουμε:

$$\delta Q = T \delta S \quad (1.22)$$

$$H = U + pV \quad (1.23)$$

Ορίζοντας τη δυναμική θερμοκρασία  $\theta$  μιας αέριας μάζας θερμοκρασίας  $T$  και πίεσης  $p$ , ως τη θερμοκρασία που θα είχε η μάζα αυτή εάν είχε υποβληθεί σε μια αδιαβατική μετάβαση από την κατάσταση  $(p, T)$  σε μια κατάσταση  $(p_0, T)$ , θα ισχύει:

$$\theta = T \left( \frac{p_0}{p} \right)^{\frac{R}{c_p}} \quad (1.24)$$

όπου  $p_0$  είναι η πίεση στο επίπεδο της επιφάνειας της γης.

Τέλος, από τις εξισώσεις (1.3), (1.12) και (1.21) προκύπτει η παρακάτω εξίσωση:

$$\left( \frac{1}{\theta} \right) \left( \frac{d\theta}{dz} \right) = \left( \frac{1}{T} \right) \left[ \left( \frac{dT}{dz} \right) + \Gamma_d \right] \quad (1.25)$$

όπου  $\frac{dT}{dz}$ : η πραγματική θερμοβαθμίδα της ατμόσφαιρας.

Επομένως όταν  $\left( \frac{dT}{dz} \right) < \Gamma_d$  και άρα  $\frac{d\theta}{dz} > 0$  έχουμε ευσταθή ισορροπία. Όταν  $\left| \frac{dT}{dz} \right| > \Gamma_d$  και άρα  $\frac{d\theta}{dz} < 0$  έχουμε ασταθή ισορροπία, ενώ όταν  $\frac{dT}{dz} = 0$  έχουμε ουδέτερη ευστάθεια.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2- ΝΕΦΗ

### 2.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται από ένα σύνολο διαφόρων συστατικών, δηλαδή από διαφορετικά αέρια (μεταξύ των οποίων και υδρατμών) και αιωρούμενα σωματίδια. Τα νέφη είναι ένα ορατό σύνολο υδρατμών, λεπτότατων υδροσταγονιδίων ή/και λεπτότατων παγοκρυστάλλων, αναλόγως το ύψος στο οποίο αυτά ευρίσκονται.

Ας δούμε τώρα πώς σχηματίζονται τα νέφη. Μια αέρια μάζα σε ορισμένη θερμοκρασία περιλαμβάνει συγκεκριμένη ποσότητα υδρατμών. Εάν αυτή η αέρια μάζα θερμανθεί (π.χ. από την υποκείμενη επιφάνεια της γης) θα αρχίσει να ανέρχεται γρήγορα και να ψύχεται αδιαβατικά, δηλαδή χωρίς ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον της, μέχρι να φτάσει στη θερμοκρασία δρόσου. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι η γρήγορη ανοδική κίνηση μιας αέριας μάζας ισοδυναμεί με αδιαβατική μετάβαση.

Η θερμοκρασία δρόσου, δηλώνει ότι η αέρια μάζα δεν «χωράει» επιπλέον υδρατμούς και είναι το όριο μετά το οποίο οι υδρατμοί αρχίζουν να συμπυκνώνονται. Ενώ, λοιπόν, αρχίζει η συμπύκνωση των υδρατμών, το σύννεφο εξακολουθεί να είναι θερμότερο από το περιβάλλον του, οπότε συνεχίζει να ανεβαίνει αποδίδοντας τώρα θερμότητα προς το περιβάλλον του, με τη μορφή της λανθάνουσας θερμότητας.

Ειδικότερα, το ύψος που θα φτάσει και θα παραμείνει ένα σύννεφο εξαρτάται από δύο παράγοντες: τη θερμοκρασία που έχει σε σχέση με το περιβάλλον του (σε σύγκριση με την ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα) και την κινητική του ενέργεια, που απέκτησε καθώς ανέβαινε. Πράγματι, η αέρια μάζα ανεβαίνει ακολουθώντας την ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα. Όμως, μετά τη συμπύκνωση των υδρατμών, που αρχίζει στο σημείο δρόσου, ακολουθεί, πλέον, την υγρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα. Ταυτόχρονα, όμως, με την άνοδο του, συμβαίνει το φαινόμενο της εξάτμισης των υδρατμών του, και, έτσι, χάνει υγρασία, οπότε κάποια στιγμή η πορεία που θα ακολουθήσει θα είναι ξανά αυτή της ξηρής αδιαβατικής θερμοβαθμίδας.

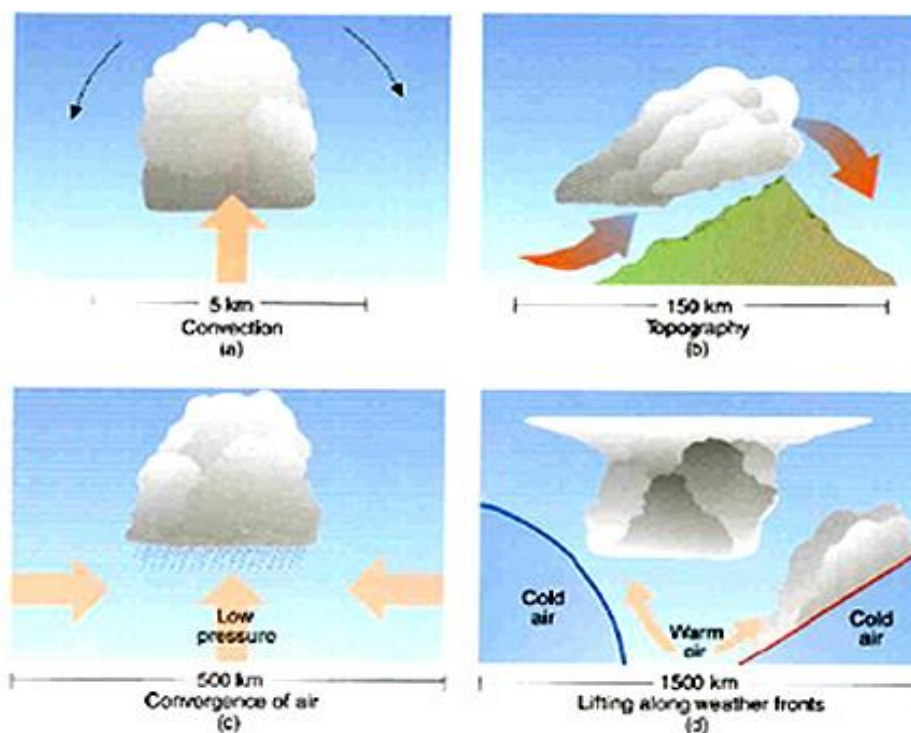
Επίσης, ανεβαίνοντας η αέρια μάζα ψύχεται, οπότε η θερμοκρασία της γίνεται ίση με εκείνη του περιβάλλοντός του. Όμως, λόγω της ορμής και της κινητικής ενέργειας που έχει αποκτήσει, συνεχίζει να ανεβαίνει. Εν τω μεταξύ η ενέργεια που αποβάλλει κατά την ψύξη αποδίδεται στο περιβάλλον με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας. Όταν η θερμοκρασία του νέφους γίνει ίδια με αυτήν του περιβάλλοντός του, τότε θα σταματήσει να ανεβαίνει και θα παραμείνει σε συγκεκριμένο ύψος. (Παπαγιάννης, 2014)

Τέλος, ορίζουμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του νέφους που είναι τα παρακάτω:

- 1) η βάση του νέφους
- 2) το πάχος του νέφους
- 3) η κορυφή του νέφους.

## 2.2 Μηχανισμοί δημιουργίας νεφών

Υπάρχουν τέσσερις, βασικοί, μηχανισμοί δημιουργίας των νεφών (Εικόνα 2) οι οποίοι σχετίζονται με τη μορφολογία και το ανάγλυφο του εδάφους, καθώς και με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες:



## Εικόνα 2: Μηχανισμοί δημιουργίας νεφών

(<http://clcccharter.org/mk/Weather%20Project/Meteorology%20Lessons/Clouds/Clouds.html>)

- *Ορογραφικός μηχανισμός.*

Όταν οι αέριες μάζες που κινούνται πάνω από την επιφάνεια της γης συναντήσουν κάποιο φυσικό εμπόδιο (π.χ. ένα βουνό), θα ακολουθήσουν το φυσικό ανάγλυφο της επιφάνειας της γης και θα μετακινηθούν προς τα επάνω. Όταν η θερμοκρασία τους φτάσει στη θερμοκρασία δρόσου θα δημιουργηθεί ένα σύννεφο,

- *Η σύγκλιση (convergence) των αέριων μαζών.*

Οι αέριες μάζες μετακινούνται πάντα από την υψηλή προς τη χαμηλότερη πίεση. Όταν δύο αέριες μάζες είναι αντίρροπες, έρχονται δηλαδή από αντίθετες κατευθύνσεις, προκειμένου να υπάρξει εξισορρόπηση της πίεσης ο μόνος δρόμος να μετακινηθούν είναι προς τα επάνω. Άρα, όπως και προηγουμένως, όταν φθάσουν στη θερμοκρασία δρόσου θα δημιουργηθεί ένα σύννεφο,

- *Η ύπαρξη μετώπων.*

Ένα ψυχρό μέτωπο, δηλαδή ψυχρός αέρας, που εμπεριέχει πυκνότερες αέριες μάζες από εκείνες ενός θερμού μετώπου, συγκλίνει προς ένα θερμό μέτωπο. Στο σημείο συνύπαρξης των μετώπων, το ψυχρό εκτοπίζει το θερμό και καταλαμβάνει το χώρο του, καθώς το θερμό μέτωπο, όντας αραιότερο, αναγκαστικά ανέρχεται προς τα επάνω,

- *Η συναγωγή (convection) αέριων μαζών.*

Στην περίπτωση αυτή, όταν το έδαφος θερμαίνεται πάρα πολύ, θερμαίνεται και η υπερκείμενη αέρια μάζα και αρχίζει να ανέρχεται προς τα επάνω.(Κατσαφάδος et al.,2015)

### 2.3 Είδη νεφών

Η ονοματολογία των νεφών έγινε από τον Howard το 1803 βασιζόμενος στη μορφή των νεφών. Οι παρακάτω λατινικές λέξεις αποτελούν τα συνθετικά μέρη των ονομάτων των νεφών.

ALTO	ΥΨΟΣ
CIRRUS	ΙΝΑ
CUMULUS	ΣΩΡΟΣ
NIMBUS	ΒΡΟΧΗ
STRATUS	ΣΤΡΩΜΑ

### Χαμηλά Νέφη (0-3 km)

Stratus (S) (Στρώματα)	Στρωματοποιημένα νέφη με ομοιόμορφη βάση μερικές φορές διάσπαρτα
Stratocumulus (Sc) (Στρωματοσωρείτες)	Στρωματοποιημένα νέφη με σκούρα τμήματα που καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις
Nimbostratus (Ns) (Στρωματομελανίες)	Παχύ γκρίζο νεφικό στρώμα με συνεχή βροχόπτωση ή χιονόπτωση

### Μέσου Ύψους Νέφη (2-8 km)

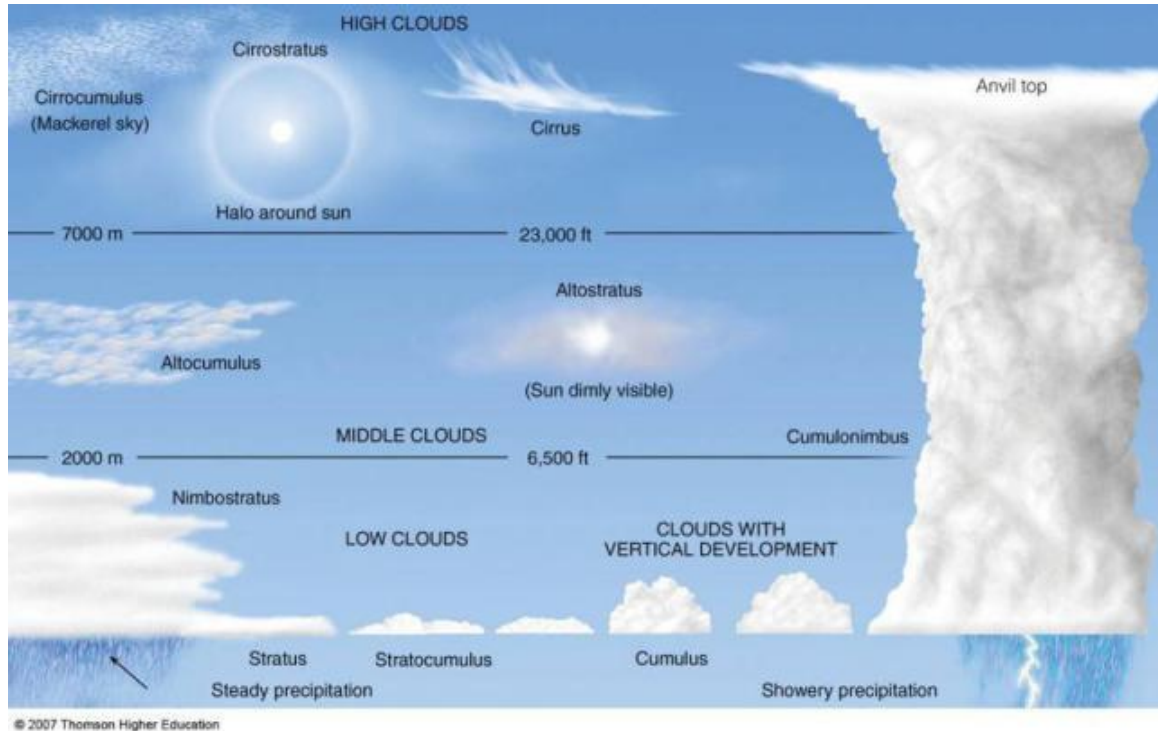
Cumulus (Cu) (Σωρείτες)	Απομονωμένα πυκνά νέφη με έντονο περίγραμμα, κατακόρυφη ανάπτυξη, μορφή θόλου ή πύργου, οριζόντια βάση
Altostratus (As) (Υψιστρώματα)	Στρωματοποιημένα νέφη ινώδους ή ομοιόμορφης μορφής σε μεσαία ύψη
Alto cumulus (Ac) (Υψισωρείτες)	Λευκά ή γκρίζα νέφη με σκίαση, μικρού πάχους και μερικώς ινώδους υφής

### Υψηλά Νέφη (5-12 km)

Cumulonimbus (Cb) (Σωρειτομελανίες)	Βαριά και πυκνά νέφη με κατακόρυφη ανάπτυξη (μορφή τεράστιου πύργου), έντονη ανοδική ανάπτυξη, δημιουργία βροχής, καταιγίδας, χαλαζιού, φτάνουν ως την τροπόπαυση
Cirrus (Ci) (Θύσσανοι)	Ινώδους υφής, λεπτά νημάτια
Cirrostratus (Cs) (Θυσανοστρώματα)	Διαφανές υπόλευκο νεφικό πέπλο- Άλως λόγω διάθλασης του ηλιακού

Cirrocumulus (Cc) (Θυσσανοσωρείτες)

φωτός από τους παγοκρυστάλλους  
Λεπτά ινώδη νέφη ή στρώματα με  
σχετικά κανονική διάταξη



**Εικόνα 3.** Είδη νεφών στη γήινη ατμόσφαιρα

(<https://armyaviation.wordpress.com/2012/02/18/%CE%B5%CE%B9%CE%B4%CE%B7-%CE%BD%CE%B5%CF%86%CF%89%CE%BD/>)

## 2.4 Χαρακτηριστικά νεφών και βροχή

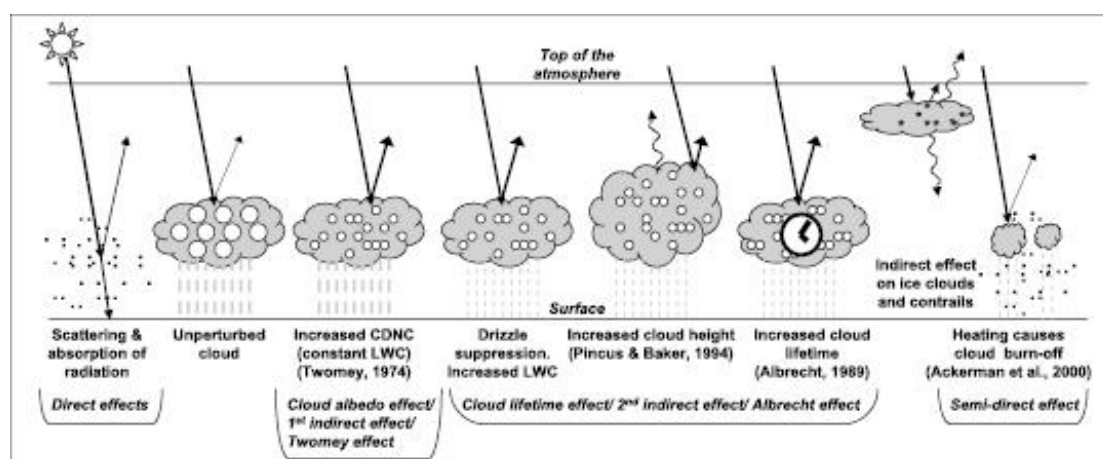
Η παρουσία νέφους στην ατμόσφαιρα γίνεται αντιληπτή μέσω της θερμοκρασίας δρόσου ή αλλιώς κόρου, η οποία και σηματοδοτεί την αρχή συμπύκνωσης των υδρατμών, καθώς, επίσης, και με την αύξηση της σχετικής υγρασίας.

Ως σχετική υγρασία ορίζεται ως ο λόγος της μερικής πίεσης των υδρατμών σε ορισμένη θερμοκρασία προς τη μερική πίεση των υδρατμών στην ίδια θερμοκρασία όταν ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι κορεσμένος. Ισοδύναμα είναι ο λόγος της πραγματικής ποσότητας υδρατμών που περιέχει ένας όγκος αέρα προς την αντίστοιχη όταν ο αέρας είναι κορεσμένος. Ουσιαστικά εκφράζει το κατά πόσο η θερμοκρασία



είναι κοντά στο σημείο κόρου. Σημειώνεται ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας ο ατμοσφαιρικός όγκος εμπεριέχει μεγαλύτερη ποσότητα υδρατμών, επομένως, στην περίπτωση αυτή η σχετική υγρασία μειώνεται. (Στάθης, 2015)

Η ύπαρξη νέφους δεν σημαίνει πάντα ότι δημιουργείται και βροχόπτωση. Όπως γνωρίζουμε τα σύννεφα εμπεριέχουν υδροσταγονίδια. Όταν οι υδρατμοί αναμιγνύονται με τα αιωρούμενα σωματίδια και άλλους ρύπους, τότε αλλάζουν οι οπτικές ιδιότητες και η διάρκεια ζωής των νεφών. Στην περίπτωση αυτή τα υδροσταγονίδια γίνονται μικρότερα σε όγκο γεγονός που καθιστά το σύννεφο περισσότερο ανακλαστικό (Εικόνα 4). Στη συνέχεια όταν το σύννεφο θερμανθεί, διογκώνεται με αποτέλεσμα τα υδροσταγονίδια να είναι πιο αραιά (να ευρίσκονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ τους) και το σύννεφο να αρχίζει να ανέρχεται προς τα επάνω.



**Εικόνα 4:** Η ηλιακή ακτινοβολία σε σχέση με την επίδραση των αερολυμάτων στα νέφη (IPCC, 2013).

Παράλληλα, τα νέφη δρουν ως μέλανα σώματα, δηλαδή όση ακτινοβολία έχουν απορροφήσει, τόση επανεκπέμπουν στο περιβάλλον τους, με αποτέλεσμα σιγά-σιγά να εξατμίζονται οι υδρατμοί και το νέφος να συρρικνώνεται. Τα μικρά και αραιά υδροσταγονίδια έχουν μικρότερη πιθανότητα να ενωθούν και, τελικά, δεν δημιουργείται βροχόπτωση. Άρα υπάρχουν σύννεφα χωρίς τη συνοδεία βροχής.

Προκύπτει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια ζωής ενός νέφους, τόσο μεγαλύτερη είναι και η καθυστέρηση της βροχόπτωσης. Τέλος, με τη συσσώρευση πολλής

υγρασίας κάποια στιγμή μπορεί να δημιουργηθεί βροχή και να παρουσιασθούν ακόμα και ακραία φαινόμενα βροχοπτώσεων.

Γενικώς, τα «καθαρά» σύννεφα με γκρι χρώμα είναι λιγότερο ανακλαστικά και τα ρυπασμένα έχουν λευκό χρώμα και είναι περισσότερο ανακλαστικά. (Παπαγιάννης, 2014)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ

### 3.1 Παράμετροι της ατμόσφαιρας

Όλο και περισσότερες και πιο οργανωμένες μετρήσεις των παραμέτρων της ατμόσφαιρας γίνονται με το πέρασμα των ετών. Οι μετρήσεις αυτές καταγράφονται συστηματικά σε μια βάση δεδομένων, κυρίως από τις κατά τόπους μετεωρολογικές Υπηρεσίες, υπό την επίβλεψη της Παγκόσμιας Οργάνωσης Μετεωρολογίας. Από την συστηματική μελέτη και ανάλυση των μετρήσεων αυτών, προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα που αφορούν τη μετεωρολογία και την κλιματολογία, για τον καιρό και το κλίμα, δηλαδή, τις μετακινήσεις/μεταφορές (εναέριες, θαλάσσιες, χερσαίες), και φυσικά για την ατμοσφαιρική ρύπανση και την Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή.

Μερικές από τις πιο βασικές παραμέτρους της ατμόσφαιρας, που ενδιαφέρουν στο πλαίσιο αυτής της Διπλωματικής Εργασίας είναι οι παρακάτω:

**Θερμοκρασία:** η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι αυτή που έχει ο ατμοσφαιρικός αέρας πάνω από μία περιοχή ή και γύρω της. Μαζί με την ατμοσφαιρική πίεση αποτελούν τη βάση για την πρόγνωση του καιρού. Μετράται με το θερμόμετρο.

**Υγρασία:** ως υγρασία ορίζεται η ποσότητα των υδρατμών που εμπεριέχει μια αέρια μάζα σε ορισμένη θερμοκρασία. Για τη μέτρησή της χρησιμοποιείται το ξηρό θερμόμετρο που μετρά τη θερμοκρασία ξηρού, δηλαδή τη θερμοκρασία αέρος και το υγρό θερμόμετρο που μετρά τη θερμοκρασία υγρού, δηλαδή την υγρασία της ατμόσφαιρας. Η διαφορά των δύο θερμομέτρων είναι ότι το υγρό έχει στην άκρη του ένα πανί και μαζί είναι βουτηγμένα σε δοχείο με αποσταγμένο ή βρόχινο νερό. (Μελάς et al., 2015)

**Υετός:** ονομάζεται κάθε πτώση ή εναπόθεση στο έδαφος προϊόντων του ύδατος σε υγρή ή στερεά ή και επιμερισμένη μορφή, τα οποία προέρχονται από συμπύκνωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας. Κυριότερες μορφές του είναι η βροχή,

το χιονόνερο (ή χιονόβροχο), οι ψεκάδες, το χαλάζι, το χιόνι, οι χιονόκοκκοι, οι παγοβελόνες, οι παγόκοκκοι και ο υαλοπάγος που δημιουργείται όμως στο έδαφος. Όταν αναφέρονται στη μετεωρολογία, οι παραπάνω μορφές ονομάζονται υδατώδη μετεωρολογικά κατακρημνίσματα, ατμοσφαιρικά υδατώδη κατακρημνίσματα ή απλά κατακρημνίσματα και ακόμη, υδρομετέωρα.

Η ποσότητα του νερού που προσπίπτει στο έδαφος σε οποιαδήποτε μορφή μετρείται με ειδικό όργανο που ονομάζεται βροχόμετρο. Το όργανο αυτό μετρά τη συνολική ποσότητα νερού που προσπίπτει σε συγκεκριμένη βαθμονομημένη διατομή ενός δοχείου.

Η ομίχλη, η πάχνη και η δρόσος δεν ανήκουν στις μορφές του νερού. Η ομίχλη αποτελείται από πολύ μικρά υδροσταγονίδια προερχόμενα από την συμπύκνωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας. Η ομίχλη δεν είναι πλέον υδρατμοί, αλλά λεπτότατα σταγονίδια νερού που βρίσκονται στον αέρα και που σχηματίστηκαν πάνω στα αναρίθμητα σωματίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Από αυτά κάποια πέφτουν ως βροχή, αλλά τα περισσότερα αιωρούνται κοντά στην επιφάνεια της γης και πέφτουν ανεπαίσθητα με μορφή λεπτής βροχής. (Μακρογιάννης et al., 2004)

Η πάχνη ή παγετός είναι το φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο οι υπάρχοντες υδρατμοί στην ατμόσφαιρα κοντά στο έδαφος συμπυκνώνονται κατευθείαν σε μικροσκοπικούς παγοκρυστάλλους, χωρίς προηγουμένως να υποστούν υγροποίηση. Η δρόσος είναι ένα φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο οι υπάρχοντες υδρατμοί στην ατμόσφαιρα πλησίον του εδάφους συμπυκνώνονται σε μεγάλες σταγόνες νερού.

**Ατμοσφαιρική πίεση:** ονομάζεται η πίεση που ασκεί η ατμόσφαιρα λόγω της βαρυτικής της δύναμης στα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα. Στην επιφάνεια της Γης η ατμοσφαιρική πίεση ισούται κατά μέσον όρο με το βάρος στήλης ύδατος ύψους 11 m περίπου ή με το βάρος στήλης υδραργύρου ύψους 760 mm ή με 1atm ή 1013.25 hPa. Στην ατμοσφαιρική πίεση ορίζουμε την παράμετρο της βαρομετρικής τάσης, σαν την τιμή της μεταβολής της ατμοσφαιρικής πίεσης εντός τριών ωρών πριν από κάθε καθορισμένη κύρια ώρα παρατήρησης. Με την έννοια κύρια εννοούμε ότι οι επίσημες μετεωρολογικές παρατηρήσεις γίνονται σε καθορισμένα χρονικά μέρη του

24ώρου (κυρίως 12:00 και 00:00 UTC). Η βαρομετρική τάση λαμβάνεται από το διάγραμμα του βαρογράφου.

Η κατανομή των βαρομετρικών πιέσεων και οι βαρομετρικές τάσεις αποτελούν σπουδαιότατα στοιχεία στις μεταβολές του καιρού. Η ατμοσφαιρική πίεση μεταβάλλεται οριζόντια και κατακόρυφα, τοπικά και χρονικά. Οι οριζόντιες μεταβολές είναι πολύ μικρότερες των κατακόρυφων μεταβολών, είναι όμως υπεύθυνες για την δημιουργία καιρικών φαινομένων, όπως οι άνεμοι. Η ημερήσια μεταβολή παρουσιάζει μέγιστη και ελάχιστη τιμή της πίεσης. Η διαφορά της μέγιστης από την ελάχιστη πίεση ελαττώνεται με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους πχ 3.0 mm Hg στον Ισημερινό και 1.5 mm Hg στις εύκρατες περιοχές.

Ειδικότερα, η ημερήσια βαρομετρική μεταβολή στα τροπικά πλάτη παίζει σημαντικό ρόλο αφού η διαταραχή της, αποτελεί για τους ναυτικούς την πρώτη ένδειξη προσέγγισης τροπικού κυκλώνα. Το φαινόμενο της ημερήσιας μεταβολής της ατμοσφαιρικής πίεσης ονομάζεται βαρομετρική παλίρροια.

**Ηλιακή ακτινοβολία:** η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος κυμαίνεται από το υπεριώδες έως το κοντινό υπέρυθρο. Η πολύ βλαβερή Γ-υπεριώδης ακτινοβολία (180-280 nm) και η Β-υπεριώδης (280-320 nm) απορροφώνται έντονα από το στρατοσφαιρικό όζον, ενώ η λιγότερο βλαβερή Α-υπεριώδης (320-400 nm) απορροφάται λιγότερο και, τελικά, φθάνει στο έδαφος. Η ακτινοβολία μετράται με φασματοφωτόμετρα. (Μελάς et al.,2015)

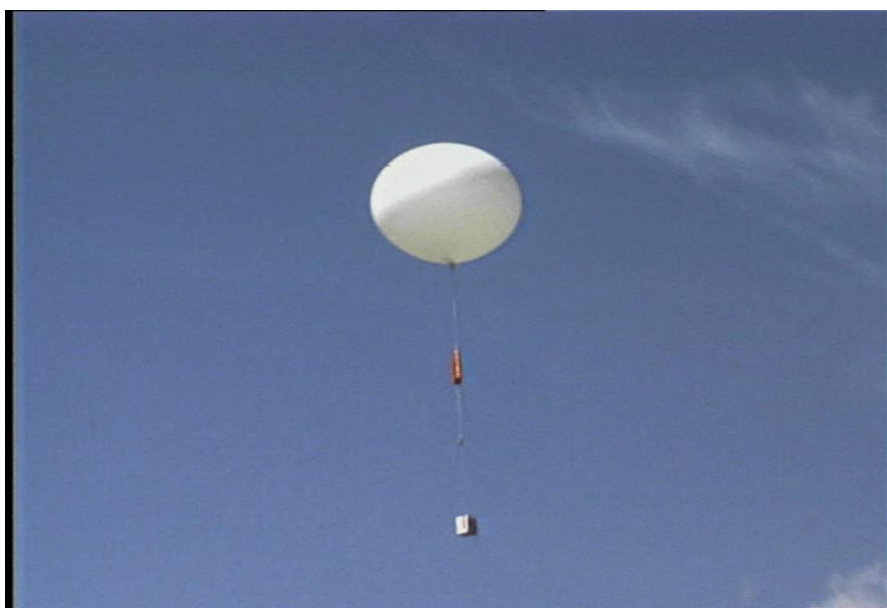
**Αερολύματα:** Είναι μετασταθή αιωρήματα ενός πληθυσμού σωματιδίων σε έναν όγκο αερίου. Μετασταθές σημαίνει πως δεν βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία και μέχρι να επιτευχθεί αυτή το αερόλυμα ζει χρονικά μήνες ή και μερικά έτη. Τα αερολύματα παίζουν σημαντικότερο ρόλο στη δημιουργία των νεφών, δρώντας σαν πυρήνες συμπύκνωσης (cloud concentration nuclei-CCN). Όταν τα αερολύματα συσσωρεύονται στον ατμοσφαιρικό αέρα προκαλείται ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα αιωρούμενα σωματίδια κατηγοριοποιούνται και ανάλογα με το μέγεθός τους (χρησιμοποιείται ο όρος  $PM_x$  από το particulate matter και το x είναι το ανώτερο όριο της διαμέτρου των σωματιδίων). Αν  $x < 4$   $\mu m$  εισέρχονται στον οργανισμό με αποτέλεσμα την εμφάνιση αναπνευστικών προβλημάτων. (Παπαγιάννης, 2014)

### 3.2 Τρόποι μέτρησης ατμοσφαιρικών παραμέτρων

Οι μετρήσεις των παραμέτρων της ατμόσφαιρας μπορούν να γίνουν τόσο με επίγεια όσο και με δορυφορικά όργανα. Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία θα ασχοληθούμε με τη μέτρηση των βασικών παραμέτρων της ατμόσφαιρας (θερμοκρασία, υγρασία, σημείο δρόσου, νέφη) με τη χρήση επίγειων μέσων και δορυφορικών μετρήσεων.

Η επίγεια τεχνική είναι η ραδιοβόλιση (Εικόνα 5). Η τεχνική αυτή στηρίζεται στη μεταφορά καθ' ύψος ενός συνόλου από αισθητήρες με τη βοήθεια ενός μετεωρολογικού μπαλονιού. Έτσι, στη βάση του μπαλονιού προσδένεται ένα μικρό κουτί που περιέχει τα όργανα μέτρησης των παραμέτρων που μας ενδιαφέρουν (θερμοκρασία, υγρασία, πίεση). Με βάση τα στοιχεία αυτά υπολογίζονται δευτερεύοντα μεγέθη όπως είναι η σχετική υγρασία, το σημείο δρόσου, η δυναμική θερμοκρασία, τα ύψη δημιουργίας νεφών. (Μελάς et al., 2015)

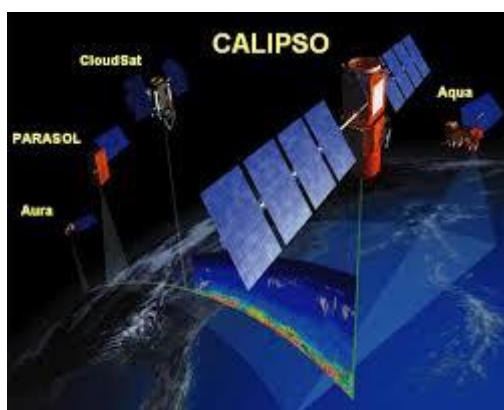
Στη χώρα μας γίνονται καθημερινά ραδιοβολίσεις από την Αθήνα (Ελληνικό), τη Θεσσαλονίκη και το Ηράκλειο της Κρήτης.



**Εικόνα 5:** Ραδιοβόλιση (<http://www.meteoclub.gr/themata/egkyklopaideia/3511-prognostiki-radiovolisi>)

Για τη μελέτη των νεφών υπάρχουν μετεωρολογικοί δορυφόροι που περιφέρονται σταθερά γύρω από τη Γη, σε γεωστάσιμη τροχιά (οι δορυφόροι αυτοί τίθενται σε τροχιές περιστροφής με την ίδια ταχύτητα περιστροφής της Γης έτσι ώστε να βρίσκονται συνέχεια πάνω από το ίδιο σημείο της Γης).

Οι Ευρωπαϊκοί δορυφόροι Meteosat, Metop, Sentinel 1,2,3 ENVISAT, οι Αμερικανικοί GOES και NOAA και ο Ιαπωνικός Himawari-8 έχουν σαν στόχο τη μελέτη μετεωρολογικών φαινομένων και πραγματοποίηση άλλων κλιματικών μετρήσεων. Βασική συνιστώσα των δορυφορικών μετρήσεων αποτελεί η σειρά A-Train (Εικόνα 6) που απαρτίζεται από έξι συνεργαζόμενους δορυφόρους. Η σειρά A-Train αποτελείται από τους OCO-2 της NASA (εκτόξευση 02/07/2014), GCOM-W1 "SHIZUKU" της JAXA-Ιαπωνία (εκτόξευση 18/05/2012), Aqua της NASA (εκτόξευση 04/05/2002), CloudSat της NASA και της Καναδικής διαστημικής υπηρεσίας (Canadian Space Agency) (εκτόξευση 08/04/2006), CALIPSO της CNES και της NASA (εκτόξευση 28/04/2006) και τέλος, ο Aura της NASA (15/07/2004).



**Εικόνα 6:** Η σειρά δορυφόρων A-Train (<https://cnes.fr/en/media/train-bisjrg-0>)

Για τη μελέτη των νεφών μέσω των μετεωρολογικών δορυφόρων χρησιμοποιείται η τεχνική της τηλεπισκόπησης (παθητική και ενεργητική). Στην περίπτωση της παθητικής τηλεπισκόπησης οι δορυφόροι καταγράφουν την ηλιακή ακτινοβολία που σκεδάζεται από τα μόρια και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας (καταγραφή της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας). Στην ενεργητική τηλεπισκόπηση, αντί για την ηλιακή ακτινοβολία, χρησιμοποιείται μια πηγή laser που εκπέμπεται από τον

δορυφορο και καταγράφεται η οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία αυτής (τεχνική τηλεπισκόπησης laser-τεχνική lidar). (Παρχαρίδης, 2015)

Η σύγχρονη τεχνική lidar βασίζεται στην εκπομπή παλμικής ακτινοβολίας laser στην ατμόσφαιρα και ακολούθως, στην καταγραφή της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας laser. Η ατμόσφαιρα αποτελούμενη από άτομα, μόρια και αιωρούμενα σωματίδια, προκαλεί σκέδαση και εξασθένηση της διαδιδόμενης ακτινοβολίας laser. Η σκεδαζόμενη ακτινοβολία συλλέγεται από ένα οπτικό τηλεσκόπιο και οδηγείται στο σύστημα λήψης και καταγραφής των σημάτων lidar. Αναλύοντας τα οπισθοσκεδαζόμενα σήματα που προέρχονται από την αλληλεπίδραση των συστατικών της ατμόσφαιρας με την ακτινοβολία laser, καταγράφεται η κατακόρυφη κατανομή των αιωρούμενων σωματιδίων και των νεφών στη γήινη ατμόσφαιρα με μεγάλη χωρική (~50-100 m) και χρονική ακρίβεια (από μερικά s). Άλλα πλεονεκτήματά της, εκτός από τη χωρική και χρονική ακρίβεια, είναι η μέτρηση σε πραγματικό χρόνο σε μία, δύο ή τρεις διαστάσεις στο χώρο.(Μελάς et al., 2015)

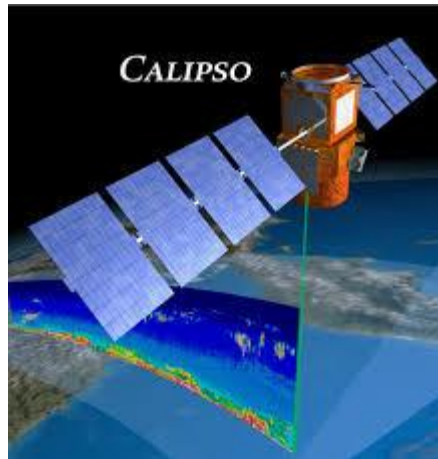
Η τεχνική lidar εφαρμόζεται στο δορυφόρο CALIPSO που ανήκει στην ομάδα δορυφόρων A-Train, όπως θα αναλύσουμε, παρακάτω.

### **3.3 Δορυφόρος CALIPSO**

Ο δορυφόρος CALIPSO (Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations) κατασκευάστηκε στο διαστημικό κέντρο Cannes Mandelieu και εκτοξεύτηκε στις 28 Απριλίου 2006, από τη NASA και τη Γαλλικό Κέντρο Διαστημικών Ερευνών CNES, με σκοπό τη μελέτη του ρόλου των νεφών και των αερολυμάτων στο κλίμα και τον καιρό. Περιλαμβάνει τρία κύρια όργανα: το σύστημα Lidar CALIOP, ένα ψηφιακό υπέρυθρο ραδιόμετρο (HIR) και μια ψηφιακή κάμερα ευρέως φάσματος.

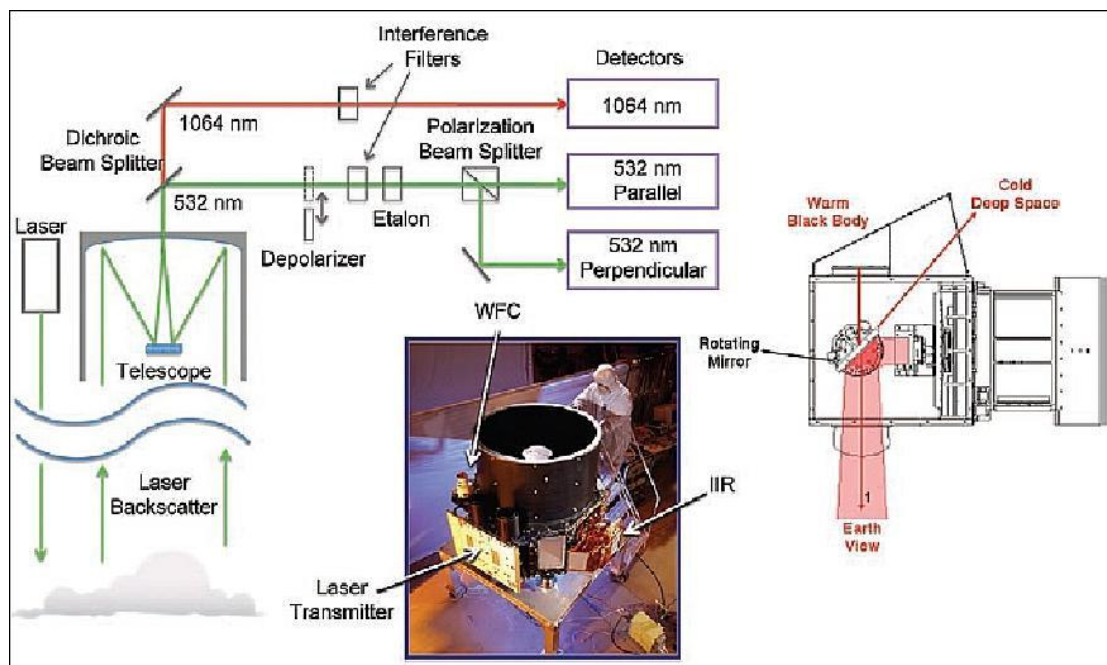
Ο δορυφόρος CALIPSO περιέχει το σύστημα lidar CALIOP (Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization) το οποίο παρέχει την κατακόρυφη κατανομή των νεφών και των αερολυμάτων (αιωρούμενα σωματίδια).





**Εικόνα 7:** Δορυφόρος CALIPSO

([https://www.nasa.gov/mission\\_pages/calipso/mission/mission-objectives.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/calipso/mission/mission-objectives.html))



**Εικόνα 8:** Το σύστημα lidar CALIOP (<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/calipso>)

Το σύστημα τηλεπισκόπησης CALIOP παρουσιάζεται στην Εικόνα 8. Ένα παλμικό σύστημα laser εκπέμπει μια παράλληλα πολωμένη δέσμη laser στα 532 και 1064 nm. Η δέσμη αυτή οπισθοσκεδάζεται από τα μόρια και τα σωματίδια της ατμόσφαιρας και συλλέγεται από το σύστημα λήψης και χωρίζεται σε δύο κύρια κανάλια των 532 και 1064 nm. Στο κανάλι των 532 nm υπάρχει κινητός αποπολωτής ο οποίος χωρίζει την παράλληλη και την κάθετη δέσμη της ακτινοβολίας σε δύο ακόμα κανάλια.

Στη συνέχεια τα σήματα από τα τρία συνολικά κανάλια οδηγούνται σε έναν υπολογιστή όπου γίνεται η επεξεργασία. Η παράλληλη δέσμη στα 532nm που αφορά τη μοριακή οπισθοσκέδαση προκύπτει από τη σύγκριση του παράγοντα μοριακής οπισθοσκέδασης και το εύρος των οπτικών φίλτρων. Ο παράγοντας μοριακής οπισθοσκέδασης εκτιμάται με ακρίβεια από την πίεση και θερμοκρασία της περιοχής, ενώ η οπισθοσκέδαση των αερολυμάτων δεν έχει μεγάλες αποκλίσεις από τη μοριακή. Ανά τακτά διαστήματα εισάγεται ένας ψευδο-αποπολωτής που εξασφαλίζει πως η ποσότητα ακτινοβολίας των 532 nm θα είναι ίδια για τα κανάλια παράλληλης και κάθετης δέσμης. Κατόπιν οι υπολογισμοί των καναλιών στα 532 nm συγκρίνονται με σήματα που λαμβάνονται από τα νέφη cirrus και μεταφέρονται στο κανάλι των 1064 nm. Η επιλογή των cirrus προσφέρει υψηλή ακρίβεια στους υπολογισμούς.

Ο CALIPSO περιλαμβάνει, ακόμα, ένα ψηφιακό υπέρυθρο ραδιόμετρο (IRR) ικανό να καταγράφει το φάσμα εκπομπής των νεφών. Η δέσμη του CALIOP είναι ευθυγραμμισμένη με το IIR με σκοπό τη λήψη βέλτιστων μετρήσεων. Η τριάδα των δορυφορικών συστημάτων συμπληρώνεται με μία ψηφιακή κάμερα ευρέως φάσματος (Wide field Camera-WFC) η οποία είναι βελτιωμένη εκδοχή εμπορικής κάμερας που χρησιμοποιούταν τα προηγούμενα χρόνια. Η κάμερα αυτή χρησιμοποιείται για τη λήψη φωτογραφιών πολύ υψηλής ανάλυσης.

## **ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΟΥ CALIOP**

Ο CALIOP από τον Ιούνιο του 2006 περιφέρεται γύρω από τη Γη με ελικοειδή κίνηση. Παράλληλα, μέσω της τεχνικής lidar καταγράφεται η ύπαρξη νεφών και σωματιδίων της ατμόσφαιρας. Ουσιαστικά ο δορυφόρος σαρώνει κατά τμήματα όλη τη γήινη επιφάνεια λαμβάνοντας δεδομένα για την χωρο-χρονική μεταβολή των νεφών και των σωματιδίων της ατμόσφαιρας.

Τα δεδομένα αυτά είναι διαθέσιμα σε μορφή εικόνων από το site της NASA:

[https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/production](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/production)

Όταν κανείς επισκέπτεται τη σελίδα, βλέπει μερικές διαφορετικές εκδόσεις των διαθέσιμων εικόνων. Όσο πιο μεγάλος σε αριθμό είναι ο κωδικός της έκδοσης, τόσο

πιο σύγχρονη είναι. Πρακτικά σημαίνει ότι οι εικόνες με τον μεγαλύτερο αριθμό αναφοράς, είναι περισσότερο επεξεργασμένες και παρέχουν περισσότερες πληροφορίες.

Συγκεκριμένα η ιστοσελίδα αυτή παρέχει εικόνες (από ημερήσιες και νυχτερινές τροχιές) του σήματος lidar της εξασθενημένης οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας στα 532 nm, τόσο στην κάθετη όσο και στην παράλληλη πόλωση στα 532 nm, αλλά και το συνολικό σήμα της εξασθενημένης οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας στα 1064 nm. Παράλληλα, καταγράφεται και ο συντελεστής αποπόλωσης  $\delta$ , που ορίζεται ως ο λόγος του συντελεστή οπισθοσκέδασης στην κάθετη πόλωση, προς εκείνον της παράλληλης πόλωσης της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας laser. Τέλος, υπολογίζεται και ο χρωματικός λόγος 1064 nm/532 nm, που εκφράζει την γεωμετρική διάσταση των αιωρούμενων σωματιδίων.

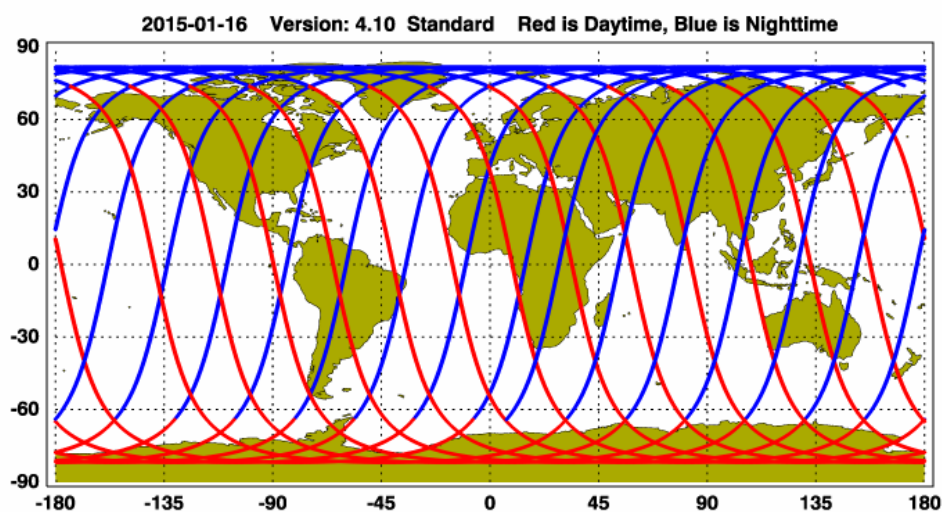
Η ανάλυση των σημάτων lidar επιτρέπει την καταγραφή (εντοπισμό), με διαφορετικά χρώματα, των αιωρούμενων σωματιδίων και των νεφών. Τα αιωρούμενα σωματίδια καταγράφονται με κίτρινο, πορτοκαλί ή κόκκινο χρώμα (ανάλογα με την χημική τους σύσταση). Τα έντονα σύννεφα καταγράφονται σε αποχρώσεις του γκρι ή άσπρου, ή με έντονο κόκκινο.

## **ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΤΟΥ CALIOP**

Γνωρίζοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες μιας περιοχής που μας ενδιαφέρει είμαστε σε θέση να δούμε τι συμβαίνει στην υπερκείμενη ατμόσφαιρα. Ο δορυφόρος περνά επάνω από την Αθήνα (γεωγραφικό πλάτος: 37.98° βόρειο, γεωγραφικό μήκος: 23.73° ανατολικό) περίπου κάθε 15 μέρες μία ή δύο φορές. Στη συνέχεια θα δούμε τις εικόνες της ατμόσφαιρας στις 16/1/2015 μια χειμερινή μέρα με σύννεφα. Τα δεδομένα με διαθεσιμότητα 99.6% λαμβάνονται από την πιο σύγχρονη έκδοση. Οι ώρες που σημειώνονται είναι σε UTC που για την Ελλάδα είναι δύο ώρες πίσω σε σχέση με την τοπική ώρα (χειμερινή ώρα) και 3 ώρες (θερινή ώρα).

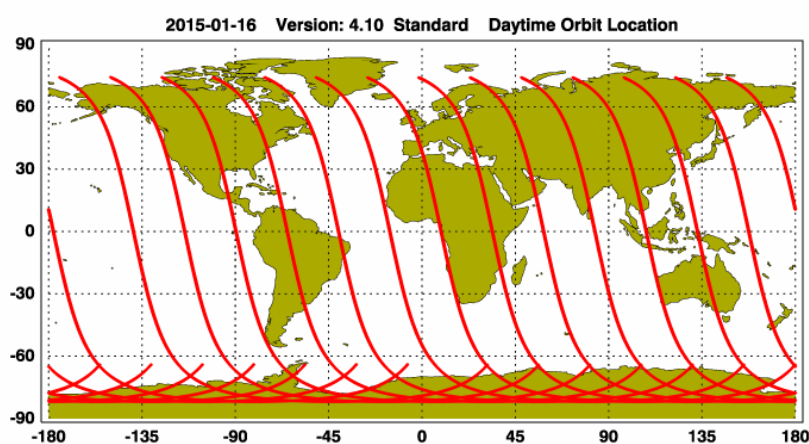
Αναλυτικά, στην Εικόνα 9 βλέπουμε τις τροχιές περιφοράς του δορυφόρου στις 16/01/2015, όπου με κόκκινο χρώμα είναι οι ημερήσιες τροχιές και με μπλε οι

βραδινές. Στον οριζόντιο άξονα σημειώνονται τα γεωγραφικά μήκη και στον κατακόρυφο τα γεωγραφικά πλάτη του δορυφορικού επίγειου ίχνους.

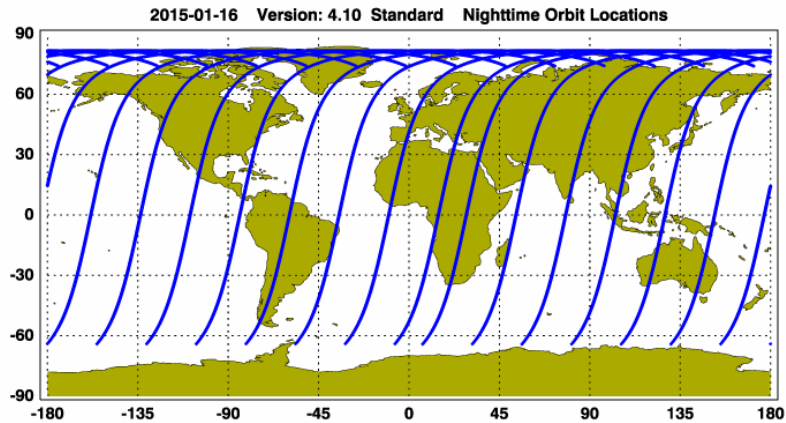


**Εικόνα 9:** Συνολικές τροχιές περιφοράς δορυφόρου ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_date.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_date.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16))

Αντιστοίχα, παρατηρούμε στην Εικόνα 10 μόνο τις ημερήσιες τροχιές, ενώ στην Εικόνα 11 τις βραδινές τροχιές. Παρατηρούμε ότι μόνο η βραδινή (μπλε) τροχιά του δορυφόρου περνά ακριβώς πάνω από την Αθήνα, ενώ η ημερήσια περνά μερικά χιλιόμετρα ανατολικότερα.

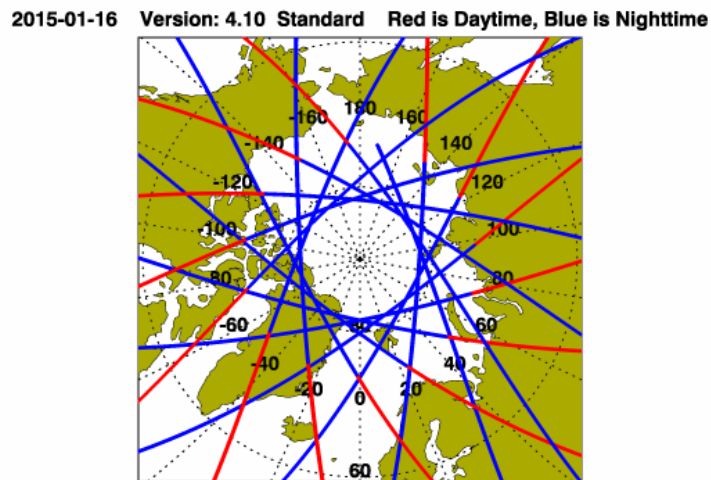


**Εικόνα 10:** Ημερήσιες τροχιές περιφοράς δορυφόρου ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_date.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_date.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16))



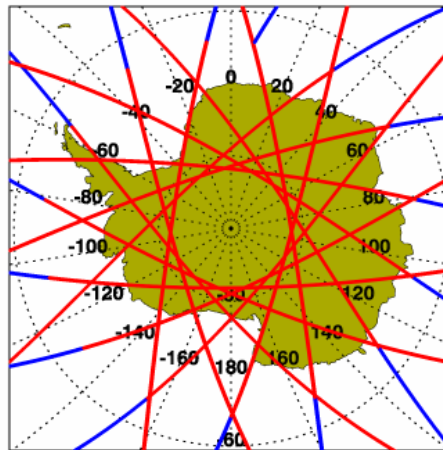
**Εικόνα 11:** Βραδινές τροχιές περιφοράς δορυφόρου ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_date.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_date.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16))

Στις Εικόνες 12 και 13 καταγράφονται οι τροχιές του CALIOP πάνω από το Βόρειο και Νότιο Πόλο, αντίστοιχα.



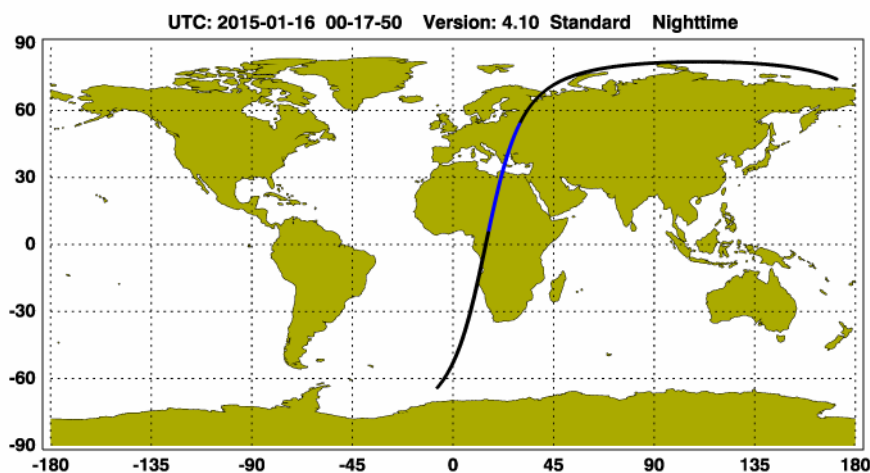
**Εικόνα 12:** Τροχιές δορυφόρου υπεράνω του Βόρειου Πόλου ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_date.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_date.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16))

2015-01-16 Version: 4.10 Standard Red is Daytime, Blue is Nighttime



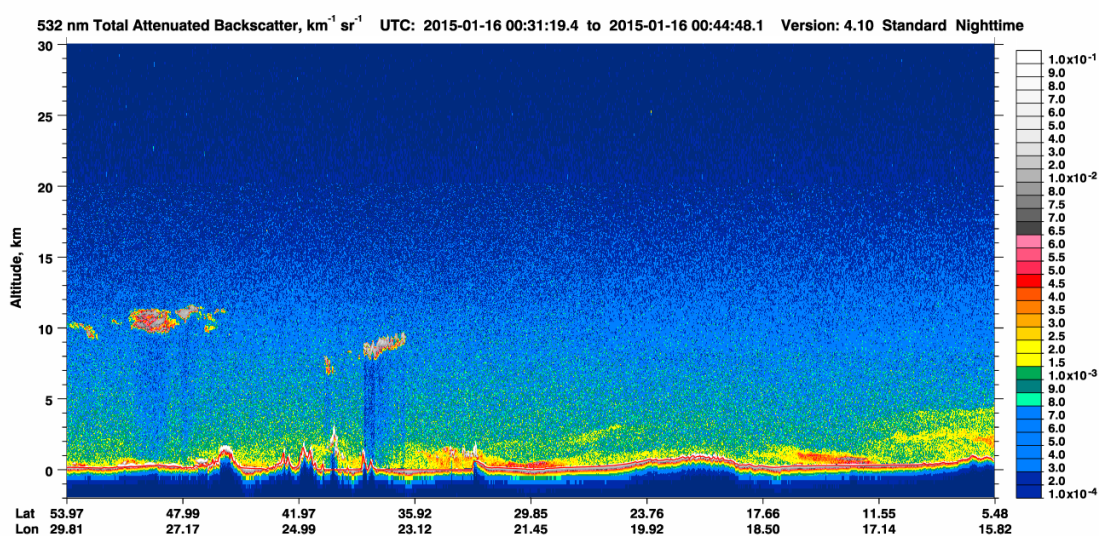
**Εικόνα 13:** Τροχιές περιφοράς δορυφόρου υπεράνω του Νότιου Πόλου ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_date.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_date.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16))

Κάθε μία από αυτές τις τροχιές χωρίζεται σε 4 τμήματα που το καθένα παρέχει μια σειρά εικόνων και πληροφοριών. Η γεωγραφική κάλυψη είναι αξιοθαύμαστη. Στην Εικόνα 14 βλέπουμε την τροχιά σε μαύρο χρώμα και το τμήμα που μας ενδιαφέρει με μπλε χρώμα.



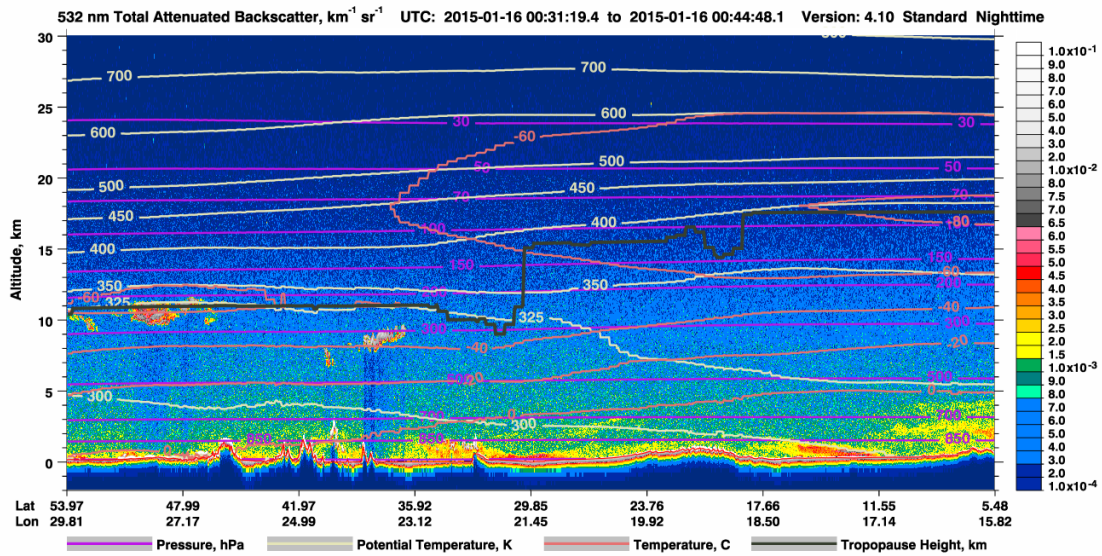
**Εικόνα 14:** Τροχιά δορυφόρου που περνά επάνω από την Αθήνα ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_detail.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16&orbit\\_time=01-19-48&page=1&granule\\_name=CAL\\_LID\\_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf))

Στην Εικόνα 15 παρουσιάζεται ο ολικός εξασθενημένος συντελεστής οπισθοσκέδασης στα 532 nm. Στον οριζόντιο άξονα παρουσιάζονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες (πλάτος και μήκος) σε μοίρες, ενώ στον κατακόρυφο άξονα το ύψος σε km. Στην Εικόνα αυτή παρατηρούμε σε κλίμακα του γκρι ή άσπρου ή με έντονο κόκκινο την ύπαρξη νεφών, ενώ τα υπόλοιπα χρώματα (κίτρινο και πράσινο) αντιστοιχούν στα αιωρούμενα σωματίδια. Τα τμήματα της Εικόνας (πάνω από την επιφάνεια της Γης) με μπλε χρώμα αντιστοιχούν στην σκέδαση από την μοριακή ατμόσφαιρα. Στην Εικόνα αυτή επάνω από την Αθήνα παρατηρούμε την ύπαρξη νέφους με ύψος βάσης στα 8 km και πάχος 1.5 km.



**Εικόνα 15:** Ολικός εξασθενημένος συντελεστής οπισθοσκέδασης στα 532nm ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_detail.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16&orbit\\_time=01-19-48&page=1&granule\\_name=CAL\\_LID\\_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf))

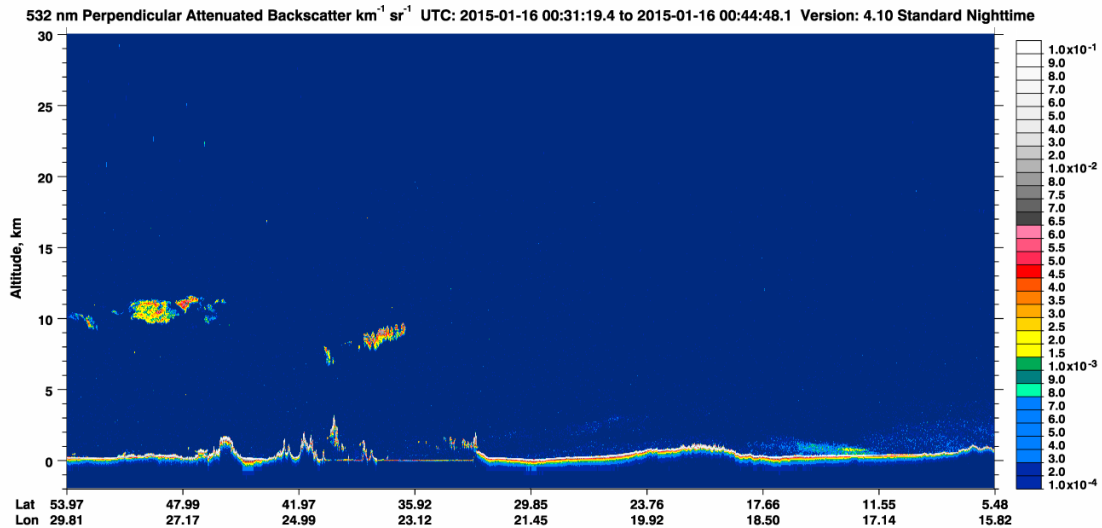
Στην Εικόνα 16 παρουσιάζεται ξανά η Εικόνα 15 με επιπλέον πληροφορίες για την πίεση (hPa), τη δυναμική θερμοκρασία (K), τη θερμοκρασία (°C) και το ύψος της τροπόπαυσης (km). Στην περίπτωση αυτή στην Αθήνα η τροπόπαυση ευρίσκεται στα 11 km με δυναμική θερμοκρασία 325 K, ενώ στο ύψος του νέφους η πίεση είναι 300 hPa και η θερμοκρασία -40°C.



**Εικόνα 16:** Ολικός εξασθενημένος συντελεστής οπισθοσκέδασης στα 532 nm με στοιχεία πίεσης, θερμοκρασιών, τροπόπαυσης ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_detail.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16&orbit\\_time=01-19-48&page=1&granule\\_name=CAL\\_LID\\_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf))

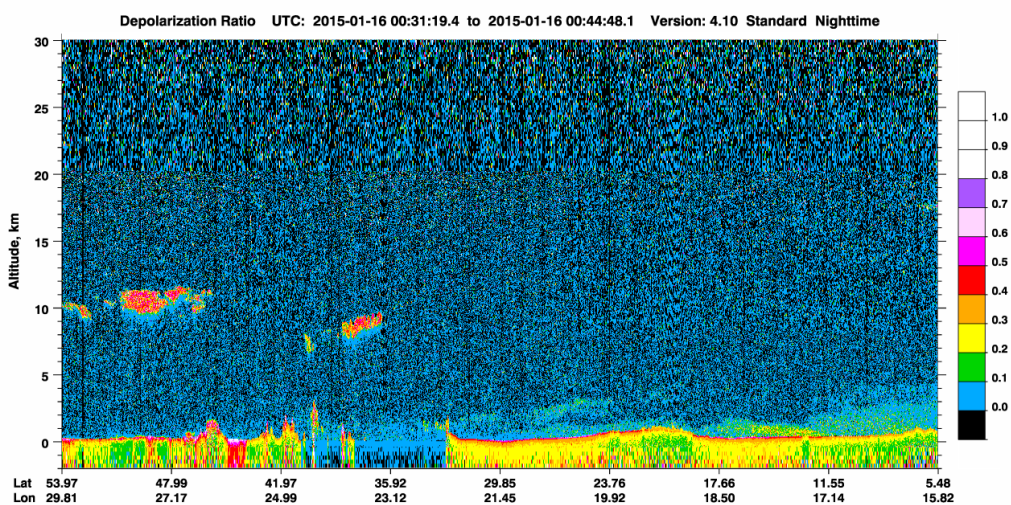
Στην Εικόνα 17 παρουσιάζεται ο εξασθενημένος συντελεστής οπισθοσκέδασης αερολυμάτων (στην κάθετη πόλωση) στα 532 nm, με την ίδια, όπως πριν, χρωματική κλίμακα. Στην Εικόνα αυτή γίνεται απόλυτα σαφής η ύπαρξη νεφών μεταξύ 8-10.5 km.





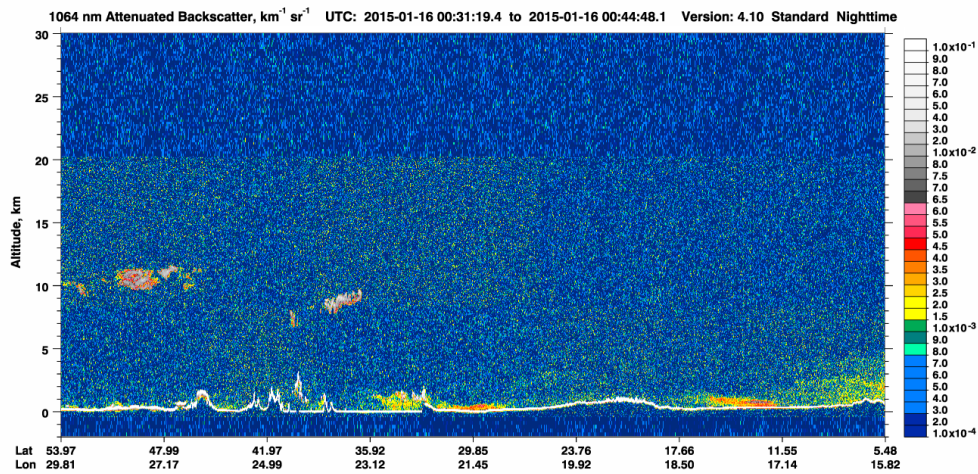
**Εικόνα 17:** Ο εξασθενημένος συντελεστής οπισθοσκέδασης αερολυμάτων (στην κάθετη πόλωση) στα 532 nm ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_detail.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16&orbit\\_time=01-19-48&page=1&granule\\_name=CAL\\_LID\\_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48Zn.hdf](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48Zn.hdf))

Στην Εικόνα 18 παρουσιάζεται ο λόγος αποπόλωσης των αερολυμάτων, ενώ στην Εικόνα 19 ο εξασθενημένος συντελεστής οπισθοσκέδασης αερολυμάτων στα 1064 nm. Μεγάλες τιμές του λόγου αποπόλωσης (>40%) υποδηλώνουν σκέδαση από παγοκρυστάλλους (π.χ. στην Εικόνα 18 καταγράφονται παγοκρυστάλλοι στα νέφη μεταξύ 8 και 10 km).



**Εικόνα 18:** Λόγος αποπόλωσης αερολυμάτων ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_detail.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16&orbit\\_time=01-19-48&page=1&granule\\_name=CAL\\_LID\\_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48Zn.hdf](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48Zn.hdf))

10&browse\_date=2015-05-16&orbit\_time=01-19-48&page=1&granule\_name=CAL\_LID\_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf)



**Εικόνα 19:** Εξασθενημένος συντελεστής οπισθοσκέδασης αερολυμάτων στα 1064 nm

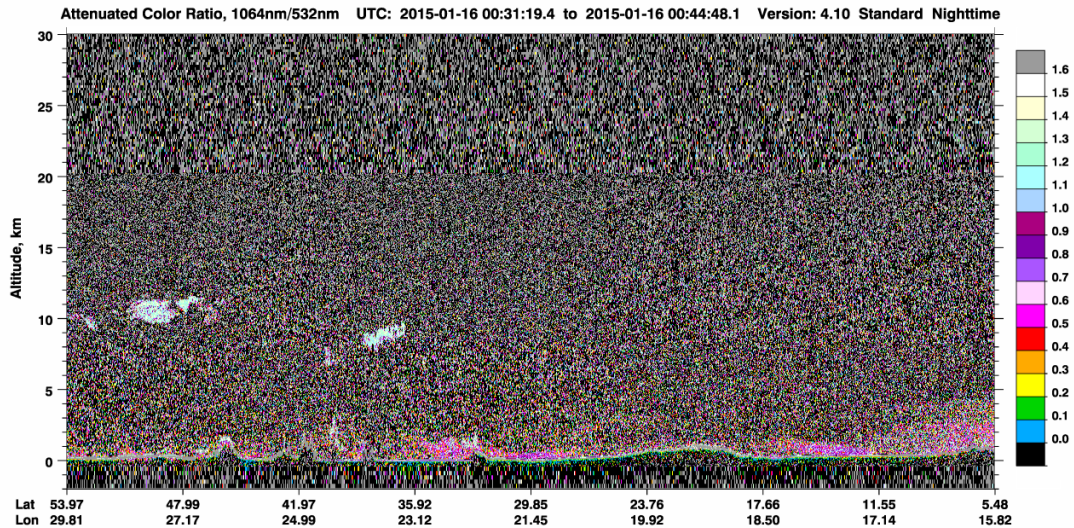
([https://www-](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf)

[calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_detail.php?s=production&v=V4-](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf)

[10&browse\\_date=2015-05-16&orbit\\_time=01-19-](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf)

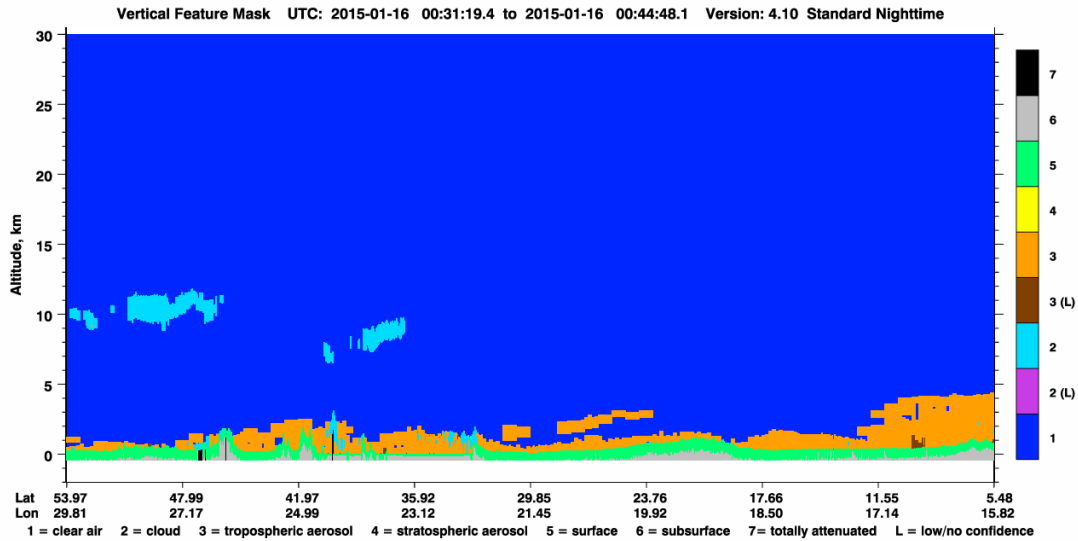
[48&page=1&granule\\_name=CAL\\_LID\\_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf\)](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf)

Στην Εικόνα 20 παρουσιάζεται ο χρωματικός λόγος 1064 nm/532 nm, που εκφράζει, έμμεσα την γεωμετρική διάσταση των σκεδαζόντων αερολυμάτων. Έτσι, στην Εικόνα αυτή παρατηρούμε στην περιοχή καταγραφής των νεφών (8-10 km) να καταγράφονται τιμές του χρωματικού λόγου γύρω στα 1-1.1, ενδεικτικές για την ύπαρξη, γενικά, μικρών σκεδαστών.



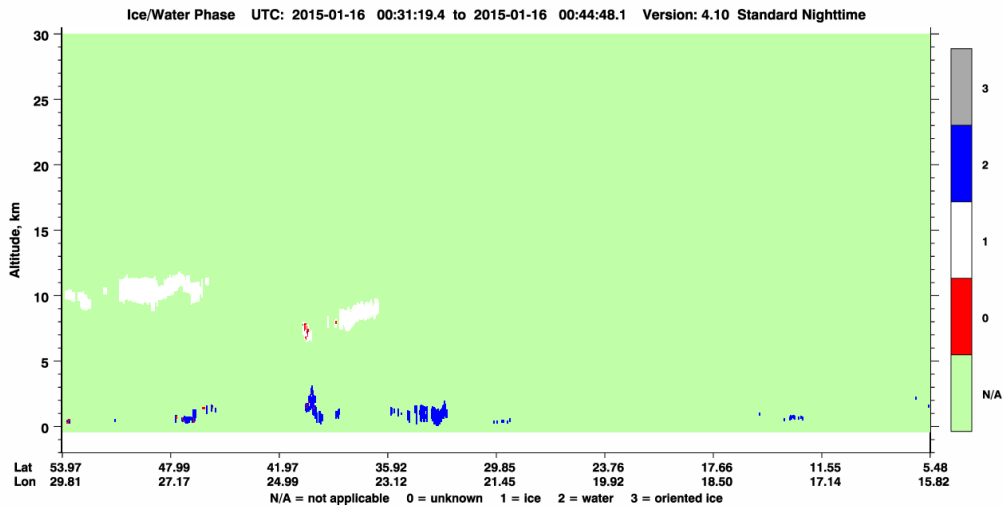
**Εικόνα 20:** Δείκτης εξασθένησης χρώματος μεταξύ 1064 nm και 532 nm ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_detail.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16&orbit\\_time=01-19-48&page=1&granule\\_name=CAL\\_LID\\_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf))

Στην Εικόνα 21 καταγράφονται τα σκεδάζοντα σωματίδια και η καθαρά μοριακή ατμόσφαιρα και η οπισθοσκεδάζουσα επιφάνεια της Γης, σύμφωνα με μια χρωματική κλίμακα ανάλογα με το ύψος στο οποίο ευρίσκονται : καθαρή μοριακή ατμόσφαιρα (clear), νέφος (cloud), τροποσφαιρικό ή στρατοσφαιρικό αιωρούμενο σωματίδιο, επιφάνεια γης, κλπ. Με αυτήν την Εικόνα επιβεβαιώνεται, ξανά, ότι ο σκεδάζων όγκος (στα 8-10 km) με μπλε ανοικτό χρώμα, είναι πράγματι το σύννεφο που έχει καταγραφεί και στις προηγούμενες 6 Εικόνες.



**Εικόνα 21:** Κατηγοριοποίηση σωματιδίων με το σύστημα CALIOP ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_detail.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16&orbit\\_time=01-19-48&page=1&granule\\_name=CAL\\_LID\\_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf))

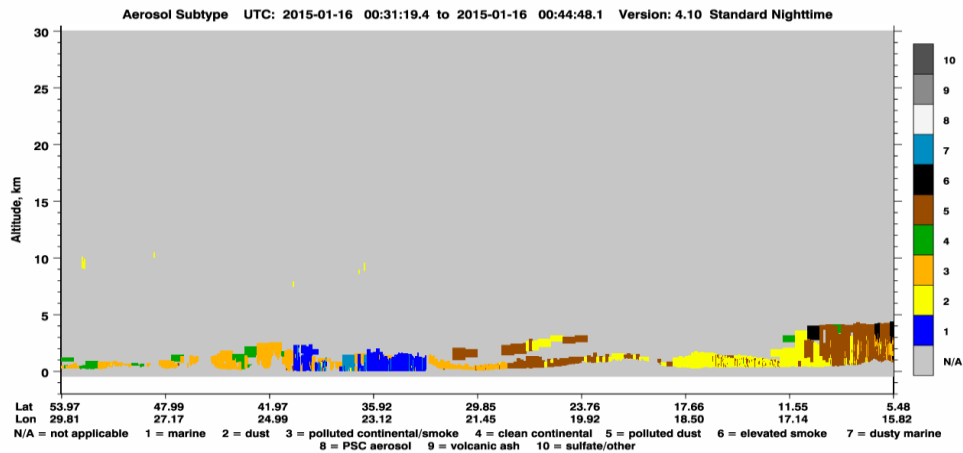
Στην Εικόνα 22 καταγράφεται η ύπαρξη πάγου, νερού ή παγοκρυστάλλων. Παρατηρούμε ότι τα νέφη (8-10 km) πάνω από την Αθήνα περιέχουν πάγο.



**Εικόνα 22:** Ανίχνευση πάγου και νερού ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_detail.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16&orbit\\_time=01-19-48&page=1&granule\\_name=CAL\\_LID\\_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf))

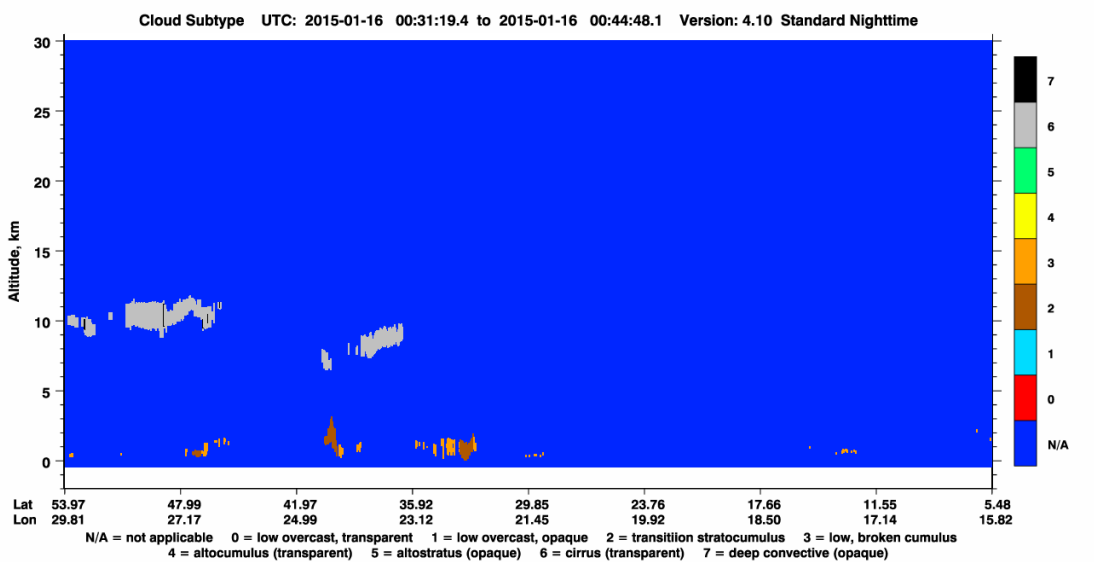
Στην Εικόνα 23 δίνονται πληροφορίες για τον τύπο του αερολύματος και από πού προέρχεται (π.χ. θαλάσσιο ή ηπειρωτικό αερόλυμα, ερημική σκόνη ή ανάμειξη

αυτών). Στην περίπτωση μελέτης του νέφους που έχουμε εντοπίσει στα 8-10 km, εμπεριέχονται ελάχιστα ψήγματα σκόνης (λίγο κίτρινο χρώμα).



**Εικόνα 23:** Τύπος αερολύματος ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_detail.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16&orbit\\_time=01-19-48&page=1&granule\\_name=CAL\\_LID\\_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf))

Τέλος, στην Εικόνα 24, κατηγοριοποιείται το είδος του καταγραφόμενου νέφους (π.χ. cirrus, cumulus, stratocumulus, altostratus, κλπ.). Στην περίπτωσή μας καταγράφεται ένα σύννεφο cirrus (γκρι χρώμα).



**Εικόνα 24:** Κατηγοριοποίηση του είδους του καταγραφόμενου νέφους ([https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/show\\_detail.php?s=production&v=V4-10&browse\\_date=2015-05-16&orbit\\_time=01-19-48&page=1&granule\\_name=CAL\\_LID\\_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/show_detail.php?s=production&v=V4-10&browse_date=2015-05-16&orbit_time=01-19-48&page=1&granule_name=CAL_LID_L1-Standard-V4-10.2015-05-16T01-19-48ZN.hdf))

### 3.4 Δεδομένα ραδιοβόλισης

Όπως έχει αναφερθεί με τη μέθοδο των ραδιοβολίσεων πραγματοποιούνται μετρήσεις για τις παραμέτρους της ατμόσφαιρας, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η πίεση, κλπ. Τα δεδομένα συγκεντρώνονται σε αρχεία και είναι διαθέσιμα στην ιστοσελίδα του Πανεπιστημίου Wyoming, Σχολή Μηχανολόγων, Τμήμα Επιστήμης της Ατμόσφαιρας: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται, συνήθως, δύο φορές τη μέρα (00.00 UTC και 12.00 UTC). Εάν για παράδειγμα η αναζήτηση είναι για τις 02/07/2006 (00.00 UTC) σημειώνεται ο κωδικός 02/00Z. Ο κωδικός είναι είτε με μορφή αριθμών, είτε με κωδικοποιημένα γράμματα. Για παράδειγμα ο κωδικός του σταθμού της Αθήνας είναι 16716 –LGAT.



**Εικόνα 25:** Το δίκτυο σταθμών μέτρησης με ραδιοβολίδες στην Ευρωπαϊκή ήπειρο (<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>)

Ο τύπος δεδομένων είναι με μορφή κειμένου σε λίστα ή σε γράφημα τύπου GIF ή PDF. Αν κάνουμε αναζήτηση για την Αθήνα στις 02/07/2006 στις 00.00 UTC θα πάρουμε τα παρακάτω αποτελέσματα:

## Αποτελέσματα σε λίστα

### **16716 LGAT Athinai (Airport) Observations at 00Z 02 Jul 2006**

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SKNT	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	knot	K	K	K
1010.0	15	26.2	21.7	76	16.48	0	0	298.5	346.6	301.4
1000.0	100	26.2	19.2	65	14.21	358	0	299.4	341.0	301.9
995.0	144	26.2	18.2	61	13.40	358	0	299.8	339.2	302.2
984.0	243	28.6	14.6	42	10.72	356	0	303.1	335.3	305.1
925.0	790	24.8	12.8	47	10.14	346	1	304.7	335.3	306.5
887.0	1156	22.0	10.0	46	8.76	340	1	305.4	332.1	307.1
850.0	1524	19.0	12.0	64	10.47	333	1	306.0	337.8	308.0
742.0	2677	10.2	9.6	96	10.21	311	3	308.6	339.9	310.5
700.0	3161	6.8	3.8	81	7.23	302	3	310.0	332.5	311.3
691.0	3267	5.8	4.0	88	7.43	300	3	310.0	333.2	311.4
690.0	3279	5.8	4.0	88	7.44	300	3	310.1	333.3	311.5
667.0	3556	4.6	-2.4	60	4.83	295	3	311.8	327.3	312.7
627.0	4048	0.5	-6.2	61	3.87	285	4	312.7	325.3	313.5
550.0	5090	-8.1	-14.1	62	2.35	59	7	314.4	322.3	314.9
543.0	5189	-6.9	-22.9	27	1.12	72	7	317.0	321.0	317.2
540.0	5233	-7.1	-24.1	24	1.02	78	8	317.3	320.9	317.5
531.0	5363	-6.5	-41.4	4	0.19	95	8	319.6	320.3	319.6
529.0	5393	-6.3	-45.3	3	0.13	97	8	320.1	320.6	320.1
500.0	5830	-9.7	-56.7	1	0.04	133	8	321.1	321.3	321.2
408.0	7370	-20.1	-63.4	1	0.02	260	7	326.9	327.0	326.9
400.0	7520	-21.1	-64.1	1	0.02	250	7	327.5	327.6	327.5
358.0	8330	-26.3	-67.3	1	0.01	234	9	331.1	331.1	331.1
336.0	8779	-30.2	-70.0	1	0.01	225	10	331.8	331.9	331.8
310.0	9350	-35.1	-73.5	1	0.01	245	20	332.6	332.7	332.6
309.0	9373	-35.3	-73.6	1	0.01	245	20	332.7	332.7	332.7
304.0	9488	-36.3	-74.3	1	0.01			332.8	332.9	332.8
300.0	9580	-36.7	-74.7	1	0.01			333.5	333.6	333.5

286.0	9909	-38.5	-75.5	1	0.00	335.5	335.6	335.5
263.0	10489	-35.5	-73.5	1	0.01	348.1	348.1	348.1
250.0	10840	-36.9	-74.9	1	0.01	351.1	351.1	351.1
200.0	12360	-44.3				362.5	362.5	
198.0	12427	-44.3				363.5	363.5	
154.0	14063	-55.9				370.8	370.8	
150.0	14230	-56.3				372.9	372.9	
142.0	14577	-56.9				377.7	377.7	
136.0	14850	-55.1				385.6	385.6	
100.0	16750	-68.1				395.9	395.9	
97.7	16890	-68.9				397.0	397.0	
85.7	17673	-70.5				408.9	408.9	
78.9	18172	-64.1				431.9	431.9	
71.9	18738	-67.3				436.7	436.7	
70.0	18900	-67.1				440.5	440.5	
50.0	20970	-60.3				500.9	500.9	
31.9	23822	-52.3				591.0	591.0	
30.0	24220	-50.9				605.3	605.3	
22.7	26049	-47.3				666.1	666.1	

Παράμετρος	Περιγραφή	Μονάδες
<b>PRES:</b>	Ατμοσφαιρική πίεση	[hPa]
<b>HGHT:</b>	Γεωδυναμικό ύψος	[m]
<b>TEMP:</b>	Θερμοκρασία	[°C]
<b>DWPT:</b>	Θερμοκρασία κόρου	[°C]
<b>FRPT:</b>	Θερμοκρασία ψύξης	[°C]
<b>RELH:</b>	Σχετική υγρασία	[%]
<b>RELI:</b>	Σχετική υγρασία σε σχέση με πάγο	[%]
<b>MIXR:</b>	Δείκτης ανάμειξης	[g/kg]



<b>DRCT:</b>	Κατεύθυνση ανέμου	[°]
<b>SKNT:</b>	Ταχύτητα ανέμου	[knot]
<b>ΤΗΓΑ:</b>	Δυναμική θερμοκρασία	[K]
<b>ΤΗΤΕ:</b>	Ισοδύναμη δυναμική θερμοκρασία	[K]
<b>ΤΗΤV:</b>	Εικονική δυναμική θερμοκρασία	[K]

**Πίνακας 1:** Περιγραφή παραμέτρων ραδιοβόλισης  
(<http://weather.uwyo.edu/upperair/columns.html>)

### Πληροφορίες του σταθμού και των δεικτών

Station identifier: LGAT

Station number: 16716

Observation time: 060702/0000

Station latitude: 37.90

Station longitude: 23.73

Station elevation: 15.0

Showalter index: -1.88

Lifted index: -1.66

LIFT computed using virtual temperature: -2.32

SWEAT index: 182.67

K index: 37.70

Cross totals index: 21.70

Vertical totals index: 28.70

Totals totals index: 50.40

Convective Available Potential Energy: 396.86

CAPE using virtual temperature: 496.45

Convective Inhibition: -227.27

CINS using virtual temperature: -208.97

Equilibrium Level: 288.24

Equilibrium Level using virtual temperature: 287.44

Level of Free Convection: 697.18

LFCT using virtual temperature: 703.69

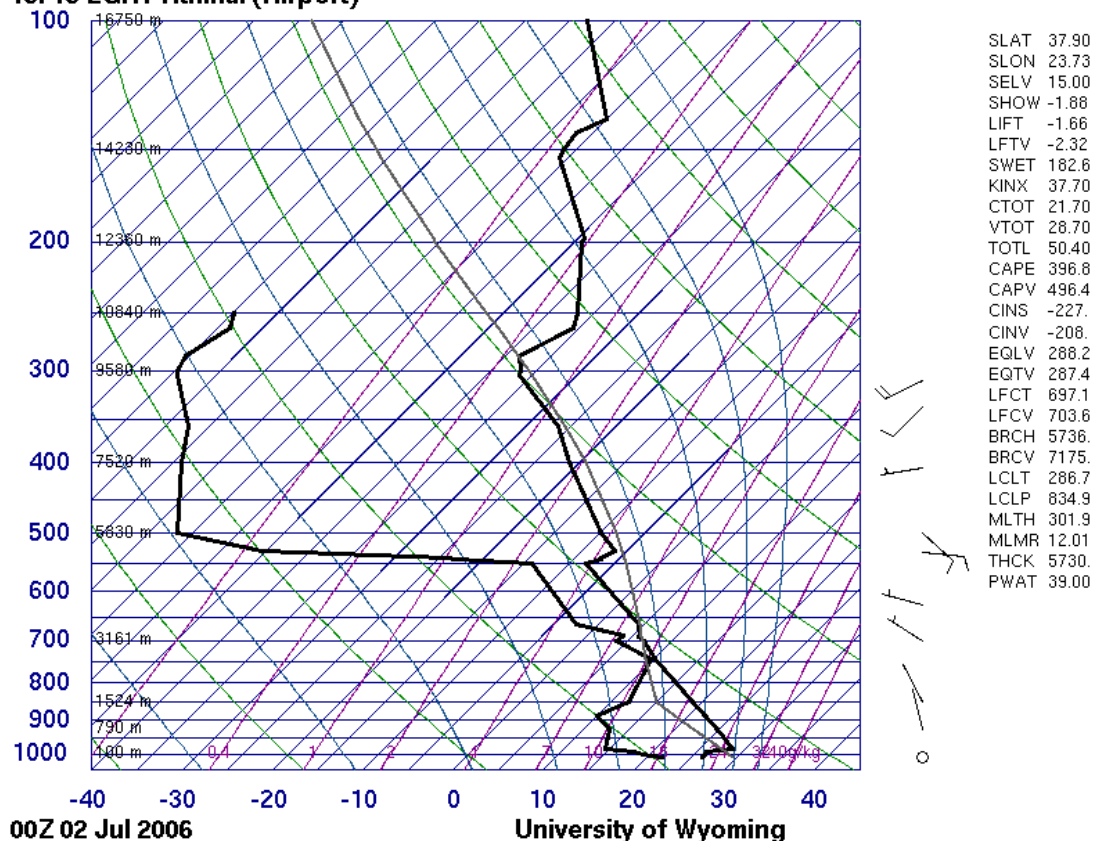
Bulk Richardson Number: 5736.00  
Bulk Richardson Number using CAPV: 7175.53  
Temp [K] of the Lifted Condensation Level: 286.75  
Pres [hPa] of the Lifted Condensation Level: 834.96  
Mean mixed layer potential temperature: 301.94  
Mean mixed layer mixing ratio: 12.01  
1000 hPa to 500 hPa thickness: 5730.00  
Precipitable water [mm] for entire sounding: 39.00

### **Διάγραμμα Skew-T plot**

Από τα διαθέσιμα γραφήματα το διάγραμμα Skew-T είναι εξαιρετικά σημαντικό. Το διάγραμμα αυτό συμβολίζει την κατακόρυφη μεταβολή της θερμοδυναμικής κατάστασης της ατμόσφαιρας. Ένα τυπικό διάγραμμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 26. Οι έντονες μαύρες καμπύλες είναι αυτή της θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας κόρου. Εκεί που συναντιούνται υπάρχει η δημιουργία νέφους.

Στον κατακόρυφο άξονα είναι σημειωμένες οι τιμές της πίεσης και του ύψους, ενώ στον οριζόντιο η θερμοκρασία σε °C και η αναλογία ανάμειξης υδρατμών. Στην δεξιά στήλη σημειώνονται κάποιοι δείκτες οι οποίοι επεξηγούνται αναλυτικά παρακάτω. Τα βέλη δείχνουν την κατεύθυνση και την ένταση του ανέμου. Η μύτη του βέλους δείχνει προς τα πού κατευθύνεται, ενώ η ουρά δείχνει την έντασή του. Όσο πιο πολλές γραμμές έχει η ουρά του βέλους, τόσο εντονότερος είναι ο άνεμος. Στο γράφημα της 02/07/2006 (Εικόνα 26) παρατηρούμε την δημιουργία νέφους περίπου στα 750 hPa.

### 16716 LGAT Athinai (Airport)



Εικόνα 26: Τυπικό διάγραμμα Skew-T (dew point-temperature)

([http://weather.uwyo.edu/cgi-](http://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding?region=europe&TYPE=GIF%3ASKEWT&YEAR=2006&MONTH=07)

[bin/sounding?region=europe&TYPE=GIF%3ASKEWT&YEAR=2006&MONTH=07](http://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding?region=europe&TYPE=GIF%3ASKEWT&YEAR=2006&MONTH=07)  
&FROM=0200&TO=0200&STNM=16716 )

Περισσότερες πληροφορίες για τους δείκτες και τις παραμέτρους του σταθμού που έγινε η ραδιοβόλιση σημειώνονται στο Παράρτημα Ι.

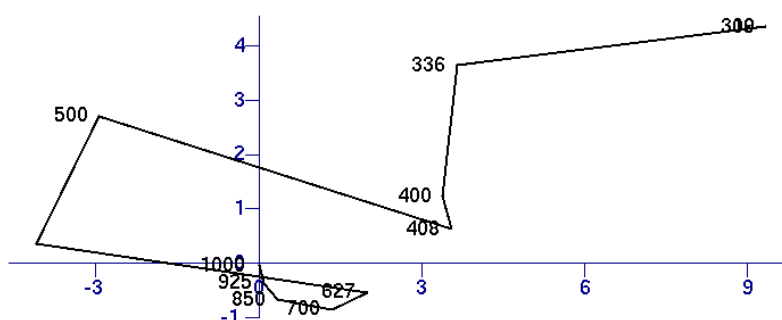
### Οδογράφος καμπύλη

Η οδογράφος καμπύλη (hodograph) είναι ένα διάγραμμα που δείχνει μια διανυσματική οπτική παρουσίαση της κίνησης ενός σώματος ή ενός ρευστού. Είναι η καμπύλη που προκύπτει ενώνοντας το τέλος ενός μεταβλητού διανύσματος, με το άλλο άκρο σταθερό, σε διάφορες θέσεις. Σχετίζεται με την ταχύτητα και γι' αυτό λέγεται και διάγραμμα ταχύτητας. Στη μετεωρολογία χρησιμοποιείται για τη σχεδίαση των ανέμων της ατμόσφαιρας. Ειδικότερα, δείχνει την κατεύθυνση και την

ταχύτητα του ανέμου σε σχέση με το ύψος και αφορά κυρίως τα πρώτα 7 km της ατμόσφαιρας.

Είναι ένα πολικό διάγραμμα στο οποίο η γωνία του διανύσματος από τον κάθετο άξονα δείχνει την κατεύθυνση του ανέμου και η απόστασή του από το κέντρο δείχνει την έντασή του. Το διάνυσμα σημειώνεται σε διάφορες θέσεις ύψους και μετά η καμπύλη ενώνεται έτσι ώστε το ύψος να αυξάνεται. Στην Εικόνα 27 παρουσιάζεται το οδογράφημα για τη ραδιοβόλιση της 02/07/2006 στην Αθήνα.

16716 LGAT Athinai (Airport)



00Z 02 Jul 2006

University of Wyoming

**Εικόνα27:** Οδογράφος καμπύλη της ραδιοβόλισης της Αθήνας στις 02/07/2006

([http://weather.uwyo.edu/cgi-](http://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding?region=europe&TYPE=GIF%3AHODO&YEAR=2006&MONTH=07&FROM=0200&TO=0200&STNM=16716)

[bin/sounding?region=europe&TYPE=GIF%3AHODO&YEAR=2006&MONTH=07&FROM=0200&TO=0200&STNM=16716](http://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding?region=europe&TYPE=GIF%3AHODO&YEAR=2006&MONTH=07&FROM=0200&TO=0200&STNM=16716))

Με τη βοήθεια της οδογράφου καμπύλης, αλλά και άλλων θερμοδυναμικών διαγραμμάτων όπως το τεφίγραμμα υπολογίζονται: η μεταβολή της κατεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου σε σχέση με το ύψος (wind shear), η οποία με τη σειρά της δείχνει την εμφάνιση καταιγίδας και τις πιθανές επικίνδυνες αναταράξεις στην αεροπορία. Παράλληλα, υπολογίζονται και οι θερμοκρασιακές αλλαγές σε ένα στρώμα αέρα που υπολογίζονται από τις μεταβολές του ανέμου λαμβάνοντας υπόψιν

ότι ο θερμός αέρας βρίσκεται δεξιά της μεταβολής του ανέμου μεταξύ δύο επιπέδων της ατμόσφαιρας για το βόρειο ημισφαίριο και αντίθετα, για το νότιο ημισφαίριο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 4.1 Συλλογή δεδομένων

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής θα μελετήσουμε των χρονική μεταβολή των νεφών πάνω από το Λεκανοπέδιο Αθηνών για την 2006-2016. Αρχικά απαιτείται η συγκέντρωση των δεδομένων και στη συνέχεια η στατιστική επεξεργασία αυτών. Τα δεδομένα προέρχονται από το δορυφόρο CALIPSO της NASA/CNES και από ραδιοβολίσεις που παρέχονται από το Πανεπιστήμιο Wyoming (ΗΠΑ) [<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>].

Πρώτα συγκεντρώσαμε τα δεδομένα από το δορυφόρο CALIPSO, μερικούς μήνες μετά την εκτόξευσή του, τον Απρίλιο του 2006 και λάβαμε μετρήσεις από τον Ιούλιο 2006 έως και Ιούνιο 2016. Η πλειοψηφία των δεδομένων ελήφθησαν από την τελευταία έκδοση των δεδομένων του CALIOP με τις περισσότερο επεξεργασμένες εικόνες (version V4.10). Αυτή η έκδοση είναι ενημερωμένη μέχρι και τον Ιανουάριο 2016. Άρα για τους μήνες 02/2016 έως 06/2016 τα δεδομένα ελήφθησαν από την προηγούμενη έκδοση (version V3.30), που όμως δεν περιλαμβάνει κατηγοριοποίηση των διαφόρων νεφών.

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες της Αθήνας είναι  $\sim 37.98^\circ$  (βόρειο πλάτος) και  $23.73^\circ$  (μήκος ανατολικό). Βρίσκοντας τις συντεταγμένες περιοχών περιμετρικά του κέντρου της Αθήνας πήραμε τις παρακάτω αποκλίσεις ( $37.64 < \text{πλάτος} < 38.24$ ) και ( $23.59 < \text{μήκος} < 24.03$ ).

Ο CALIPSO διέρχεται πάνω από την Αθήνα κάθε 16 ημέρες, στις 00.30 UTC, όπως και μια δεύτερη φορά πάνω από την Ελλάδα γύρω στις 11.30 UTC, αλλά αρκετά ανατολικότερα (Εύβοια). Επίσης, μία εβδομάδα μετά την ημέρα μέτρησης, με περίοδο 16 ημερών, περνά δύο φορές την ίδια μέρα κοντά στην Αττική, δυτικότερα αυτής, περίπου πάνω από την Κόρινθο. Εφόσον, λοιπόν, δεν περνά πάνω από την Αθήνα, αυτά τα δεδομένα δεν καταγράφηκαν. Αναλυτικότερα, λοιπόν, για κάθε μέρα μέτρησης σημειώσαμε την ημερομηνία και τη διαθεσιμότητα δεδομένων από τη ιστοσελίδα του CALIPSO και κατόπιν επιλέξαμε το τμήμα της τροχιάς του δορυφόρου ώστε να εμφανιστεί η σειρά των εικόνων που θα μελετήσουμε.

Για αυτές τις συντεταγμένες και με βάση τις διαθέσιμες εικόνες από τον CALIOP [π.χ. ολικός εξασθενημένος συντελεστής οπισθοσκέδασης (total attenuated backscatter) στα 532 nm, στα 1064 nm και του τύπου του σωματιδίου στο οποίο έγινε η σκέδαση (vertical feature mask) καταγράψαμε το ύψος βάσης του νέφους (km), το πάχος του νέφους (km), τις συντεταγμένες και την ώρα (UTC) διέλευσης πάνω από την Αθήνα.

Στη συνέχεια με βάση τις διαθέσιμες εικόνες για την ανίχνευση πάγου και νερού (ice/water phase) που εμπεριέχουν τα νέφη, αλλά και του τύπου του νέφους (cloud subtype) καταγράψαμε τη φάση (υγρή ή στερεά) του νέφους και το είδος του. Τα δύο αυτά χαρακτηριστικά αποδίδονται στα νέφη λαμβάνοντας υπόψιν τον λόγο αποπόλωσης (depolarization ratio) του οπισθοσκεζαζόμενου σήματος lidar. Για παράδειγμα τα νέφη τύπου cirrus είναι αρκετά διαπερατά από την δέσμη laser και έχουν ένα συντελεστή αποπόλωσης της τάξης του 20-30% .  
(<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/calipso>)

Έτσι, δημιουργήσαμε ένα αρχείο που περιλαμβάνει όλα τα δεδομένα και τις μετρήσεις που καταγράψαμε. Στην πρώτη στήλη σημειώσαμε τις ημερομηνίες (ημέρες και ώρες) που πέρασε ο δορυφόρος πάνω από την Αθήνα με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία. Στη δεύτερη στήλη σημειώσαμε την ακριβή ώρα (UTC) διέλευσης και στην τρίτη και τέταρτη το ύψος της βάσης του νέφους (km) και το πάχος του (km), αντίστοιχα. Στην πέμπτη και έκτη σημειώσαμε, αντίστοιχα, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος διέλευσης, ενώ στην έβδομη τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Τέλος, στην όγδοη σημειώσαμε την περιεκτικότητα του νέφους σε νερό ή πάγο και, τέλος, στην ένατη το είδος (κατηγορία) του νέφους.

Ειδικότερα για μεγαλύτερη ευκολία στην επεξεργασία των δεδομένων, στη φάση του νέφους σημειώσαμε τους αριθμούς 0,1,2,3 που σημαίνουν:

0: unknown, 1:ice, 2:water, 3:oriented ice

Για τον ίδιο λόγο στο είδος του νέφους σημειώνω του αριθμούς 0-7 που σημαίνουν:

0: low, overcast transparent, 1: low, overcast opaque, 2: transition stratocumulus,

3: low, broken cumulus, 4: altocumulus (transparent), 5: altostratus (opaque)  
6: cirrus (transparent), 7: deep convective (opaque).

Στον Πίνακα 2 καταγράφουμε την ημερομηνία, την ώρα, το γεωγραφικό μήκος, το γεωγραφικό πλάτος και η διαθεσιμότητα των δεδομένων lidar πάνω από την Αθήνα. Στον Πίνακα 3 καταγράφουμε την ημερομηνία, το ύψος βάσης του νέφους, το πάχος του νέφους, η φάση του νέφους (νερό ή πάγος) και το είδος του. Να σημειωθεί στον Πίνακα 3 όταν η γραμμή είναι κενή σημαίνει ότι πρόκειται για μια ανέφελη μέρα. Εξαιρέση αποτελούν οι τρεις τελευταίες μετρήσεις όπου υπάρχουν σύννεφα (23/03/16 και 08/04/16) για τις οποίες δεν σημειώνεται το είδος του νέφους λόγω έλλειψης δεδομένων.

**Πίνακας 2:** Ημερομηνίες και γεωγραφικές συντεταγμένες νεφών

Ημερομηνία(η/μ/ε)	Ωρα(UTC)	Γ.Μήκος	Γ.Πλάτος	Διαθεσιμότητα (%)
02/07/06	00:34:59.8	23.56	37.66	99.6
18/07/06	00:35:16.4	23.67	38.06	99.6
03/08/06	00:34:34.1	23.67	38.04	99.6
19/08/06	00:34:51.9	23.69	38.02	99.6
04/09/06	00:35:06.7	23.62	37.83	99.6
20/09/06	00:35:11.9	23.62	37.94	99.6
06/10/06	00:35:16.9	23.61	37.88	99.6
22/10/06	00:35:12.4	23.36	37.91	99.6
07/11/06	00:34:57.1	23.76	38,00	99.6
07/11/06	00:34:57.1	23.76	38,00	99.6
23/11/06	00:35:00.1	23.71	37.98	99.6
23/11/06	00:35:00.1	23.71	37.98	99.6
25/12/06	00:35:12.3	23.63	37.98	99.6
25/12/06	00:35:12.3	23.63	37.98	99.6
10/01/07	00:35:08.3	23.69	37.95	99.6
26/01/07	00:35:13.6	23.69	38.12	98.3
11/02/07	00:35:34.4	23.62	37.68	99.6



11/02/07	00:35:34.4	23.62	37.68	99.6
27/02/07	00:35:36.4	23.75	38.1	99.6
27/02/07	00:35:36.4	23.75	38.1	99.6
15/03/07	00:35:37.0	23.63	38.06	99.6
31/03/07	00:35:32.9	23.67	38.18	99.6
16/04/07	00:35:40.4	23.55	37.74	99.6
02/05/07	00:35:33.7	23.67	38.1	99.6
18/05/07	00:35:41.6	23.65	37.81	99.6
03/06/07	00:35:32.7	23.66	38.18	99.6
19/06/07	00:35:31.4	23.57	37.81	99.6
05/07/07	00:35:11.6	23.7	38.22	99.6
21/07/07	00:35:10.4	23.71	38,00	99.6
06/08/07	00:35:08.1	23.64	38.17	99.6
22/08/07	00:35:04.8	23.58	37.9	99.6
07/09/07	00:34:56.8	23.6	37.89	99.6
23/09/07	00:34:51.8	23.64	38.02	99.6
09/10/07	00:34:39.8	23.7	38.12	99.6
09/10/07	00:34:39.8	23.7	38.12	99.6
25/10/07	00:34:39.8	23.64	37.96	99.6
10/11/07	00:34:47.8	23.55	37.72	99.6
26/11/07	00:34:40.6	23.71	38.11	99.6
12/12/07	00:34:30.5	23.7	38.07	59.9
28/12/07	00:34:40.4	23.62	37.92	99.6
28/12/07	00:34:40.4	23.62	37.92	99.6
28/12/07	00:34:40.4	23.62	37.92	99.6
13/01/08	00:34:49.9	23.67	38.05	99.6
29/01/08	00:35:02.0	23.54	37.83	99.6
14/02/08	00:34:56.7	23.67	38.24	99.6
01/03/08	00:34:58.0	23.67	38.12	99.6
17/03/08	00:34:51.8	23.65	37.88	96.4
02/04/08	00:35:06.4	23.61	37.86	99.6
18/04/08	00:35:19.5	23.68	38.13	99.6

04/05/08	00:35:26.2	23.56	37.76	99.6
20/05/08	00:35:33.4	23.81	38.16	100
21/06/08	00:35:55.6	23.62	37.72	99.6
07/07/08	00:36:13.4	23.61	37.89	99.6
23/07/08	00:36:30.0	23.67	37.93	99.6
08/08/08	00:36:45.9	23.53	37.8	99.6
24/08/08	00:36:51.6	23.66	38.11	99.6
11/10/08	00:37:11.7	23.75	38.08	99.6
27/10/08	00:37:12.0	23.69	37.99	98.8
12/11/08	00:37:55.3	23.67	38.01	85.4
28/11/08	00:38:12.0	23.69	37.95	99.6
14/12/08	00:38:23.5	23.6	37.74	99.6
30/12/08	00:38:35.2	23.76	38.12	99.6
15/01/09	00:38:55.0	23.76	37.97	99.6
31/01/09	00:39:21.1	23.71	38.03	99.6
31/01/09	00:39:21.1	23.71	38.03	99.6
31/01/09	00:39:21.1	23.71	38.03	99.6
16/02/09	00:39:42.6	23.73	38.12	27.5
20/03/09	00:40:19.9	23.62	37.83	99.6
05/04/09	00:40:28.5	23.67	38.05	99.6
21/04/09	00:40:35.7	23.57	37.76	99.6
21/04/09	00:40:35.7	23.57	37.76	99.6
21/04/09	00:40:35.7	23.57	37.76	99.6
07/05/09	00:40:30.8	23.62	38.03	99.6
23/05/09	00:40:25.8	23.51	37.86	99.6
08/06/09	00:40:13.4	23.59	38.02	95.4
24/06/09	00:39:54.8	23.61	38.03	99.6
10/07/09	00:39:36.2	23.59	37.97	99.6
26/07/09	00:39:16.0	23.65	37.83	99.6
27/08/09	00:38:38.9	23.76	38.34	99.6
12/09/09	00:38:38.6	23.7	38.24	99.6
28/09/09	00:38:30.1	23.65	38.11	99.6

14/10/09	00:38:21.1	23.67	38.17	99.6
30/10/09	00:38:06.2	23.66	38.02	99.6
15/11/09	00:37:51.2	23.67	37.91	99.6
01/12/09	00:37:52.7	23.75	38.18	99.6
17/12/09	00:37:57.4	23.62	37.94	99.6
02/01/10	00:37:53.2	23.63	37.97	99.6
18/01/10	00:37:46.0	23.7	37.95	99.6
19/02/10	00:37:30.7	23.76	38.13	99.6
19/02/10	00:37:30.7	23.76	38.13	99.6
07/03/10	00:37:40.6	24.03	38.03	99.6
07/03/10	00:37:40.6	24.03	38.03	99.6
23/03/10	00:37:31.0	23.63	37.77	99.6
08/04/10	00:37:13.8	23.75	38.11	99.6
24/04/10	00:36:57.6	23.76	38,00	99.6
24/04/10	00:36:57.6	23.76	38,00	99.6
10/05/10	00:36:50.4	23.74	38.06	97.5
26/05/10	00:36:44.3	23.68	38.08	99.6
11/06/10	00:36:34.2	23.69	37.96	99.6
27/06/10	00:36:23.2	23.7	37.97	99.6
13/07/10	00:36:24.8	23.66	38.09	99.6
29/07/10	00:36:21.8	23.72	38.19	99.6
14/08/10	00:36:23.4	23.57	37.94	48.2
30/08/10	00:36:04.6	23.63	38.08	97.5
15/09/10	00:35:50.0	23.64	37.96	99.6
01/10/10	00:35:41.6	23.71	38.2	99.6
02/11/10	00:35:38.2	23.64	37.69	99.6
02/11/10	00:35:38.2	23.64	37.69	99.6
18/11/10	00:35:27.8	23.57	37.7	99.6
18/11/10	00:35:27.8	23.74	38.2	99.6
04/12/10	00:35:30.3	23.75	38.17	99.6
20/12/10	00:35:40.8	23.64	38,00	99.6
05/01/11	00:35:39.6	23.68	38.08	99.6

21/01/11	00:35:37.0	23.63	37.88	99.6
06/02/11	00:35:31.7	23.71	37.88	99.6
22/02/11	00:35:38.0	23.6	37.64	99.6
26/03/11	00:35:43.3	23.68	37.74	99.6
11/04/11	00:35:29.2	23.74	38.17	99.6
27/04/11	00:35:28.2	23.63	37.77	99.6
13/05/11	00:35:19.4	23.75	37.95	99.6
29/05/11	00:35:14.0	23.65	37.82	99.6
30/06/11	00:35:06.8	23.75	38.19	99.6
16/07/11	00:34:59.4	23.72	38.11	99.6
01/08/11	00:35:04.9	23.67	37.89	99.6
17/08/11	00:35:02.0	23.68	37.8	99.6
02/09/11	00:35:56.6	23.78	38.1	99.6
18/09/11	00:34:58.5	23.74	38.02	99.6
20/10/11	00:34:57.8	23.71	37.97	99.6
05/11/11	00:35:04.6	23.68	37.96	99.6
21/11/11	00:34:54.0	23.75	37.87	99.6
07/12/11	00:35:11.6	23.63	38.02	99.6
23/12/11	00:35:14.0	23.62	38.02	99.6
08/01/12	00:35:25.7	23.57	37.87	99.6
09/02/12	00:35:19.5	23.71	37.96	99.6
09/02/12	00:35:19.5	23.71	37.96	99.6
25/02/12	00:35:45.5	23.66	38.04	99.6
28/03/12	00:35:27.7	23.74	38.13	82.4
13/04/12	00:35:50.3	23.67	38.06	99.6
29/04/12	00:35:52.6	23.7	38.24	99.6
15/05/12	00:35:57.2	23.64	37.79	99.6
31/05/12	00:35:37.2	23.66	37.92	99.6
16/06/12	00:35:33.7	23.63	37.8	99.6
02/07/12	00:35:33.0	23.64	37.96	99.6
18/07/12	00:35:21.7	23.64	37.93	34.4
03/08/12	00:35:15.7	23.7	38.06	99.6

19/08/12	00:35:19.5	23.72	38.15	99.6
06/10/12	00:35:20.4	23.69	38.12	99.6
22/10/12	00:35:31.8	23.63	38.07	99.6
07/11/12	00:35:07.9	23.7	37.96	99.6
23/11/12	00:35:17.7	23.73	38.08	99.6
09/12/12	00:35:12.1	23.65	37.87	99.6
25/12/12	00:35:25.0	23.61	37.93	99.6
10/01/13	00:35:30.2	23.64	37.92	99.6
26/01/13	00:35:39.9	23.58	37.92	99.6
26/01/13	00:35:39.9	23.58	37.92	99.6
11/02/13	00:36:03.4	23.55	38.01	99.6
15/03/13	00:36:07.3	23.52	37.79	99.3
31/03/13	00:36:11.9	23.58	37.93	99.6
02/05/13	00:36:05.9	23.62	37.9	99.6
03/06/13	00:35:55.1	23.68	38.08	99.6
19/06/13	00:35:52.1	23.62	37.8	99.6
05/07/13	00:35:52.4	23.66	38.1	99.6
21/07/13	00:35:40.4	23.78	38.08	99.6
06/08/13	00:35:29.0	23.77	38.29	99.6
22/08/13	00:35:48.9	23.62	37.98	98.7
07/09/13	00:35:43.7	23.66	38.05	99.6
07/09/13	00:35:43.7	23.66	38.05	99.6
23/09/13	00:35:22.1	23.62	37.72	82.4
09/10/13	00:35:48.3	23.56	37.77	99.6
25/10/13	00:35:33.5	23.71	38.15	96.4
10/11/13	00:35:45.5	23.61	37.89	92.7
26/11/13	00:35:20.7	23.83	38.19	89.5
26/11/13	00:35:20.7	23.83	38.19	89.5
12/12/13	00:35:49.4	23.64	38.07	99.6
29/01/14	00:36:07.7	23.52	37.72	99.6
14/02/14	00:35:54.8	23.7	38.02	96.5
18/03/14	00:36:12.7	23.68	38.08	99.1

03/04/14	00:36:13.6	23.61	37.76	47.1
19/04/14	00:36:11.4	23.63	37.94	26.9
05/05/14	00:36:13.9	23.62	38.07	99.6
21/05/14	00:36:10.6	23.61	38.15	99.6
06/06/14	00:36:49.1	23.63	37.82	99.6
09/08/14	00:35:43.5	23.64	38.05	99.6
25/08/14	00:35:42.2	23.61	37.9	99.6
26/09/14	00:35:36.2	23.6	37.77	99.6
12/10/14	00:35:35.1	23.66	37.86	99.6
28/10/14	00:35:44.5	23.66	38.09	99.6
28/10/14	00:35:44.5	23.66	38.09	99.6
13/11/14	00:35:42.0	23.73	38.29	99.6
29/11/14	00:35:34.4	23.81	38.23	99.6
29/11/14	00:35:34.4	23.81	38.23	99.6
29/11/14	00:35:34.4	23.81	38.23	99.6
15/12/14	00:35:58.4	23.59	37.85	99.6
31/12/14	00:36:4.2	23.67	38.17	99.6
16/01/15	00:35:47.6	23.76	37.92	99.6
01/02/15	00:36:29.6	23.53	37.76	99.6
17/02/15	00:36:24.4	23.64	38.01	99.6
05/03/15	00:36:22.3	23.74	38.19	89.5
05/03/15	00:36:22.3	23.74	38.19	89.5
21/03/15	00:36:39.4	23.59	37.87	99.6
06/04/15	00:36:13.4	23.77	38.12	99.6
22/04/15	00:36:33.6	23.64	37.89	99.6
08/05/15	00:36:25.2	23.69	38.16	97.4
24/05/15	00:36:02.9	23.71	38.14	99.6
24/05/15	00:36:02.9	23.71	38.14	99.6
09/06/15	00:36:22.5	23.61	38.1	99.6
11/07/15	00:36:06.0	23.53	37.8	99.6
27/07/15	00:35:37.8	23.78	38.2	99.6
12/08/15	00:35:56.8	23.51	37.8	99.6

28/08/15	00:35:56.6	23.5	37.82	99.6
13/09/15	00:35:38.3	23.65	38.17	99.6
15/10/15	00:35:34.3	23.62	38.02	99.6
02/12/15	00:35:26.0	23.75	38.25	99.4
18/12/15	00:35:33.1	23.61	37.91	99.6
03/01/16	00:35:42.5	23.59	37.88	99.6
03/01/16	00:35:42.5	23.59	37.88	99.6
03/01/16	00:35:42.5	23.59	37.88	99.6
19/01/16	00:35:47.3	23.63	37.84	99.6
23/03/16	00:35:46.8	23.75	38.2	99.6
08/04/16	00:35:40.6	23.73	38.01	99.6
08/04/16	00:35:40.6	23.73	38.01	99.6
24/04/16	00:35:57.4	23.65	37.94	99.6
10/05/16	00:36:01.8	23.6	38.01	99.6
26/05/16	00:35:53.6	23.62	38.2	99.6
11/06/16	00:35:42.4	23.62	38.02	99.6
27/06/16	00:35:19.3	23.72	38.13	99.6

**Πίνακας 3:** Ύψη, πάχος, φάση και είδος νεφών

<b>Ημερομηνία(η/μ/ε)</b>	<b>Ύψος βάσης(km)</b>	<b>Πάχος(km)</b>	<b>Πάχος/Νερό</b>	<b>Τύπος Νέφους</b>
02/07/06	2.2	2.8	2	3
18/07/06	2.2	1.3	2	4
03/08/06				
19/08/06				
04/09/06				
20/09/06	2.8	1.2	2	4
06/10/06	5.8	5.7	2	6
22/10/06	2.8	1.2	2	4
07/11/06	2	1	2	3
07/11/06	6	1.8	1	6
23/11/06	2.8	1.8	1	5

23/11/06	5	7	1	6
25/12/06	0.8	0.7	2	2
25/12/06	3.5	3.5	1	4
10/01/07				
26/01/07	7.5	4	1	6
11/02/07	2	2	2	3
11/02/07	7	3	1	6
27/02/07	0.5	1	2	3
27/02/07	4.5	5	1	6
15/03/07				
31/03/07	4	5	1	5
16/04/07	5.5	5	1	6
02/05/07	6.2	2.8	1	6
18/05/07	4	2	2	4
03/06/07				
19/06/07				
05/07/07				
21/07/07				
06/08/07	1.2	1	2	3
22/08/07				
07/09/07				
23/09/07	1.2	1.8	2	2
09/10/07	3.5	3	1	5
09/10/07	6.5	5	1	6
25/10/07	6.5	3.5	1	6
10/11/07	3.5	1	2	5
26/11/07	8.2	4	1	6
12/12/07				
28/12/07	2	0.5	2	2
28/12/07	6.2	1.8	1	6
28/12/07	9.5	1.5	1	6
13/01/08				



29/01/08	0.8	3.7	2	3
14/02/08	1	1	2	2
01/03/08				
17/03/08	5.2	5	1	6
02/04/08	3.2	1.8	2	4
18/04/08	4	7.5	1	6
04/05/08	2.2	1.8	2	4
20/05/08	3	2	2	4
21/06/08				
07/07/08				
23/07/08				
08/08/08				
24/08/08				
11/10/08	1.5	1	2	2
27/10/08				
12/11/08	1.5	1	2	2
28/11/08	1	1	2	2
14/12/08	6	2	1	6
30/12/08	1	1.5	2	2
15/01/09				
31/01/09	1.5	2.5	2	5
31/01/09	4	2	1	4
31/01/09	6	2.2	1	6
16/02/09	1.5	1.7	2	2
20/03/09				
05/04/09	6	5	1	6
21/04/09	0.5	2	0	3
21/04/09	2.5	1.5	0	4
21/04/09	4	7.2	1	6
07/05/09				
23/05/09				
08/06/09	8.5	3	1	6

24/06/09				
10/07/09				
26/07/09				
27/08/09				
12/09/09	5	5	1	7
28/09/09	9	2.5	1	6
14/10/09				
30/10/09	0.5	2	2	2
15/11/09	9.5	1.7	1	6
01/12/09	10	2.8	1	6
17/12/09				
02/01/10				
18/01/10	5.5	6	1	6
19/02/10	6.5	2.7	1	6
19/02/10	10	2	1	6
07/03/10	3.5	3.5	1	4
07/03/10	8.2	1	1	6
23/03/10	5.2	7	1	6
08/04/10	2.8	0.5	2	3
24/04/10	4	3.5	1	4
24/04/10	11.5	0.5	1	6
10/05/10				
26/05/10				
11/06/10				
27/06/10	3	0.8	2	4
13/07/10				
29/07/10				
14/08/10				
30/08/10				
15/09/10				
01/10/10	1.2	1.6	2	2
02/11/10	0.5	1	2	2

02/11/10	11	1.5	1	6
18/11/10	0.5	1.7	2	3
18/11/10	5.2	1.6	2	5
04/12/10	8	3.5	1	6
20/12/10	6.5	2.8	1	6
05/01/11	0.5	2.3	2	2
21/01/11	4.5	3.5	1	6
06/02/11				
22/02/11	4.8	4.4	1	7
26/03/11				
11/04/11	1.5	2.3	2	2
27/04/11	7.5	3	1	7
13/05/11	2.5	1.7	2	5
29/05/11				
30/06/11				
16/07/11				
01/08/11				
17/08/11				
02/09/11				
18/09/11				
20/10/11				
05/11/11				
21/11/11	0.5	1	2	2
07/12/11	2.2	1.3	2	2
23/12/11	2.5	5.7	1	4
08/01/12	1.8	1.7	2	5
09/02/12	0.5	1	1	2
09/02/12	4.2	3.3	1	6
25/02/12				
28/03/12	7.5	1.7	1	6
13/04/12	6	4.5	1	6
29/04/12				

15/05/12				
31/05/12				
16/06/12				
02/07/12				
18/07/12				
03/08/12				
19/08/12				
06/10/12				
22/10/12	1.5	4.7	2	4
07/11/12	9	3.5	1	6
23/11/12	1.2	1	2	1
09/12/12	2.5	5.7	2	5
25/12/12				
10/01/13	3	1	2	4
26/01/13	1.5	0.7	2	2
26/01/13	7.2	1.8	1	6
11/02/13				
15/03/13	1.5	1.3	2	3
31/03/13				
02/05/13				
03/06/13				
19/06/13				
05/07/13				
21/07/13				
06/08/13				
22/08/13				
07/09/13	3	2	2	4
07/09/13	5.2	2	0	4
23/09/13	6.8	2.7	1	6
09/10/13				
25/10/13				
10/11/13	9.5	2	1	6

26/11/13	2.5	0.7	2	4
26/11/13	5.5	3	1	6
12/12/13	1	1.5	2	2
29/01/14	4	2	1	4
14/02/14	4	3	1	4
18/03/14				
03/04/14				
19/04/14				
05/05/14	2.2	1	2	3
21/05/14				
06/06/14				
09/08/14				
25/08/14				
26/09/14	7.5	4	2	7
12/10/14				
28/10/14	1	3.5	2	4
28/10/14	5.5	4	1	6
13/11/14	5.5	6	1	7
29/11/14	0.5	1	2	3
29/11/14	3.5	2	0	4
29/11/14	7.5	4	1	6
15/12/14	0.5	0.7	2	0
31/12/14	2.5	4.5	1	5
16/01/15	8	1.5	1	6
01/02/15	1.5	1.5	2	2
17/02/15				
05/03/15	0.5	1	2	3
05/03/15	7.5	3.5	1	6
21/03/15				
06/04/15	0.5	2.3	2	3
22/04/15				
08/05/15				

24/05/15	7.8	1.7	1	6
24/05/15	10.8	1	1	6
09/06/15	3.5	1.7	2	4
11/07/15				
27/07/15				
12/08/15				
28/08/15				
13/09/15				
15/10/15				
02/12/15	8.5	3	1	6
18/12/15	1	1	2	0
03/01/16	3.5	1	2	4
03/01/16	5.5	1	2	4
03/01/16	9.5	1	1	6
19/01/16	1.5	2	2	2
23/03/16	7	3	1	
08/04/16	3	2.5	2	
08/04/16	7.5	2	1	
24/04/16				
10/05/16				
26/05/16				
11/06/16				
27/06/16				

Ακολούθησε η συγκέντρωση των δεδομένων από τις ραδιοβολίσεις. Συγκρίναμε τις ημέρες που ο CALIOP εντοπίζει νέφη με τα δεδομένα των ραδιοβολίσεων. Για τις μέρες αυτές παραγάγαμε διαγράμματα Skew-T. Στα σημεία τομής της καμπύλης της θερμοκρασίας και με εκείνα της θερμοκρασίας δρόσου, είναι πιθανή η δημιουργία σύννεφου. Τα σημεία αυτά συγκρίθηκαν ακολούθως με εκείνα που εντοπίζονται από τον CALIOP, ως σημεία ύπαρξης νεφών.

Τα διαθέσιμα δεδομένα της ραδιοβόλισης ως προς το χρόνο αφορούν τις ημερομηνίες από 02/07/2006 έως 02/11/2010. Δημιουργήσαμε, λοιπόν, τον Πίνακα 4

στον οποίο παρουσιάζεται στην πρώτη στήλη η ημερομηνία διέλευσης του δορυφόρου από την Αθήνα, στη δεύτερη και τρίτη το ύψος της βάσης (km) και το πάχος του νέφους (km), αντίστοιχα, ενώ στην τέταρτη σημειώσαμε τις τιμές 0, 1 και 2 οι οποίες επεξηγούνται ως:

0: δεν εντοπίζεται σύννεφο, 1: εντοπίζεται σύννεφο, 2: μη διαθέσιμα δεδομένα.

**Πίνακας 4:** Σύγκριση δεδομένων δορυφόρου-ραδιοβόλισης

Ημερομηνία(η/μ/ε)	Ύψος βάσης (km)	Πάχος νέφους (km)	Εντοπισμός νέφους
02/07/06	2.2	2.8	1
18/07/06	2.2	1.3	1
03/08/06			
19/08/06			
04/09/06			
20/09/06	2.8	1.2	1
06/10/06	5.8	5.7	1
22/10/06	2.8	1.2	1
07/11/06	2	1	1
07/11/06	6	7.8	2
23/11/06	2.8	1.8	1
23/11/06	5	7	1
25/12/06	0.8	0.7	1
25/12/06	3.5	3.5	1
10/01/07			
26/01/07	7.5	4	2
11/02/07	2	2	2
11/02/07	7	3	2
27/02/07	0.5	1	1
27/02/07	4.5	5	1
15/03/07			
31/03/07	4	5	1
16/04/07	5.5	5	1

02/05/07	6.2	2.8	1
18/05/07	4	2	1
03/06/07			
19/06/07			
05/07/07			
21/07/07			
06/08/07	1.2	1	1
22/08/07			
07/09/07			
23/09/07	1.2	1.8	2
09/10/07	3.5	3	1
09/10/07	6.5	5	2
25/10/07	6.5	3.5	1
10/11/07	3.5	1	1
26/11/07	8.2	4	2
12/12/07			
28/12/07	2	0.5	1
28/12/07	6.2	1.8	1
28/12/07	9.5	1.5	2
13/01/08			
29/01/08	0.8	3.7	1
14/02/08	1	1	1
01/03/08			
17/03/08	5.2	5	1
02/04/08	3.2	1.8	1
18/04/08	4	7.5	1
04/05/08	2.2	1.8	1
20/05/08	3	2	1
21/06/08			
07/07/08			
23/07/08			
08/08/08			



24/08/08			
11/10/08	1.5	1	1
27/10/08			
12/11/08	1.5	1	1
28/11/08	1	1	1
14/12/08	6	2	2
30/12/08	1	1.5	1
15/01/09			
31/01/09	1.5	2.5	1
31/01/09	4	2	1
31/01/09	6	2.2	2
16/02/09	1.5	1.7	1
20/03/09			
05/04/09	6	5	2
21/04/09	0.5	2	1
21/04/09	2.5	1.5	1
21/04/09	4	7.2	1
07/05/09			
23/05/09			
08/06/09	8.5	3	1
24/06/09			
10/07/09			
26/07/09			
27/08/09			
12/09/09	5	5	1
28/09/09	9	2.5	2
14/10/09			
30/10/09	0.5	2	1
15/11/09	9.5	1.7	2
01/12/09	10	2.8	2
17/12/09			
02/01/10			

18/01/10	5.5	6	1
19/02/10	6.5	2.7	1
19/02/10	10	2	2
07/03/10	3.5	3.5	1
07/03/10	8.2	1	2
23/03/10	5.2	7	1
08/04/10	2.8	0.5	1
24/04/10	4	3.5	1
24/04/10	11.5	0.5	2
10/05/10			
26/05/10			
11/06/10			
27/06/10	3	0.8	1
13/07/10			
29/07/10			
14/08/10			
30/08/10			
15/09/10			
01/10/10	1.2	1.6	1
02/11/10	0.5	1	1
02/11/10	11	1.5	2

## 4.2 Στατιστική επεξεργασία

### ΔΟΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Αρχικά πραγματοποιήσαμε μια στατιστική επεξεργασία για το σύνολο (μέσος όρος 10-ετίας) των δεδομένων της περιόδου 2006-2016, ακολούθως, ανά εποχή (μέση τιμή εποχής) και τέλος, ανά μήνα (μέση τιμή μήνα). Για κάθε μία κατηγορία υπολογίσαμε τα μέτρα θέσης, μεταβλητότητας και σχετικής μεταβλητότητας και στη συνέχεια δημιουργήσαμε τα αντίστοιχα διαγράμματα στα οποία παρουσιάζονται τα στατιστικά μας δεδομένα.

Ειδικότερα, για κάθε κατηγορία, υπολογίσαμε το μέσο όρο των γεωγραφικών συντεταγμένων (μήκους και πλάτους) και της διαθεσιμότητας των δεδομένων. Υπολογίσαμε, επίσης, το ποσοστό νέφωσης της κατηγορίας, δηλαδή πόσες ημέρες ήταν συννεφιασμένες, στο σύνολο των καταγεγραμμένων ημερών.

Για τις πολύ σημαντικές παραμέτρους, όπως το ύψος βάσης και το πάχος των νεφών υπολογίσαμε τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή, τη μέση τιμή, το εύρος, τη διασπορά (διακύμανση), την τυπική απόκλιση, την ασυμμετρία και την κυρτότητα.

Όσον αφορά τα διαγράμματα που παρουσιάζουμε, αρχικά παρουσιάζουμε τα δεδομένα ανά περίπτωση. Συγκεκριμένα, για το ύψος βάσης των νεφών δημιουργήσαμε διάγραμμα υψών το οποίο παρουσιάζει όλα τα σημειωμένα ύψη ανά περίπτωση (case). Στον οριζόντιο άξονα σημειώνουμε τον αριθμό περίπτωσης (case number) και στον κατακόρυφο τα ύψη εμφάνισης των νεφών. Στο ίδιο διάγραμμα σημειώνεται και ο κινητός μέσος (moving mean or running mean).

Αντίστοιχο διάγραμμα πάχους του νέφους δημιουργήσαμε για την ομώνυμη παράμετρο. Κατά τη στατιστική επεξεργασία δημιουργήσαμε και τα ιστογράμματα για το ύψος και το πάχος των νεφών. Γι' αυτό πρώτα ομαδοποιήσαμε τα δεδομένα σε 6 κλάσεις και ακολούθως δημιουργήσαμε ιστογράμματα απόλυτης (%) και σχετικής συχνότητας (%), αλλά και αθροιστικής σχετικής συχνότητας (%).

Σχετικά, τώρα, με τη φάση του νέφους, δηλαδή εάν αποτελείται από πάγο ή νερό, δημιουργήσαμε ραβδογράμματα σχετικών συχνοτήτων (%). Αντίστοιχο ραβδόγραμμα δημιουργήσαμε και για τον κάθε τύπο νέφους που μελετήσαμε.

## **ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΟΥ-ΡΑΔΙΟΒΟΛΙΣΗΣ**

Όπως προείπαμε το πλήθος των διαθέσιμων (με βάση την ημερομηνία) δεδομένων από τη ραδιοβόλιση είναι σχετικά μικρό και αντιστοιχεί σε 4.5 χρόνια περίπου (02/07/2006-02/11/2010), οπότε η σύγκριση δεδομένων δορυφόρου-ραδιοβόλισης πραγματοποιήθηκε για το σύνολο αυτών των δεδομένων. Με βάση τα διαθέσιμα

δεδομένα της ραδιοβόλισης λοιπόν δημιουργήσαμε τα δύο ραβδογράμματα: της απόλυτης και της σχετικής συχνότητας (%).

Τα ραβδογράμματα έχουν στον κατακόρυφο άξονα τις συχνότητες και στον οριζόντιο έχουν τις τιμές 0,1,2. Το 0 σημαίνει πως η ραδιοβόλιση δεν εντοπίζει σύννεφο, το 1 πως η ραδιοβόλιση εντοπίζει σύννεφο ενώ το 2 σημαίνει πως δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα για τα συγκεκριμένα ύψη. Να σημειωθεί εδώ ότι παρά το γεγονός ότι συγκεντρώσαμε δεδομένα για τις διαθέσιμες ημερομηνίες, οι μετρήσεις της ραδιοβόλισης σταματούν σε ορισμένο ύψος από 7 έως 10 km. Αυτό σημαίνει ότι αν για παράδειγμα υπάρχει σύννεφο στα 9 km, η ραδιοβόλιση δεν καταγράφει δεδομένα.

### **4.3 Προγραμματισμός σε περιβάλλον MATLAB**

Για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιήσαμε το υπολογιστικό εργαλείο MATLAB. Δημιουργήσαμε run-αρχεία τα οποία διαβάζουν τα δεδομένα από τους πίνακες των αρχείων EXCEL, ξεχωρίζουν τόσο τις παραμέτρους όσο και τις χρονικές κατηγορίες που αναφέραμε παραπάνω (στοιχεία δεκαετίας συνολικά, στοιχεία εποχών δεκαετίας και μηνών δεκαετίας) και πραγματοποιούν τη στατιστική επεξεργασία που περιγράψαμε παραπάνω.

Επιπλέον δημιουργήσαμε βοηθητικά αρχεία μετατροπών και υπολογισμών τα οποία καλούνται από τα κύρια run-αρχεία. Η δημιουργία τέτοιων ξεχωριστών αρχείων έχει στόχο την αποφυγή, εντοπισμό και διόρθωση τυχόν λαθών κατά τον προγραμματισμό του κώδικα ειδικά όταν αυτός περιλαμβάνει μεγάλο πλήθος εντολών. Ακόμα, έτσι οι κώδικες τρέχουν ταχύτερα και επιτυγχάνεται το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Ειδικότερα, ως προς την ανάγνωση από το αρχείο excel, ο κώδικας διαβάζει και αποθηκεύει τις παραμέτρους σε δικές του ομώνυμες μεταβλητές. Στο αρχείο του Excel στις στήλες του ύψους και πάχους του νέφους υπάρχουν κενά πεδία, των οποίων το φυσικό νόημα είναι ότι πρόκειται για μια ανέφελη μέρα.

Ο κώδικας που αναπτύξαμε διαβάζει και τις NAN (not a number) τιμές. Για την αποφυγή λαθών στη μετέπειτα στατιστική επεξεργασία, δημιουργούμε και εισάγουμε

βοηθητικά αρχεία που ξεχωρίζουν τις νεφελώδεις από τις ανέφελες ημέρες και αποθηκεύουν σε νέες μεταβλητές τα δεδομένα που καταγράφουν την ύπαρξη νεφών, όχι μόνο για τις μεταβλητές του ύψους και του πάχους των νεφών, αλλά και τις αντίστοιχες ημερομηνίες, ώρες, συντεταγμένες, κλπ.

Ως προς την στατιστική επεξεργασία ανά εποχή και μήνα, απαραίτητη ήταν η εισαγωγή βοηθητικών αρχείων τα οποία με βάση την ημερομηνία και συγκεκριμένα τον αριθμό του μήνα κρατούν και αποθηκεύουν σε νέες μεταβλητές τα δεδομένα που θέλουμε κάθε φορά, όχι μόνο για τη μεταβλητή των ημερομηνιών, αλλά και των δεδομένων που αντιστοιχούν σε αυτές: ύψος, πάχος, συντεταγμένες νεφών, κλπ.

Στη βιβλιοθήκη εντολών της γλώσσας MATLAB υπάρχουν αρκετές έτοιμες εντολές που αφορούν την περιγραφική στατιστική, όπως αυτές για τον υπολογισμό των μέτρων θέσης, μεταβλητότητας και σχετικής μεταβλητότητας. Υπάρχουν όμως και αρκετές άλλες για τη δημιουργία στατιστικών διαγραμμάτων.

Όμως σε κάποιες περιπτώσεις όπως αυτές για τα ιστογράμματα σχετικών και αθροιστικών σχετικών συχνοτήτων και για την καμπύλη του κινητού μέσου (moving mean or running mean) οι εντολές χρειάζονταν τροποποιήσεις για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Για τη σύγκριση των δεδομένων του δορυφόρου και της ραδιοβόλισης δημιουργήσαμε ένα ακόμη run-αρχείο το οποίο διαβάζει τον αντίστοιχο πίνακα του αρχείου Excel, αποθηκεύει σε δικές του μεταβλητές την ημερομηνία, το ύψος και το πάχος του νέφους που κατέγραψε ο CALIOP και τις τιμές 0,1,2 ανάλογα με το τι κατέγραψε η ραδιοβόλιση.

Θυμίζουμε, εδώ, ότι οι τιμές 0,1,2 σημαίνουν ότι η ραδιοβόλιση δεν εντοπίζει σύννεφο, εντοπίζει σύννεφο και δεν καταγράφει δεδομένα, αντίστοιχα. Επίσης η έλλειψη δεδομένων οφείλεται στο ότι οι μετρήσεις της ραδιοβόλισης σταματούν σε ορισμένο ύψος περίπου 7-10 km ,οπότε δεν μπορεί να επιβεβαιώσει πάντα την ύπαρξη ή όχι νέφους στα μεγαλύτερα ύψη.

Αφαιρώντας πάλι τις NAN (not a number) τιμές που αντιπροσωπεύουν τις ανέφελες μέρες, αποθηκεύουμε τις παραμέτρους σε νέες μεταβλητές. Κατόπιν, δημιουργούμε δύο ραβδογράμματα απόλυτης και σχετικής συχνότητας (%). Στον οριζόντιο άξονα εμφανίζονται οι περιπτώσεις που προαναφέραμε και στον κατακόρυφο άξονα οι συχνότητες εμφάνισης νεφών.

Καθ' όλη τη διαδικασία προγραμματισμού στη γλώσσα MATLAB απαιτείται προσοχή στα παρακάτω σημεία: Πρέπει ο κώδικας να διαβάζει σωστά με πλήρη αντιστοιχία τα δεδομένα και τα πεδία από το αρχείο excel, τα ονόματα των μεταβλητών να καθορίζουν και να περιγράφουν τις παραμέτρους και τα υπολογιζόμενα μεγέθη, εάν οι ίδιες μεταβλητές χρησιμοποιηθούν και σε άλλο σημείο του κώδικα πρέπει να γίνεται έλεγχος ότι δεν έχουν κρατήσει τιμές από την προηγούμενη χρήση τους.

Όλα αυτά στοχεύουν στο να βγάζουν λογικό, μαθηματικό και φυσικό νόημα όλοι οι υπολογισμοί και τα αποτελέσματα. Τέλος, όλοι οι κώδικες που προγραμμάτισα και χρησιμοποίησα παρουσιάζονται στο Παράρτημα II.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

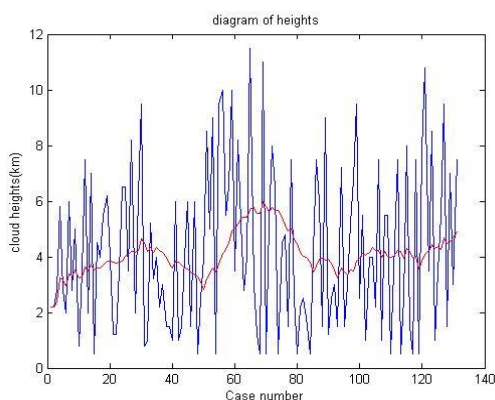
### 5.1 Στατιστική ανάλυση (2006-2016)

Στον Πίνακα 5 που ακολουθεί βλέπουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους, ενώ οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους.

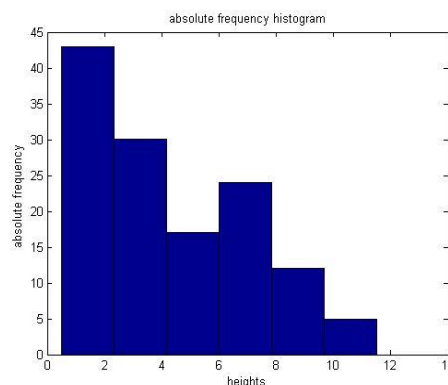
**Πίνακας 5:** Στατιστικά μεγέθη για τη δεκαετία

tenmeanlongitude	tenmeanlatitude	tenmeandataavailability	tencloudinesspercentage
23.6647	37.9896	97.5062	51.5306
tenmaxbaseheight	tenminbaseheight	tenrangebaseheight	tenmeanbaseheight
11.5000	0.5000	11.0000	4.2450
tenvariancebaseheight	tenstddeviationbaseheight	tenskewnessbaseheight	tenkurtosisbaseheight
8.3543	2.8904	0.5196	2.2655
tenmaxthickness	tenminthickness	tenrangethickness	tenmeanthickness
7.5000	0.5000	7.0000	2.5183
tenvariancethickness	tenstddeviationthickness	tenskewnessthickness	tenkurtosisthickness
2.5686	1.6027	1.1179	3.6639

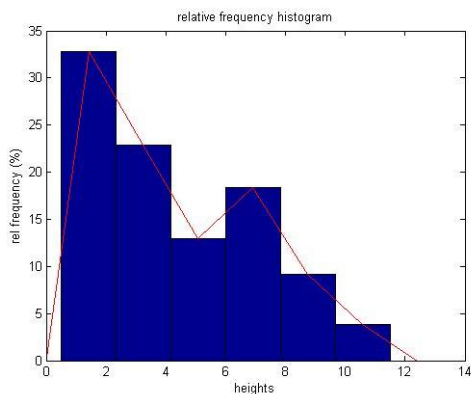
### Για το ύψος βάσης των νεφών



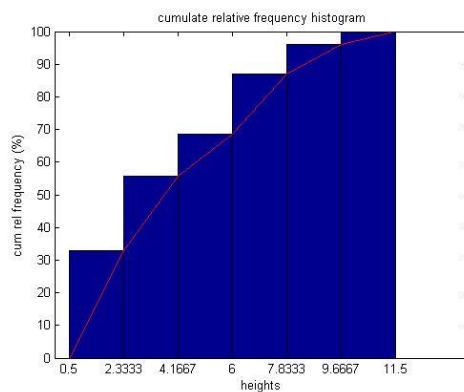
**Εικόνα 27:** Διάγραμμα υψών για το σύνολο της δεκαετίας



**Εικόνα 28:** Απόλυτη συχνότητα υψών δεκαετίας

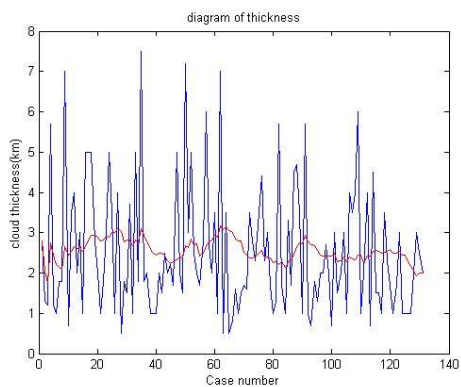


**Εικόνα 29:** Σχετική συχνότητα υψών δεκαετίας

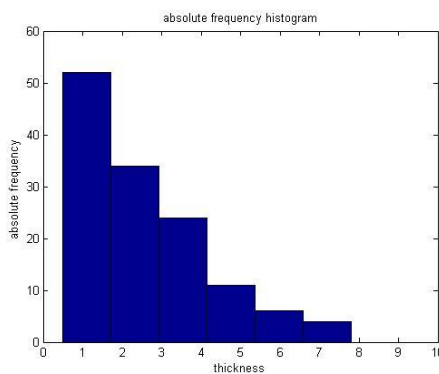


**Εικόνα 30:** Αθροιστική σχετική συχνότητα υψών δεκαετίας

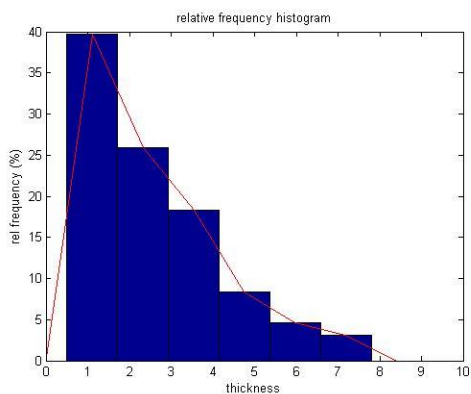
Για το πάχος των νεφών



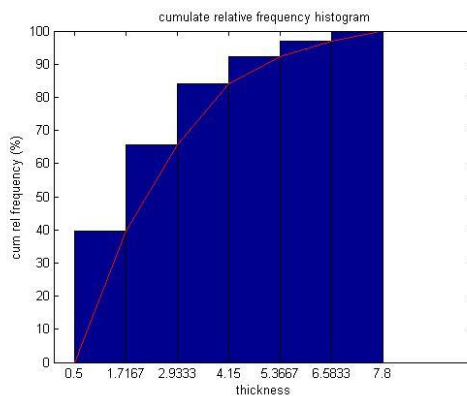
**Εικόνα 31:** Διάγραμμα πάχους νεφών δεκαετίας



**Εικόνα 32:** Απόλυτη συχνότητα πάχους δεκαετίας



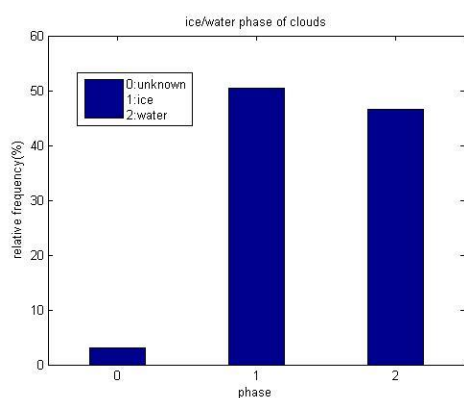
**Εικόνα 33:** Σχετική συχνότητα πάχους νεφών δεκαετίας



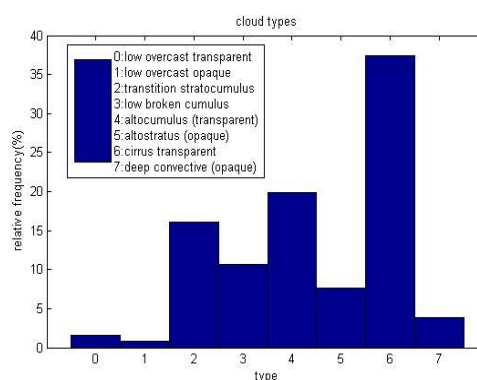
**Εικόνα 34:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους δεκαετίας



## Για τη φάση και για το είδος του νέφους



**Εικόνα 35:** Φάση νέφους δεκαετίας



**Εικόνα36:** Τύπος νέφους δεκαετίας

## 5.2 Στατιστική ανά εποχή

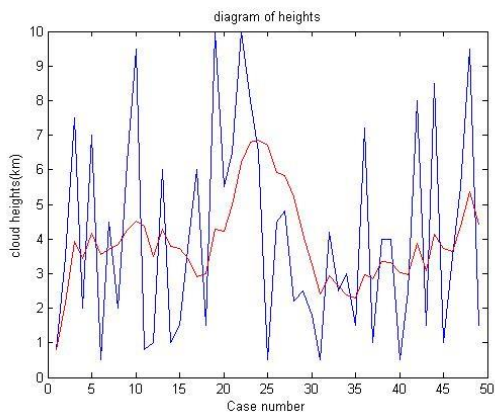
### Χειμώνας

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για τους χειμώνες της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

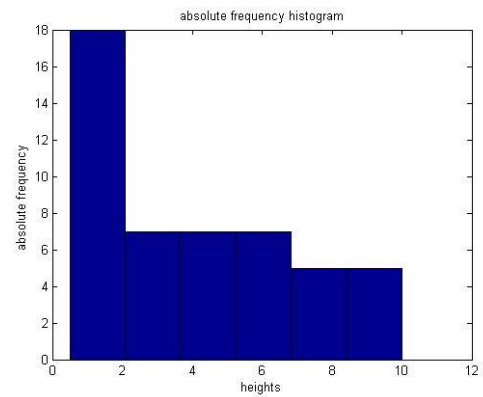
**Πίνακας 6:** Στατιστικά μεγέθη για το Χειμώνα

wintermeanlongitude	wintermeanlatitude	wintermeandataavailability	wintercloudinesspercentage
23.6558	37.9688	97.6600	76.5957
wintermaxbaseheight	winterminbaseheight	winterrangebaseheight	wintermeanbaseheight
10.0000	0.5000	9.5000	4.0408
wintervariancebaseheight	winterstddeviationbaseheight	winterskewnessbaseheight	winterkurtosisbaseheight
8.5050	2.9163	0.5388	2.0958
wintermaxthickness	winterminthickness	winterrangethickness	wintermeanthickness
6.0000	0.5000	5.5000	2.3571
wintervariancethickness	winterstddeviationthickness	winterskewnessthickness	winterkurtosisthickness
1.9988	1.4138	0.9497	3.1752

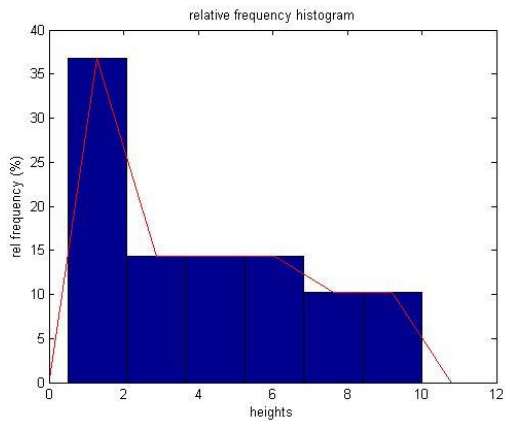
## Για το ύψος βάσης των νεφών



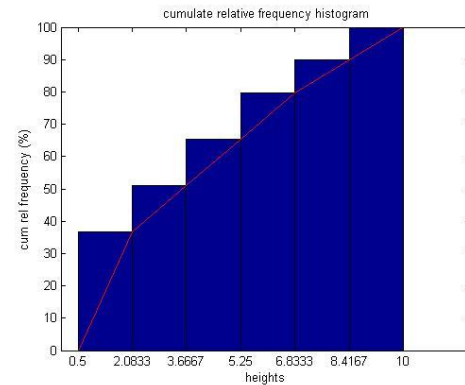
**Εικόνα 37:** Διάγραμμα ύψους νεφών Χειμώνα



**Εικόνα 38:** Απόλυτη συχνότητα υψών Χειμώνα

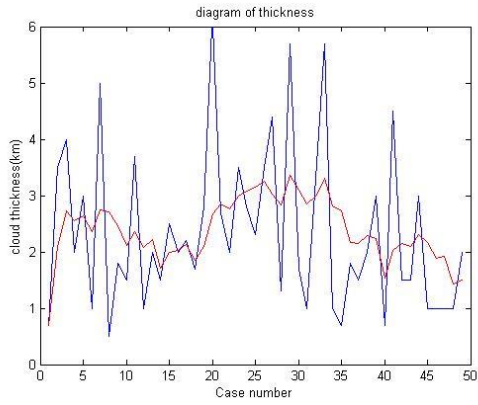


**Εικόνα 39:** Σχετική συχνότητα υψών Χειμώνα

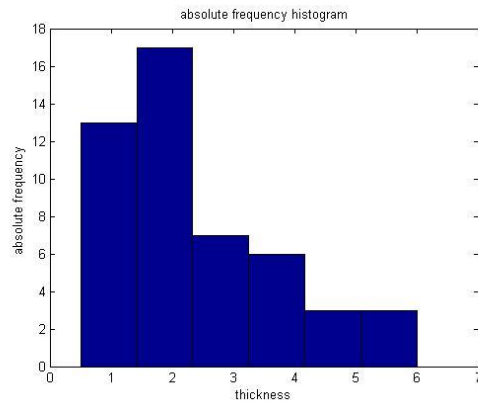


**Εικόνα 40:** Αθροιστική σχετική συχνότητα υψών Χειμώνα

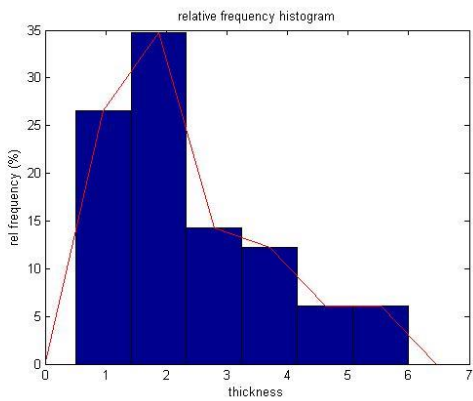
Για το πάχος των νεφών



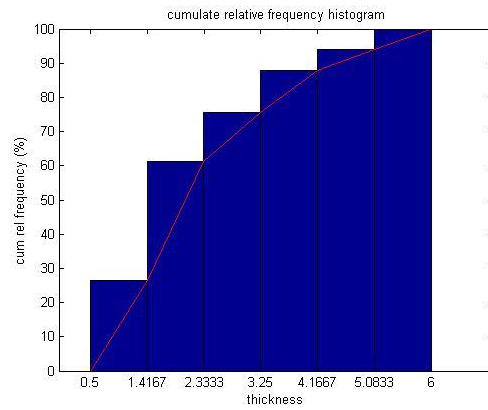
**Εικόνα 41:** Διάγραμμα πάχους νεφών Χειμώνα



**Εικόνα 42:** Απόλυτη συχνότητα πάχους Χειμώνα

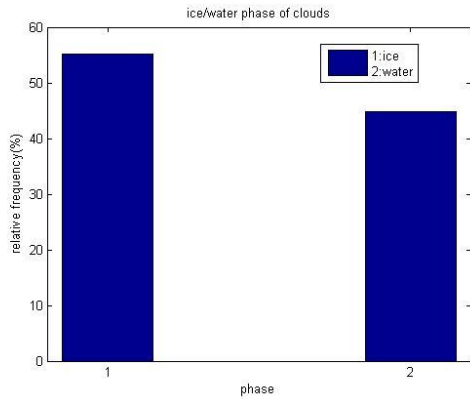


**Εικόνα 43:** Σχετική συχνότητα πάχους Χειμώνα

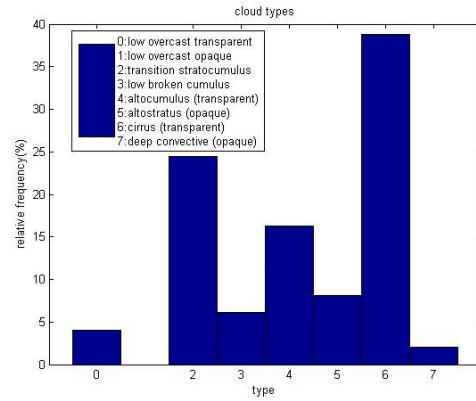


**Εικόνα 44:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους Χειμώνα

Για τη φάση και για το είδος του νέφους



**Εικόνα 45:** Φάση νέφους Χειμώνα



**Εικόνα 46:** Τύπος νέφους Χειμώνα

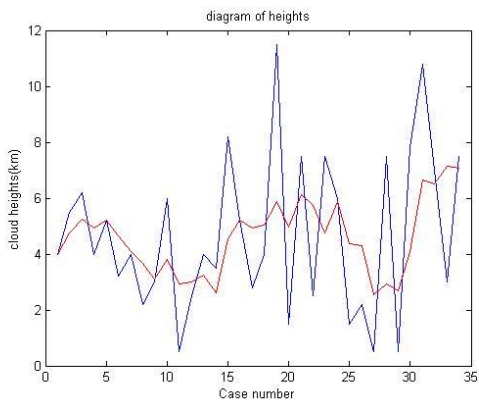
## Άνοιξη

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλες τις εποχές της άνοιξη της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

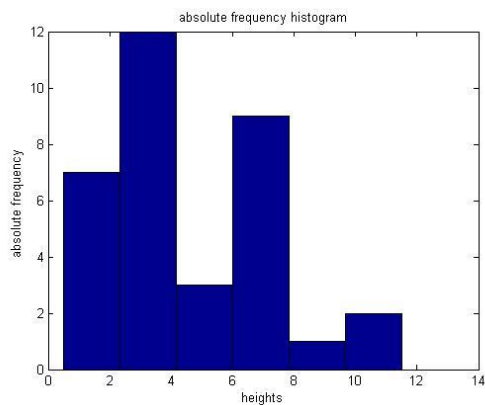
**Πίνακας 7:** Στατιστικά μεγέθη για την Άνοιξη

springmeanlongitude	springmeanlatitude	springmeandataavailability	springcloudinesspercentage
23.6734	37.9864	96.6603	52.0000
springmaxbaseheight	springminbaseheight	springrangebaseheight	springmeanbaseheight
11.5000	0.5000	11.0000	4.6706
springvariancebaseheight	springstddeviationbaseheight	springskewnessbaseheight	springkurtosisbaseheight
7.8730	2.8059	0.5314	2.7200
springmeanthickness	springmaxthickness	springminthickness	springrangethickness
2.8559	7.5000	0.5000	7.0000
springvariancethickness	springstddeviationthickness	springskewnessthickness	springkurtosisthickness
3.6074	1.8993	1.0331	3.2079

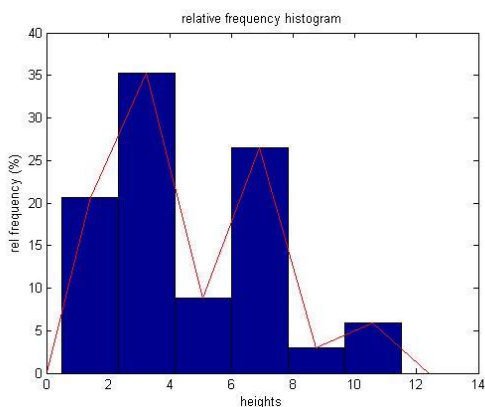
Για το ύψος του νέφους



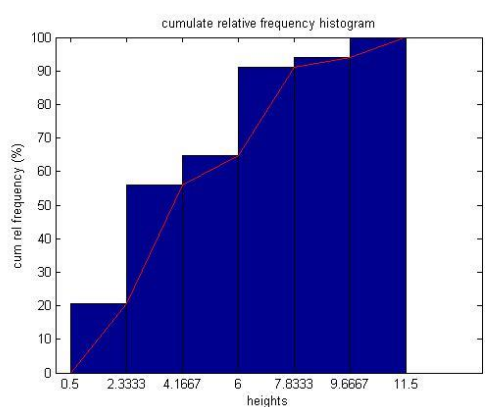
**Εικόνα 47:** Διάγραμμα ύψους νεφών  
Άνοιξης



**Εικόνα 48:** Απόλυτη συχνότητα υψών  
Άνοιξης

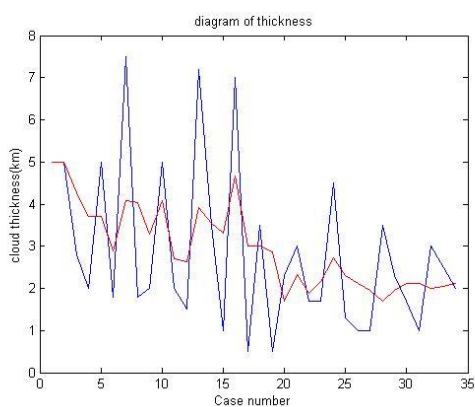


**Εικόνα 49:** Σχετική συχνότητα υψών  
Άνοιξης

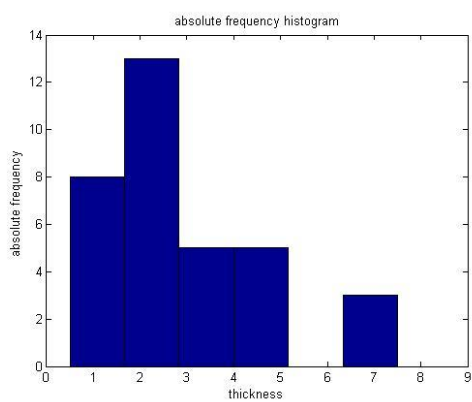


**Εικόνα 50:** Αθροιστική σχετική συχνότητα  
υψών Άνοιξης

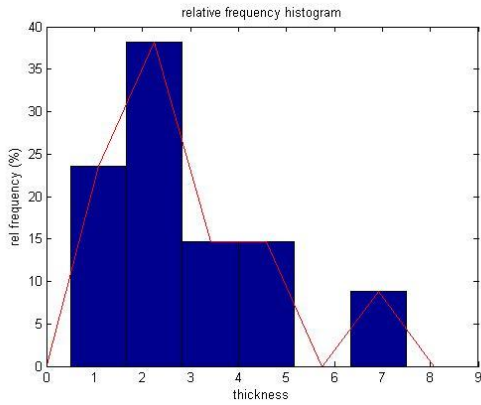
Για το πάχος του νέφους



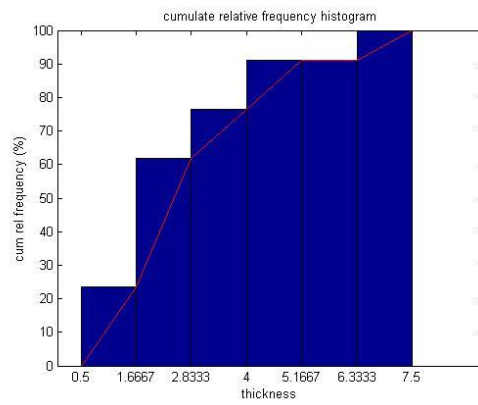
**Εικόνα 51:** Διάγραμμα πάχους νεφών  
Άνοιξης



**Εικόνα 52:** Απόλυτη συχνότητα πάχους  
Άνοιξης

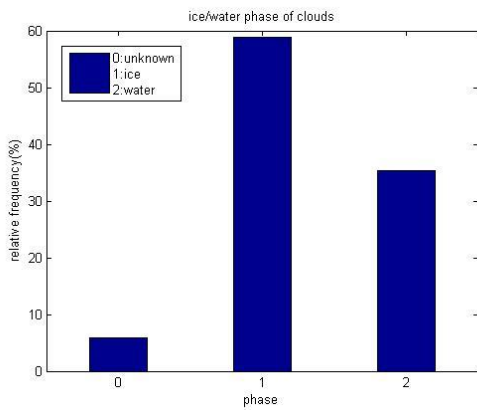


**Εικόνα 53:** Σχετική συχνότητα πάχους Άνοιξης

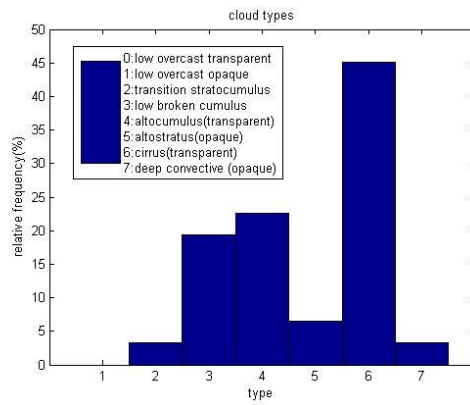


**Εικόνα 54:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους Άνοιξης

Για τη φάση και το είδος του νέφους



**Εικόνα 55:** Φάση νέφους Άνοιξης



**Εικόνα 56:** Τύπος νέφους Άνοιξης

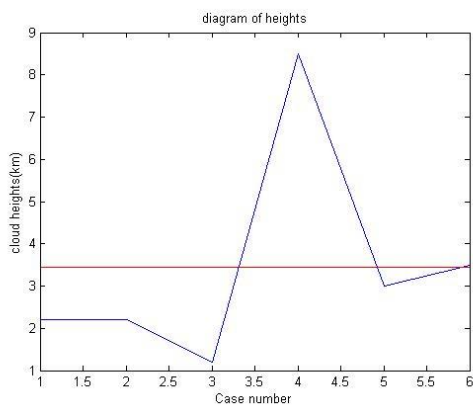
**Καλοκαίρι**

Στον Πίνακα 8 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για τα καλοκαίρια της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

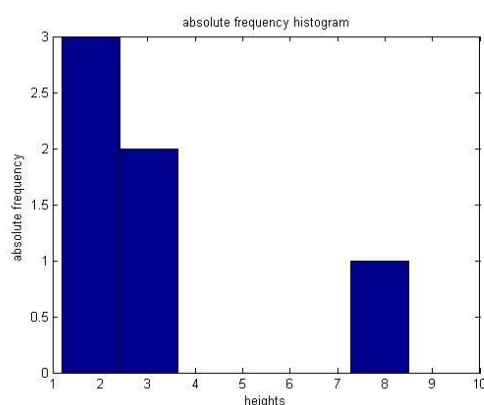
**Πίνακας 8: Στατιστικά μεγέθη για το Καλοκαίρι**

summermeanlongitude	summermeanlatitude	summermeandataavailability	summercloudinesspercentage
23.6498	37.9959	97.1725	11.7647
summermaxbaseheight	summerminbaseheight	summerrangebaseheight	summermeanbaseheight
8.5000	1.2000	7.3000	3.4333
summervariancebaseheight	summerstddeviationbaseheight	summerskewnessbaseheight	summerkurtosisbaseheight
6.7787	2.6036	1.4288	3.5963
summermeanthickness	summermaxthickness	summerminthickness	summerrangethickness
1.7667	3.0000	0.8000	2.2000
summervariancethickness	summerstddeviationthickness	summerskewnessthickness	summerkurtosisthickness
0.8667	0.9309	0.4137	1.5082

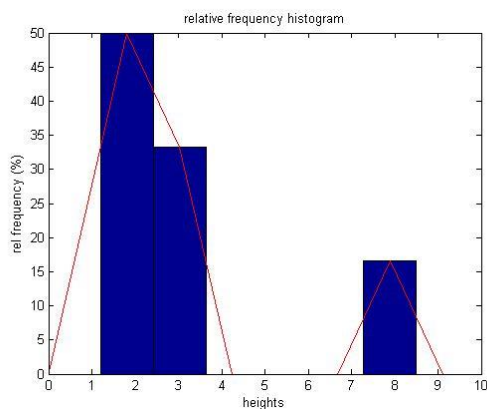
Για το ύψος βάσης του νέφους



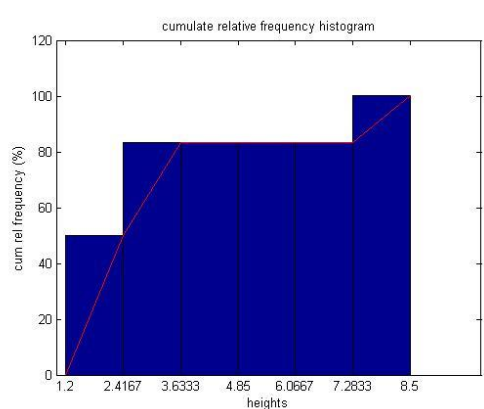
**Εικόνα 57:** Διάγραμμα υψών νεφών Καλοκαιριού



**Εικόνα 58:** Απόλυτη συχνότητα ύψους Καλοκαιριού

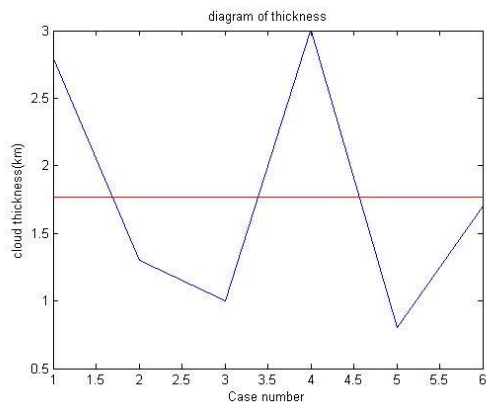


**Εικόνα 59:** Σχετική συχνότητα υψών Καλοκαιριού

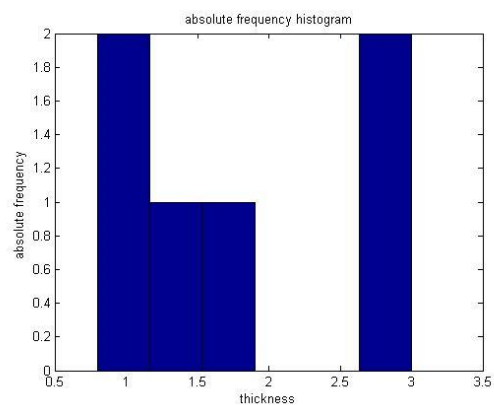


**Εικόνα 60:** Αθροιστική σχετική συχνότητα υψών Καλοκαιριού

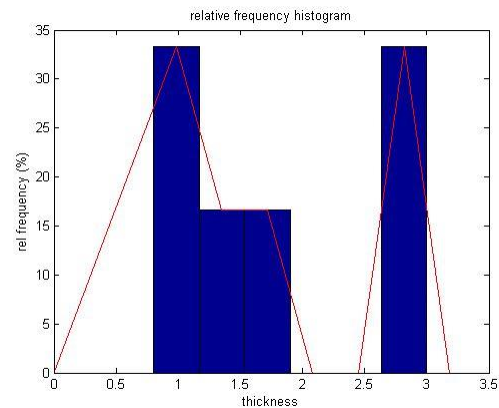
Για το πάχος του νέφους



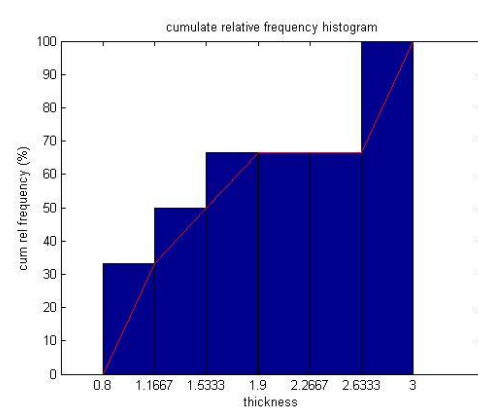
**Εικόνα 61:** Διάγραμμα πάχους νεφών Καλοκαιριού



**Εικόνα 62:** Απόλυτη συχνότητα πάχους Καλοκαιριού

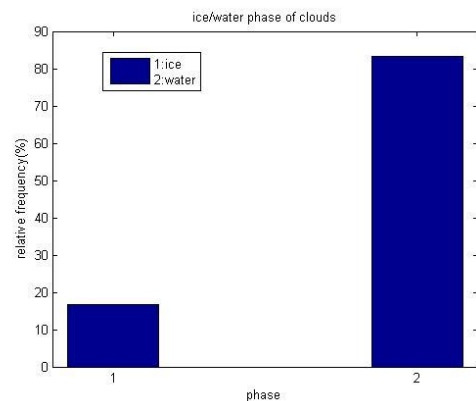


**Εικόνα 63:** Σχετική συχνότητα πάχους Καλοκαιριού

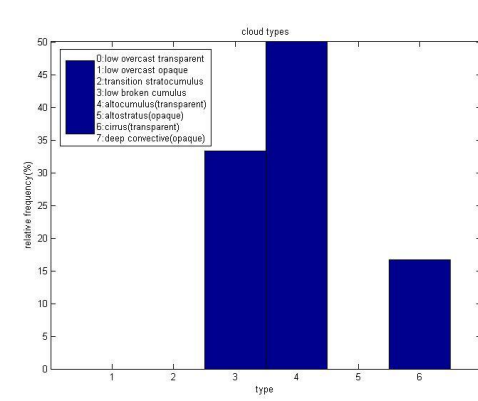


**Εικόνα 64:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους Καλοκαιριού

Για τη φάση και το είδος του νέφους



**Εικόνα 65:** Φάση νέφους Καλοκαιριού



**Εικόνα 66:** Τύπος νέφους Καλοκαιριού



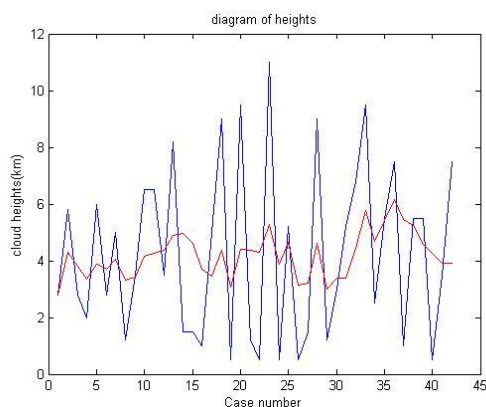
## Φθινόπωρο

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλες τις εποχές του φθινοπώρου της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

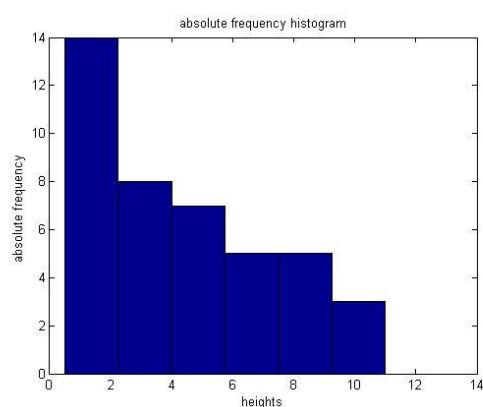
**Πίνακας 9:** Στατιστικά μεγέθη για το Φθινόπωρο

autumnmeanlongitude	autumnmeanlatitude	autumnmeandataavailability	autumncloudinesspercentage
23.6786	38.0091	98.5035	67.3913
autumnmaxbaseheight	autumnminbaseheight	autumnrangebaseheight	autumnmeanbaseheight
11.0000	0.5000	10.5000	4.2548
autumnvariancebaseheight	autumnstddeviationbaseheight	autumnskewnessbaseheight	autumnkurtosisbaseheight
9.0723	3.0120	0.4374	2.0897
autumnmeanthickness	autumnmaxthickness	autumnminthickness	autumnrangethickness
2.5405	7.0000	0.7000	6.3000
autumnvariancethickness	autumnstddeviationthickness	autumnskewnessthickness	autumnkurtosisthickness
2.5864	1.6082	0.9900	3.0919

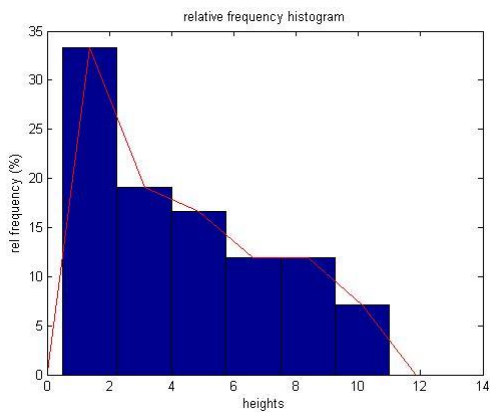
### Για το ύψος βάσης του νέφους



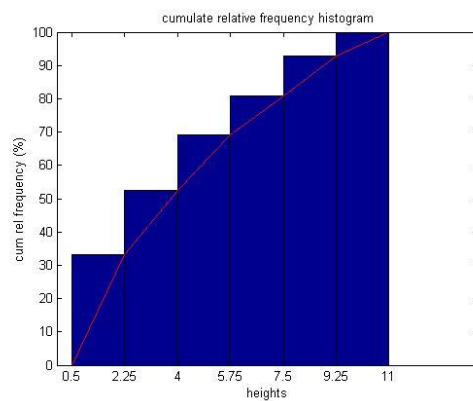
**Εικόνα 67:** Διάγραμμα ύψους νεφών Φθινοπώρου



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα υψών Φθινοπώρου

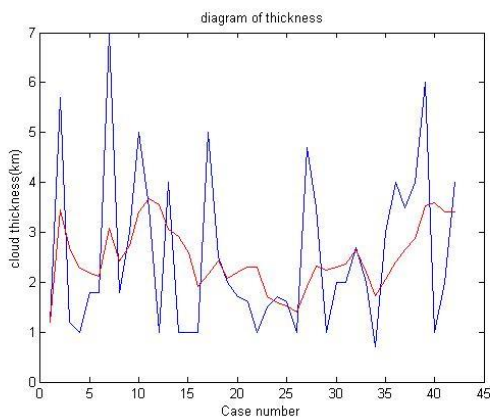


**Εικόνα 69:** Σχετική συχνότητα υψών Φθινοπώρου

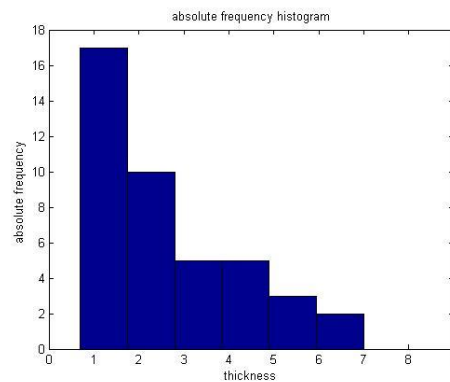


**Εικόνα 70:** Αθροιστική σχετική συχνότητα υψών Φθινοπώρου

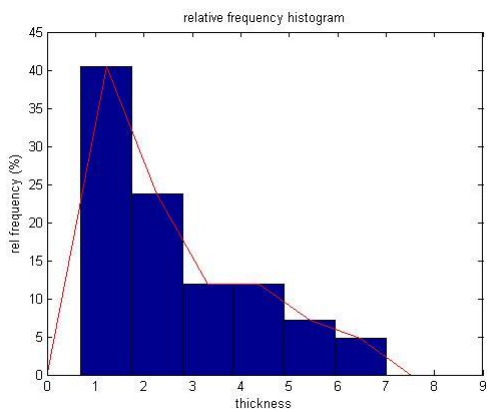
Για το πάχος του νέφους



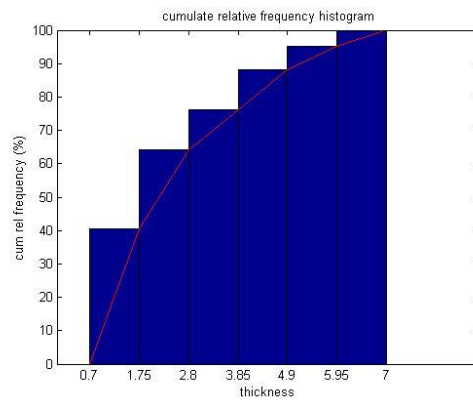
**Εικόνα 71:** Διάγραμμα πάχους νεφών Φθινοπώρου



**Εικόνα 72:** Απόλυτη συχνότητα πάχους Φθινοπώρου

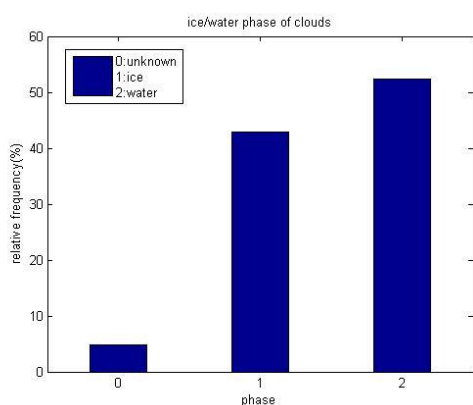


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα πάχους Φθινοπώρου

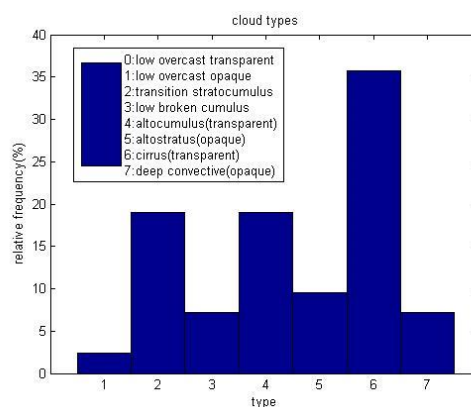


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους Φθινοπώρου

## Για τη φάση και το είδος του νέφους



Εικόνα 75: Φάση νέφους Φθινοπώρου



Εικόνα 76: Τύπος νέφους Φθινοπώρου

## 5.3 Στατιστική ανά μήνα

### A) Χειμερινοί μήνες

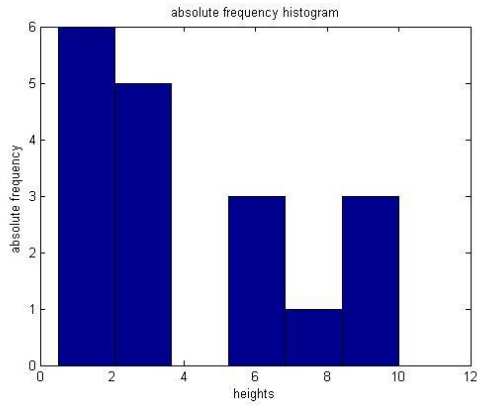
#### Δεκέμβριος

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλους τους μήνες του Δεκεμβρίου της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

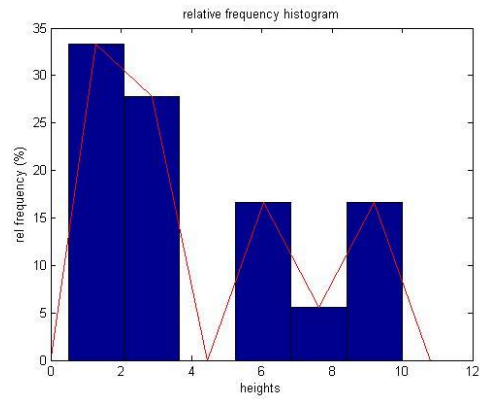
Πίνακας 10: Στατιστικά μεγέθη για το Δεκέμβριο

decmeanlongitude	decmeanlatitude	decmeandataavailability	deccloudinesspercentage
23.6529	38.0014	97.7000	83.3333
decmaxbaseheight	decminbaseheight	decrangebaseheight	decmeanbaseheight
10.0000	0.5000	9.5000	4.1222
decvariancebaseheight	decstddeviationbaseheight	decskewnessbaseheight	deckurtosisbaseheight
10.6501	3.2634	0.5654	1.8233
decmeanthickness	decmaxthickness	decminthickness	decrangethickness
2.4444	5.7000	0.5000	5.2000
decvariancethickness	decstddeviationthickness	decskewnessthickness	deckurtosisthickness
2.6332	1.6227	0.7783	2.5745

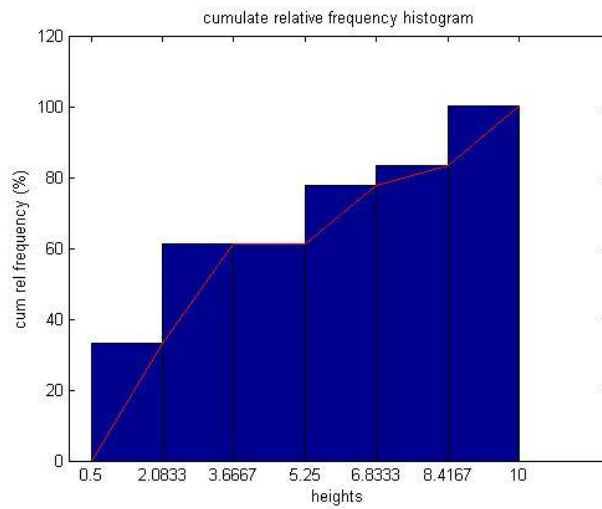
## Για το ύψος βάσης του νέφους



**Εικόνα 77:** Απόλυτη συχνότητα υψών Δεκεμβρίου

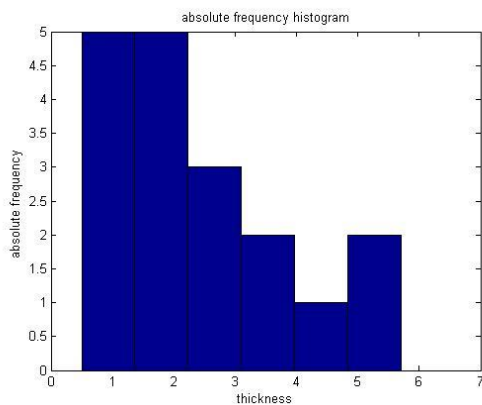


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα ύψους Δεκεμβρίου

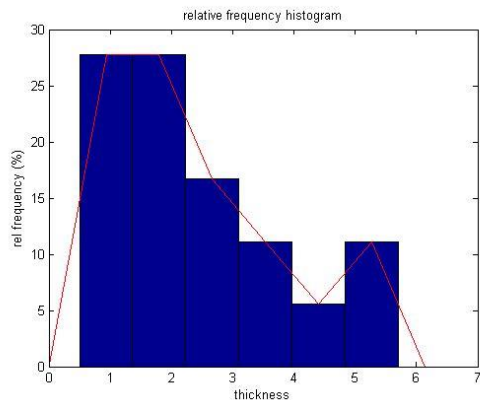


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα ύψους Δεκεμβρίου

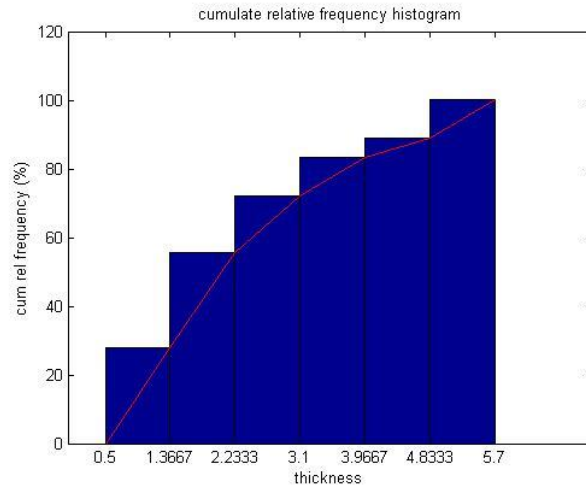
Για το πάχος του νέφους



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα πάχους Δεκεμβρίου

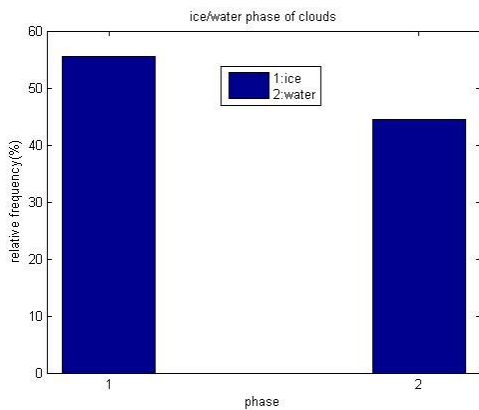


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα πάχους Δεκεμβρίου

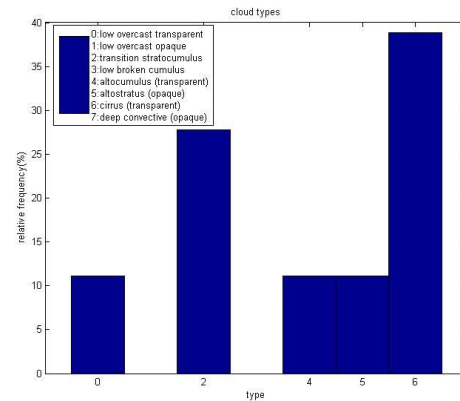


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους Δεκεμβρίου

Για τη φάση και το είδος του νέφους



**Εικόνα 75:** Φάση νέφους Δεκεμβρίου



**Εικόνα 76:** Τύπος νέφους Δεκεμβρίου

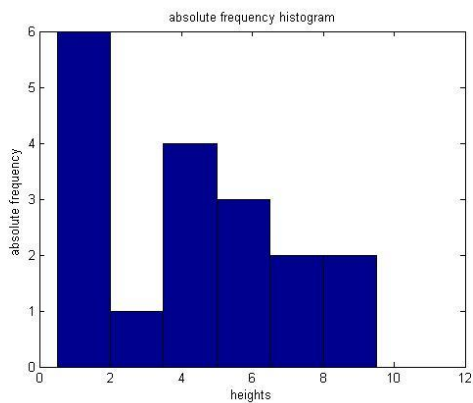
**Ιανουάριος**

Στον Πίνακα 11 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλους τους μήνες του Ιανουαρίου της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

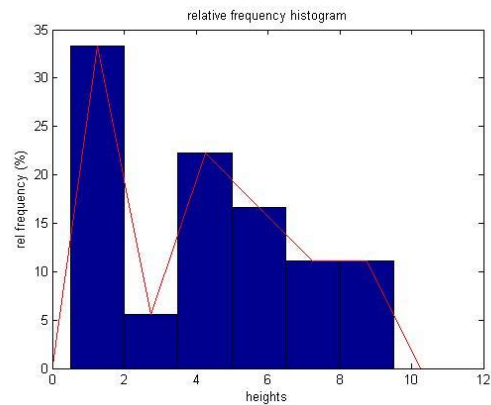
**Πίνακας 11:** Στατιστικά μεγέθη για τον Ιανουάριο

janmeanlongitude	janmeanlatitude	janmeandataavailability	jancloudinesspercentage
23.6441	37.9382	99.5409	76.4706
janmaxbaseheight	janminbaseheight	janrangebaseheight	janmeanbaseheight
9.5000	0.5000	9.0000	4.2111
janvariancebaseheight	janstddeviationbaseheight	janskewnessbaseheight	jankurtosisbaseheight
7.2952	2.7010	0.3314	2.0182
janmeanthickness	janmaxthickness	janminthickness	janrangethickness
2.2167	6.0000	0.7000	5.3000
janvariancethickness	janstddeviationthickness	janskewnessthickness	jankurtosisthickness
1.8085	1.3448	1.3420	4.5127

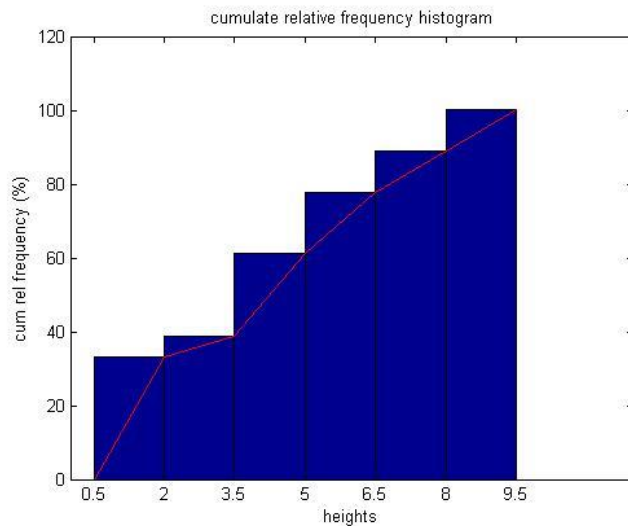
Για το ύψος βάσης των νεφών



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα υψών Ιανουαρίου

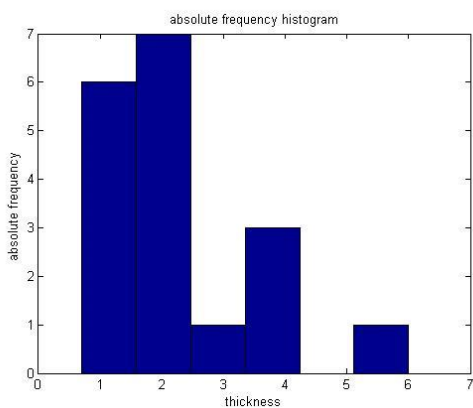


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα ύψους Ιανουαρίου

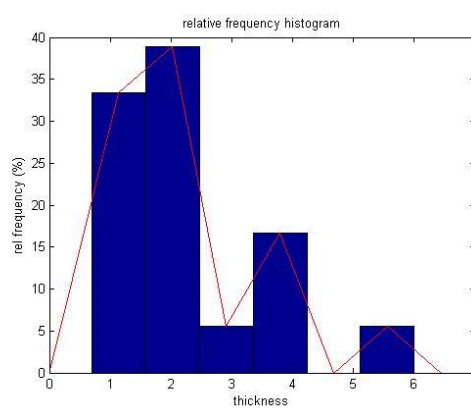


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα ύψους Ιανουαρίου

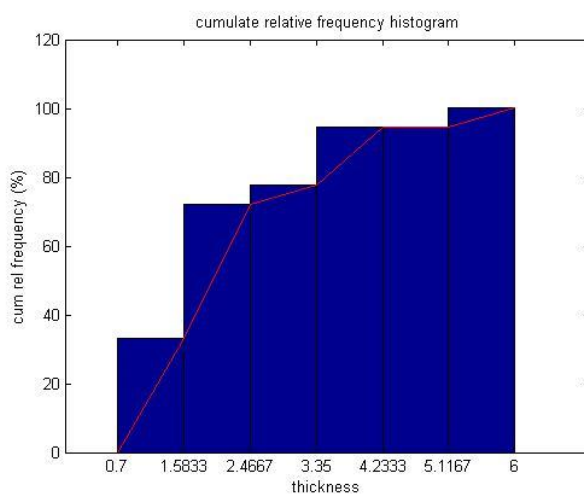
Για το πάχος των νεφών



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα πάχους Ιανουαρίου

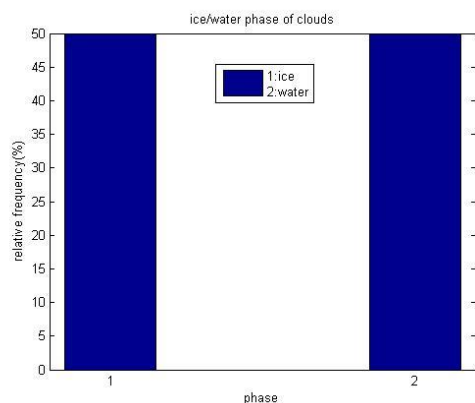


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα πάχους Ιανουαρίου

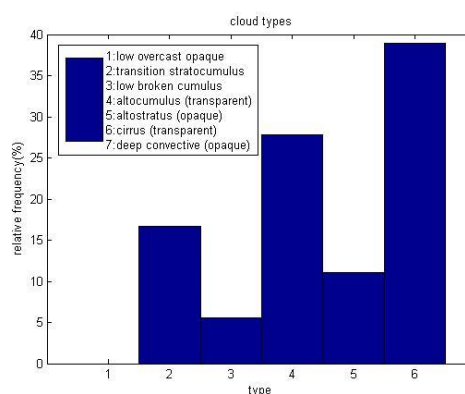


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους Ιανουαρίου

## Για τη φάση και το είδος των νεφών



Εικόνα 75: Φάση νέφους Ιανουαρίου



Εικόνα 76: Τύπος νέφους Ιανουαρίου

## Φεβρουάριος

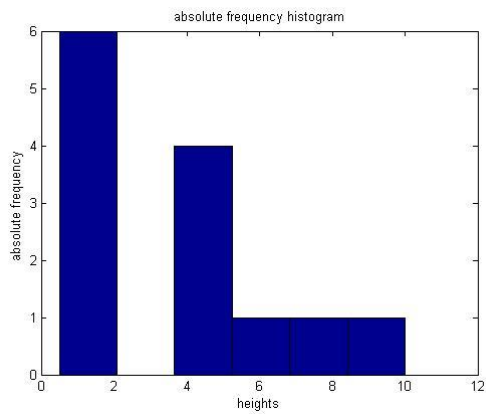
Στον πίνακα 12 που ακολουθεί βλέπουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλους τους μήνες του Φεβρουαρίου της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

Πίνακας 12: Στατιστικά μεγέθη για το Φεβρουάριο

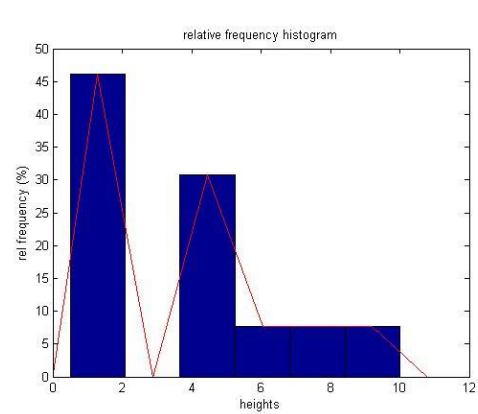
febmeanlongitude	febmeanlatitude	febmeandataavailability	febcloudinesspercentage
23.6747	37.9682	95.1765	69.2308
febmaxbaseheight	febminbaseheight	febrangebaseheight	febmeanbaseheight
10.0000	0.5000	9.5000	3.6923
febvariancebaseheight	febstddeviationbaseheight	feb skewnessbaseheight	feb kurtosisbaseheight
8.4124	2.9004	0.7139	2.6553
febmeanthickness	febmaxthickness	febminthickness	febrangethickness
2.4308	5.0000	1.0000	4.0000
febvariancethickness	febstddeviationthickness	feb skewnessthickness	feb kurtosisthickness
1.6556	1.2867	0.6310	2.4066



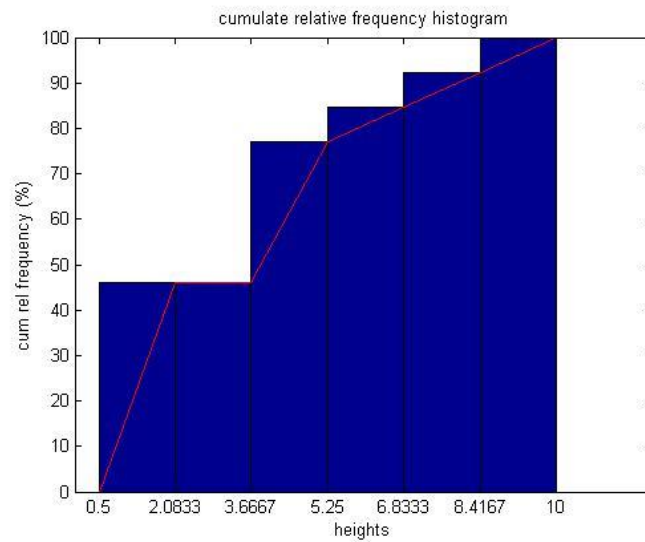
Για το ύψος των νεφών



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα υψών Φεβρουαρίου

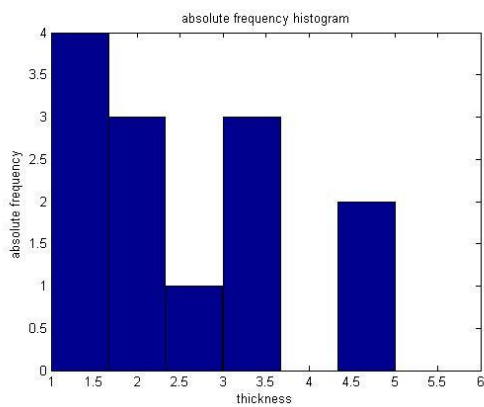


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα ύψους Φεβρουαρίου

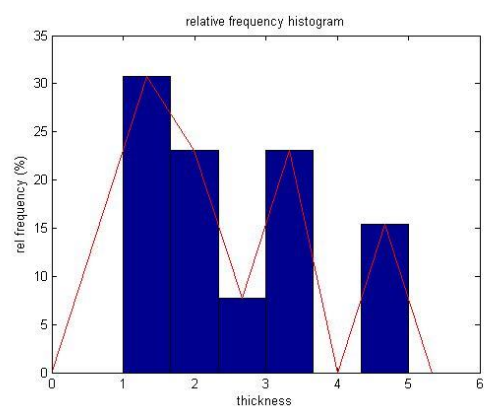


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα ύψους Φεβρουαρίου

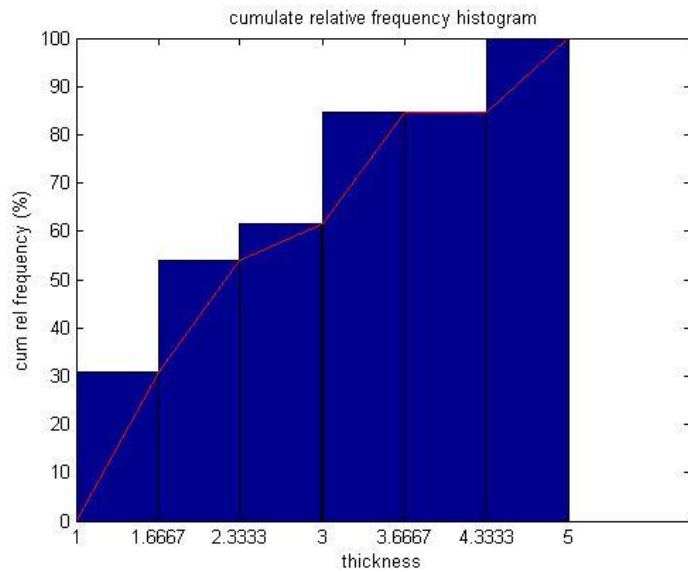
Για το πάχος των νεφών



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα πάχους Φεβρουαρίου

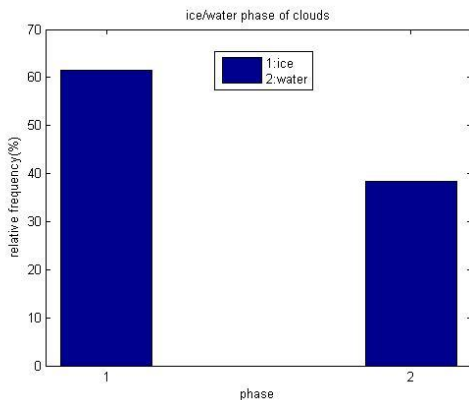


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα πάχους Φεβρουαρίου

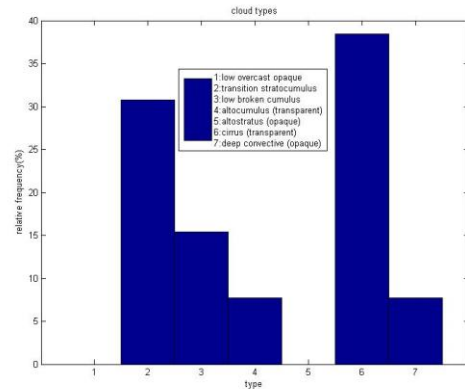


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους Φεβρουαρίου

Για τη φάση και το είδος του νέφους



**Εικόνα 75:** Φάση νέφους Φεβρουαρίου



**Εικόνα 76:** Τύπος νέφους Φεβρουαρίου

**B) Μήνες της Άνοιξης**

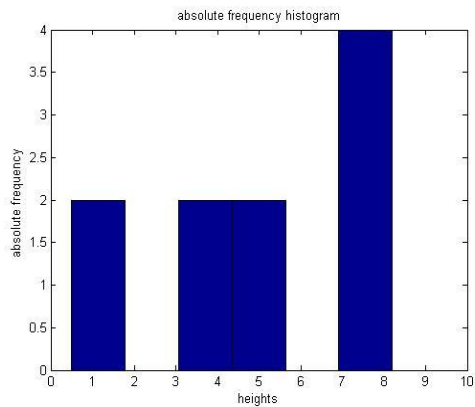
**Μάρτιος**

Στον Πίνακα 13 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλους τους μήνες (Μάρτιο) της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

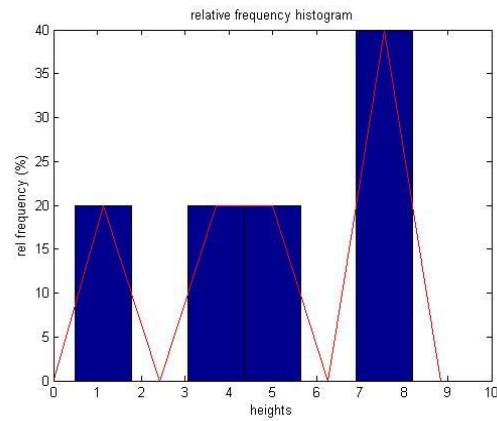
**Πίνακας 13:** Στατιστικά μεγέθη για το Μάρτιο

marmeanlongitude	marmeanlatitude	marmeandataavailability	marcloudinesspercentage
23.7029	38.0012	97.1647	53.3333
marmaxbaseheight	marminbaseheight	marrangebaseheight	marmeanbaseheight
8.2000	0.5000	7.7000	5.0100
marvariancebaseheight	marstddeviationbaseheight	marskewnessbaseheight	markurtosisbaseheight
6.9521	2.6367	-0.4359	1.9614
marmeanthickness	marmaxthickness	marminthickness	marrangethickness
3.2000	7.0000	1.0000	6.0000
marvariancethickness	marstddeviationthickness	marskewnessthickness	markurtosisthickness
4.0756	2.0188	0.4990	2.1887

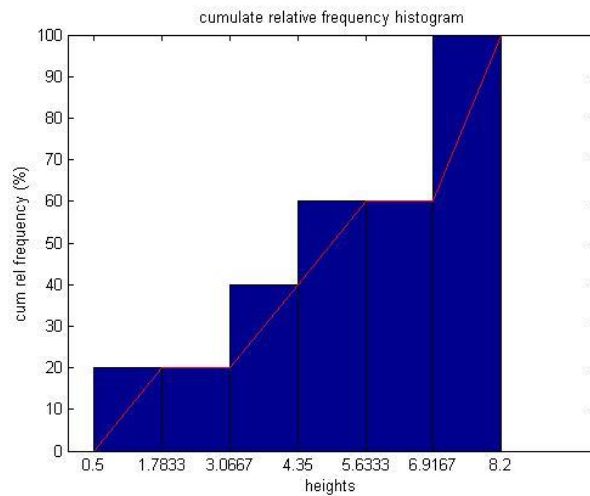
Για το ύψος των νεφών



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα υψών Μαρτίου

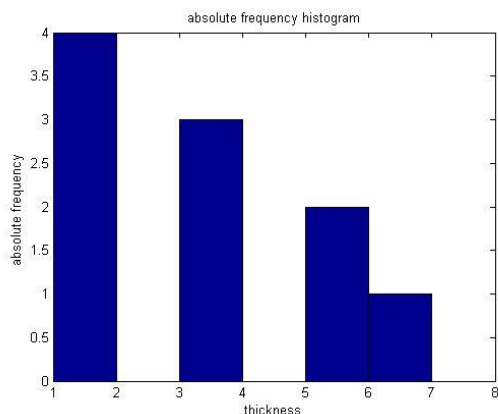


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα υψών Μαρτίου

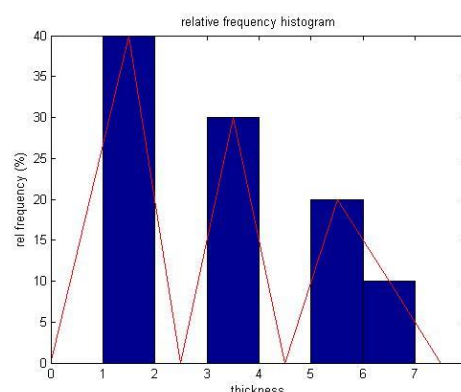


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα ύψους Μαρτίου

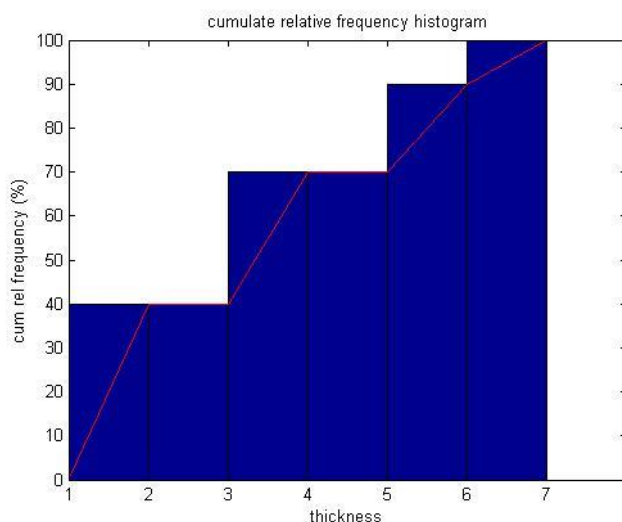
Για το πάχος των νεφών



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα πάχους Μαρτίου

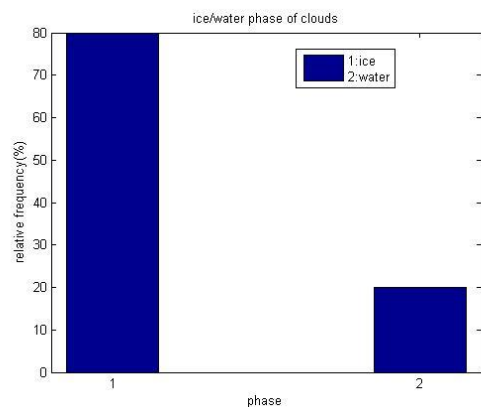


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα πάχους Μαρτίου

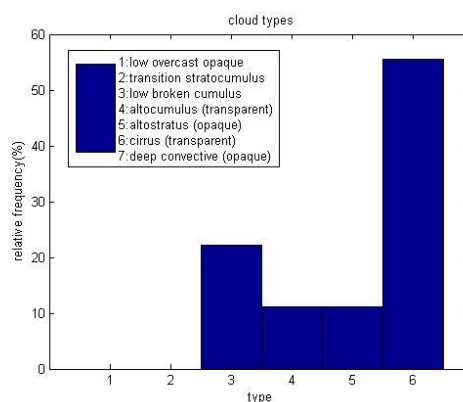


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους Μαρτίου

Για τη φάση και το είδος του νέφους



**Εικόνα 75:** Φάση νέφους Μαρτίου



**Εικόνα 76:** Τύπος νέφους Μαρτίου

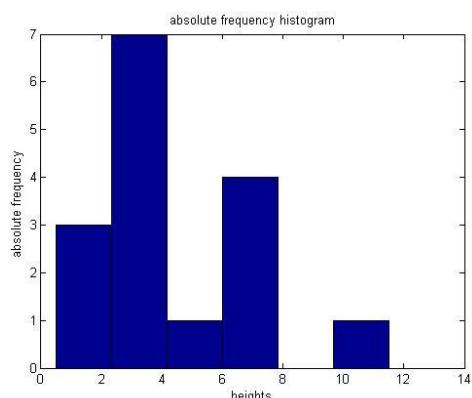
## Απρίλιος

Στον Πίνακα 14 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλους τους μήνες (Απρίλιος) της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

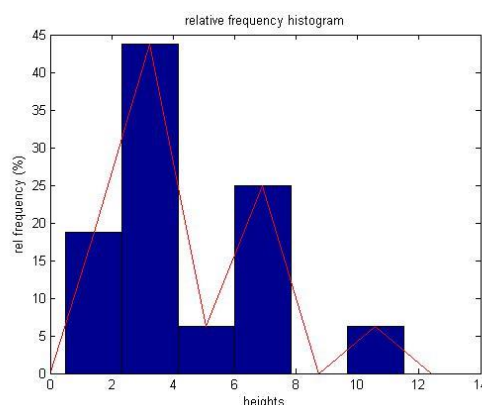
**Πίνακας 14:** Στατιστικά μεγέθη για τον Απρίλιο

aprmeanlongitude	aprmeanlatitude	aprmeandataavailability	aprcloudinesspercentage
23.6662	37.9562	93.6381	70.5882
aprmaxbaseheight	aprminbaseheight	aprrangebaseheight	aprmeanbaseheight
11.5000	0.5000	11.0000	4.3750
aprvariancebaseheight	aprstddeviationbaseheight	aprskewnessbaseheight	aprkurtosisbaseheight
8.3220	2.8848	0.7965	3.4159
aprmeanthickness	aprmaxthickness	aprminthickness	aprrangethickness
3.1937	7.5000	0.5000	7.0000
aprvariancethickness	aprstddeviationthickness	aprskewnessthickness	aprkurtosisthickness
4.4806	2.1167	0.7722	2.6515

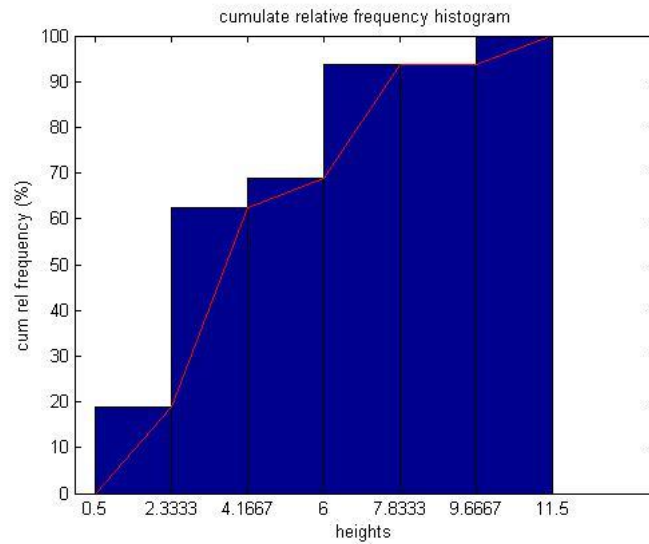
### Για το ύψος των νεφών



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα υψών Απριλίου

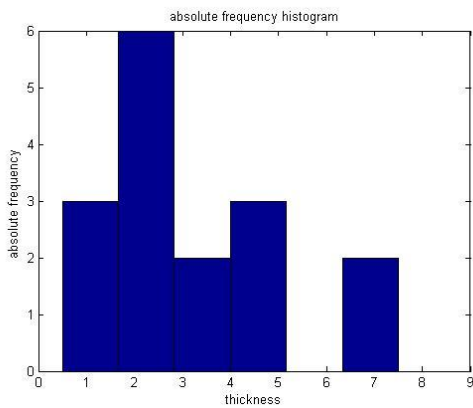


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα ύψους Απριλίου

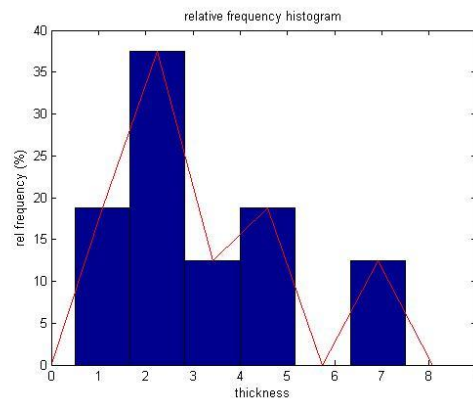


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα ύψους Απριλίου

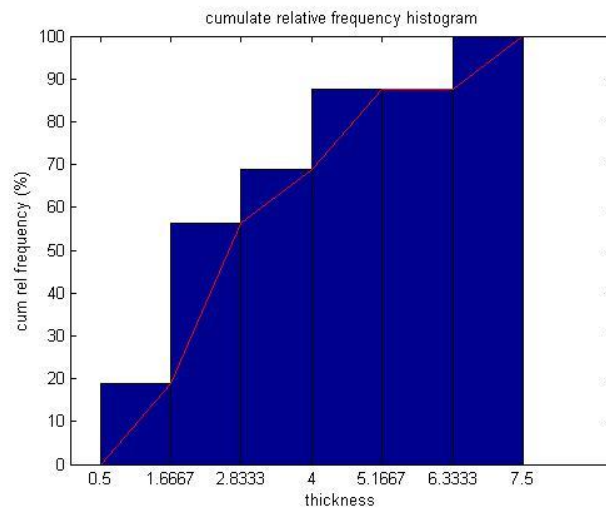
Για το πάχος του νέφους



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα πάχους Απριλίου

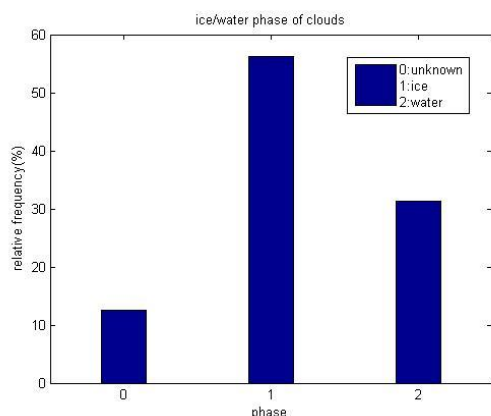


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα πάχους Απριλίου

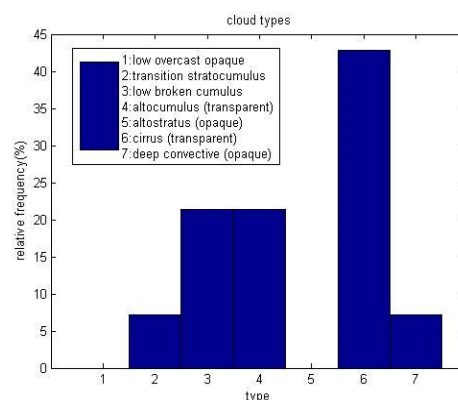


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους Απριλίου

## Για τη φάση και το είδος του νέφους



Εικόνα 75: Φάση νέφους Απριλίου



Εικόνα 76: Τύπος νέφους Απριλίου

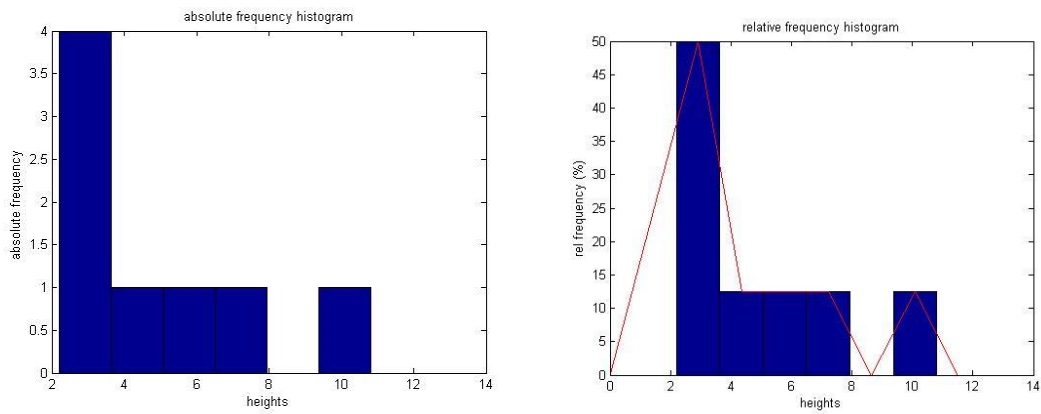
## Μάιος

Στον Πίνακα 15 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλους τους μήνες (Μάιος) της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

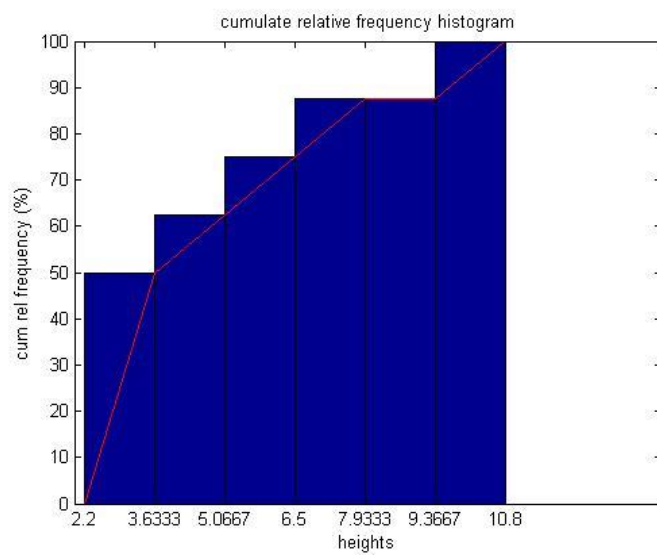
Πίνακας 15: Στατιστικά μεγέθη για τον Μάιο

maymeanlongitude	maymeanlatitude	maymeandataavailability	maycloudinesspercentage
23.6560	38.0055	99.4050	36.8421
maymaxbaseheight	mayminbaseheight	mayrangebaseheight	maymeanbaseheight
10.8000	2.2000	8.6000	4.8375
mayvariancebaseheight	maystddeviationbaseheight	mayskewnessbaseheight	maykurtosisbaseheight
9.9484	3.1541	0.8967	2.4463
maymeanthickness	maymaxthickness	mayminthickness	mayrangethickness
1.7500	2.8000	1.0000	1.8000
mayvariancethickness	maystddeviationthickness	mayskewnessthickness	maykurtosisthickness
0.3371	0.5806	0.2692	2.6661

Για το ύψος του νέφους

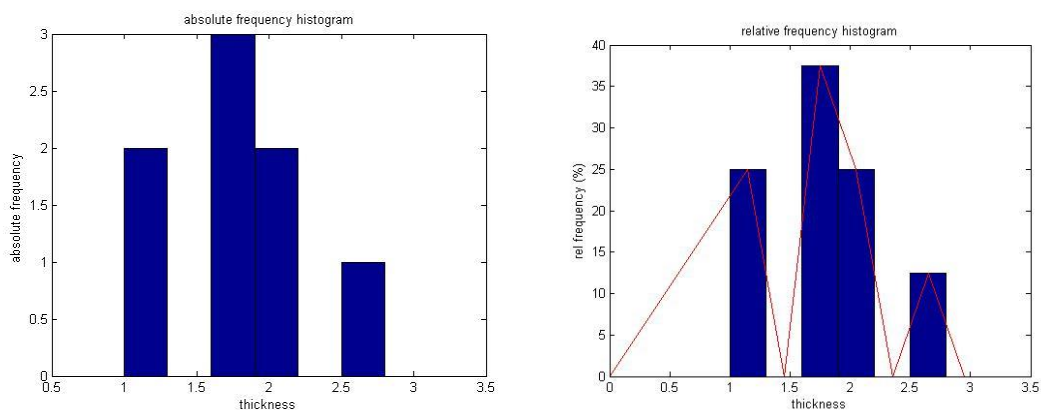


**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα υψών Μαΐου **Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα υψών Μαΐου



**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα ύψους Μαΐου

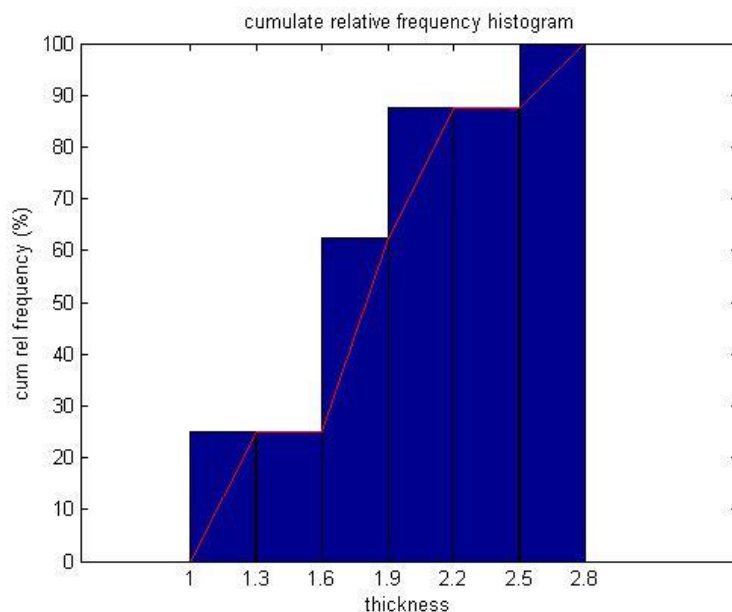
Για το πάχος του νέφους



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα πάχους Μαΐου

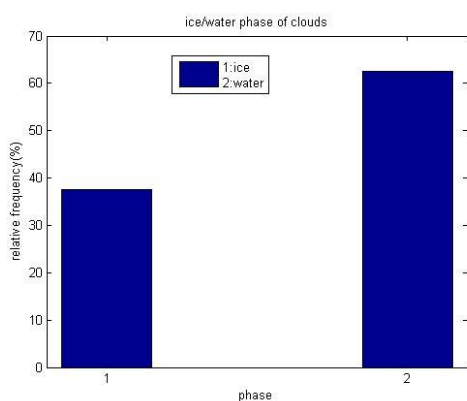
**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα πάχους Μαΐου



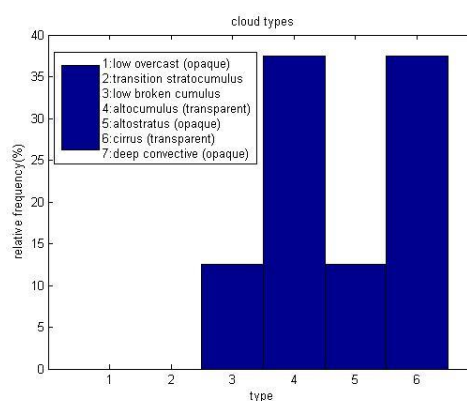


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους Μαΐου

Για τη φάση και το είδος του νέφους



**Εικόνα 75:** Φάση νέφους Μαΐου



**Εικόνα 76:** Τύπος νέφους Μαΐου

**Γ) Μήνες του Καλοκαιριού**

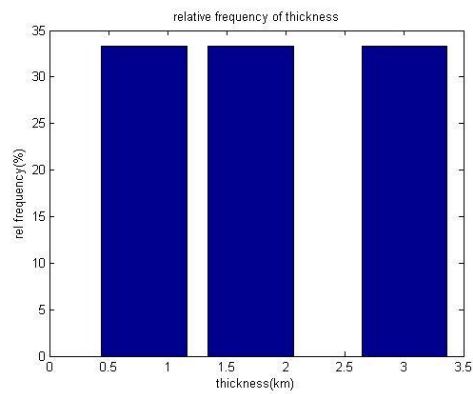
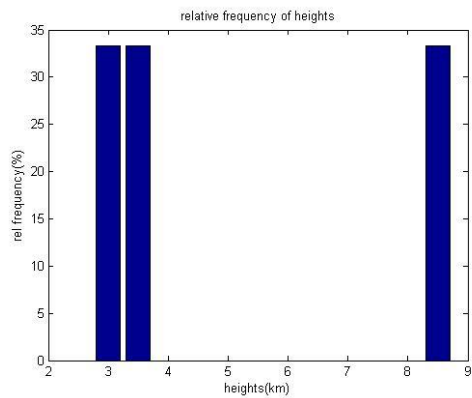
**Ιούνιος**

Στον Πίνακα 16 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλους τους μήνες (Ιούνιος) της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

**Πίνακας 16:** Στατιστικά μεγέθη για τον Ιούνιο

junmeanlongitude	junmeanlatitude	junmeandataavailability	juncloudinesspercentage
23.6467	37.9753	99.3200	20.0000
junmaxbaseheight	junminbaseheight	junrangebaseheight	junmeanbaseheight
8.5000	3.0000	5.5000	5.0000
junvariancebaseheight	junstddeviationbaseheight	junskewnessbaseheight	junkurtosisbaseheight
9.2500	3.0414	0.6857	1.5000
junmeanthickness	junmaxthickness	junminthickness	junrangethickness
1.8333	3.0000	0.8000	2.2000
junvariancethickness	junstddeviationthickness	junskewnessthickness	junkurtosisthickness
1.2233	1.1060	0.2182	1.5000

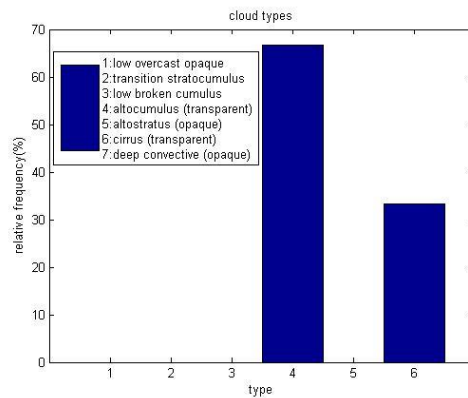
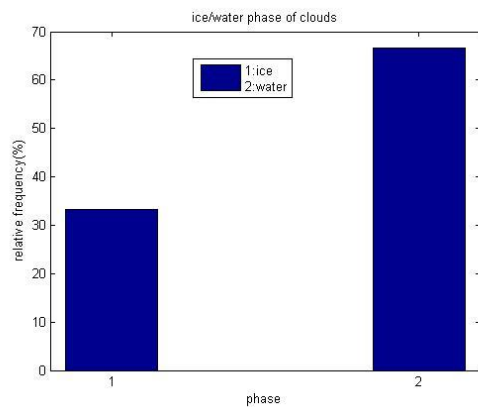
Για το ύψος και το πάχος των νεφών



**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα ύψους Ιουνίου

**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα πάχους Ιουνίου

Για τη φάση και το είδος των νεφών



**Εικόνα 75:** Φάση νέφους Ιουνίου

**Εικόνα 76:** Τύπος νέφους Ιουνίου

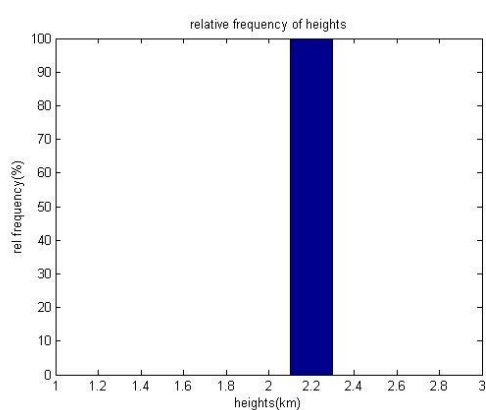
## Ιούλιος

Στον Πίνακα 17 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλους τους μήνες (Ιούλιος) της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

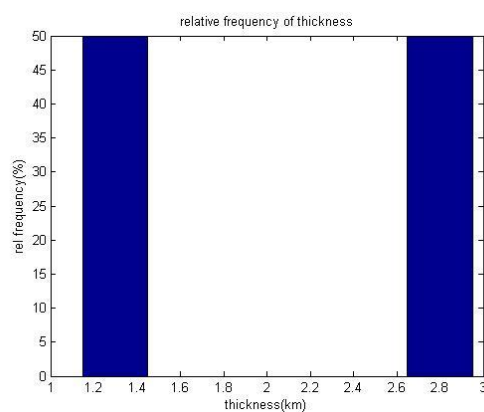
**Πίνακας 17:** Στατιστικά μεγέθη για τον Ιούλιο

julmeanlongitude	julmeanlatitude	julmeandataavailability	julcloudinesspercentage
23.6641	38.0012	95.7647	11.7647
julmaxbaseheight	julminbaseheight	julrangebaseheight	julmeanbaseheight
2.2000	2.2000	0.0000	2.2000
julvariancebaseheight	julstddeviationbaseheight	julskewnessbaseheight	julkurtosisbaseheight
0.0000	0.0000	NaN	NaN
julmeanthickness	julmaxthickness	julminthickness	julrangethickness
2.0500	2.8000	1.3000	1.5000
julvariancethickness	julstddeviationthickness	julskewnessthickness	julkurtosisthickness
1.1250	1.0607	0.0000	1.0000

### Για το ύψος και πάχος των νεφών

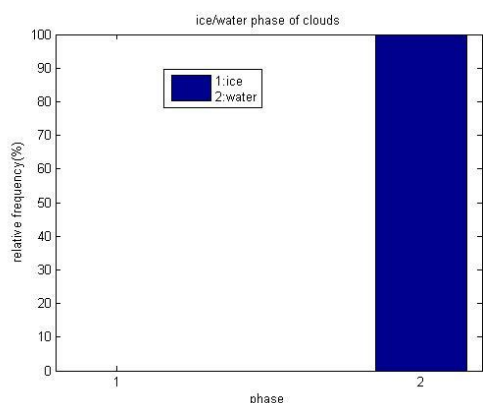


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα ύψους Ιουλίου

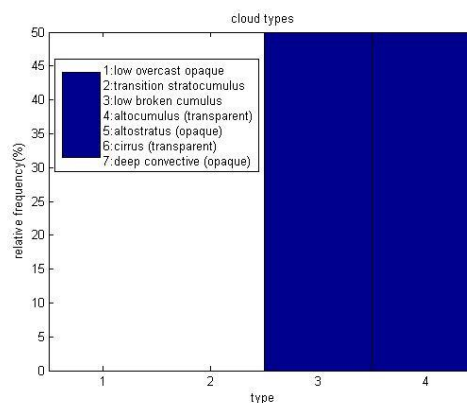


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα πάχους Ιουλίου

## Για τη φάση και το είδος των νεφών



**Εικόνα 75:** Φάση νέφους Ιουλίου



**Εικόνα 76:** Τύπος νέφους Ιουλίου

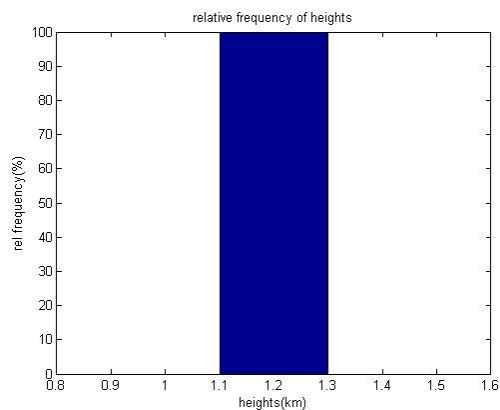
## **Αύγουστος**

Στον Πίνακα 18 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλους τους μήνες (Αύγουστος) της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

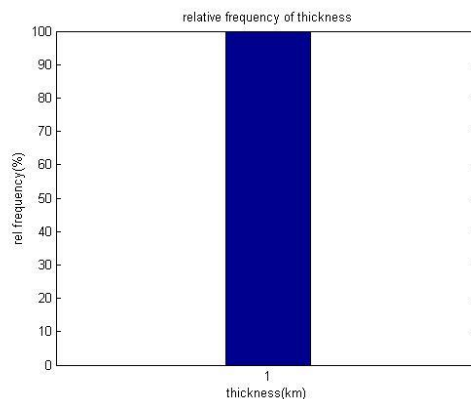
**Πίνακας 18:** Στατιστικά μεγέθη για τον Αύγουστο

augmeanlongitude	augmeanlatitude	augmeandataavailability	augcloudinesspercentage
23.6395	38.0074	96.7368	5.2632
augmaxbaseheight	augminbaseheight	augrangebaseheight	augmeanbaseheight
1.2000	1.2000	0.0000	1.2000
augvariancebaseheight	augstddeviationbaseheight	augskewnessbaseheight	augkurtosisbaseheight
0.0000	0.0000	NaN	NaN
augmeanthickness	augmaxthickness	augminthickness	augrangethickness
1.0000	1.0000	1.0000	0.0000
augvariancethickness	augstddeviationthickness	augskewnessthickness	augkurtosisthickness
0.0000	0.0000	NaN	NaN

## Για το ύψος και το πάχος των νεφών

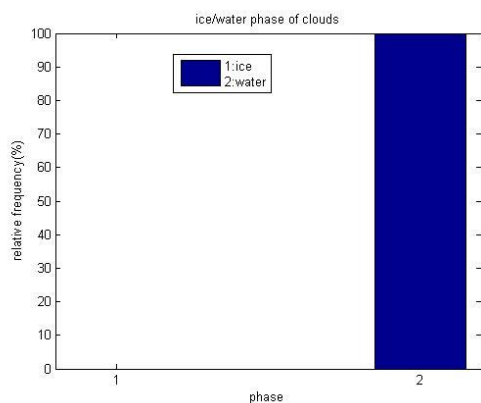


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα ύψους Αυγούστου

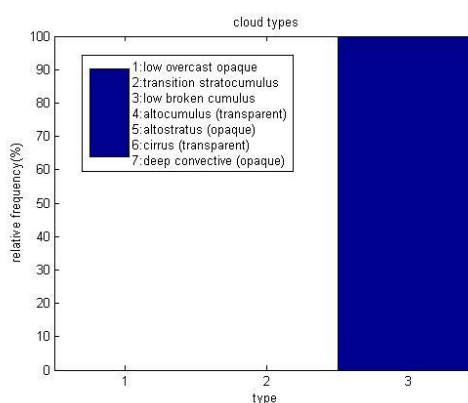


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα πάχους Αυγούστου

Για τη φάση και το είδος των νεφών



**Εικόνα 75:** Φάση νέφους Αυγούστου



**Εικόνα 76:** Τύπος νέφους Αυγούστου

**Δ) Μήνες του Φθινοπώρου**

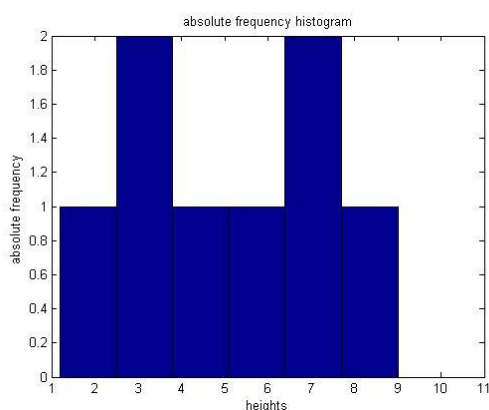
**Σεπτέμβριος**

Στον Πίνακα 19 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλους τους μήνες (Σεπτέμβριος) της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

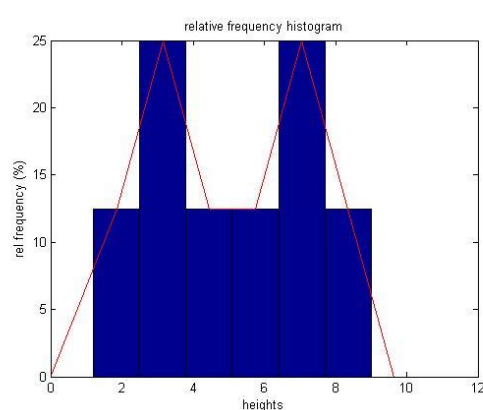
**Πίνακας 19:** Στατιστικά μεγέθη για το Σεπτέμβριο

sepmeanlongitude	sepmeanlatitude	sepmeandataavailability	sepcloudinesspercentage
23.6557	37.9907	98.3714	53.8462
sepmaxbaseheight	sepminbaseheight	seprangebaseheight	sepmeanbaseheight
9.0000	1.2000	7.8000	5.0625
sepvariancebaseheight	sepsdddeviationbaseheight	sepskewnessbaseheight	sepkurtosisbaseheight
6.9684	2.6398	0.0232	1.8548
sepmeanthickness	sepmaxthickness	sepminthickness	seprangethickness
2.6500	5.0000	1.2000	3.8000
sepvariancethickness	sepsdddeviationthickness	sepskewnessthickness	sepkurtosisthickness
1.5771	1.2558	0.8654	2.5677

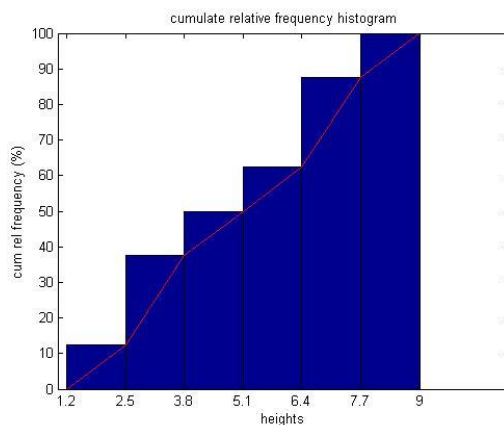
Για το ύψος των νεφών



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα ύψους Σεπτεμβρίου

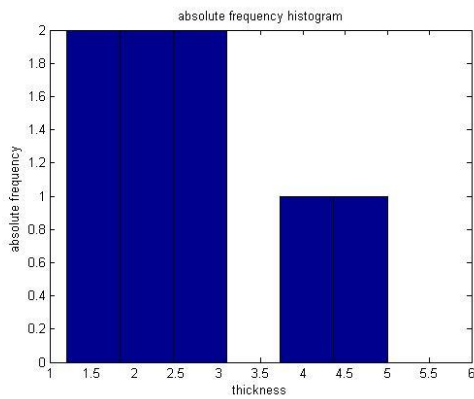


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα ύψους Σεπτεμβρίου

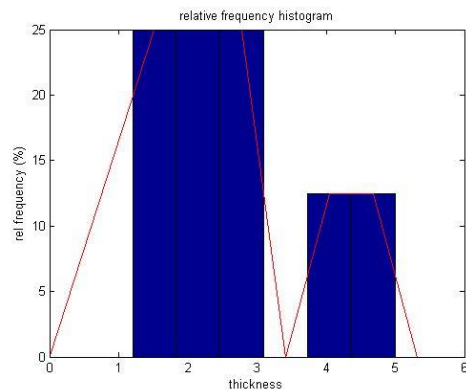


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα ύψους Σεπτεμβρίου

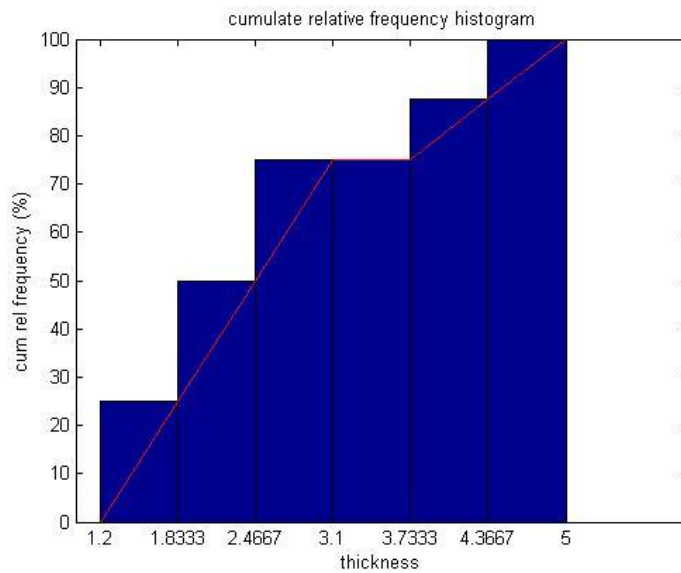
Για το πάχος των νεφών



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα πάχους Σεπτεμβρίου

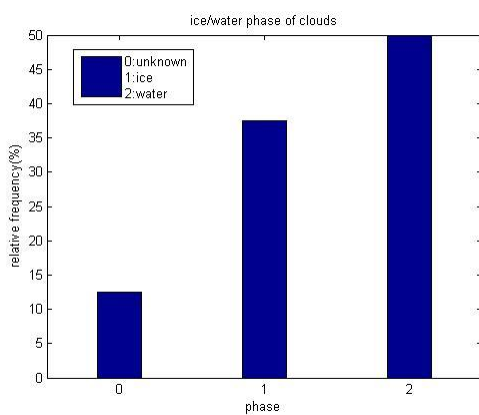


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα πάχους Σεπτεμβρίου

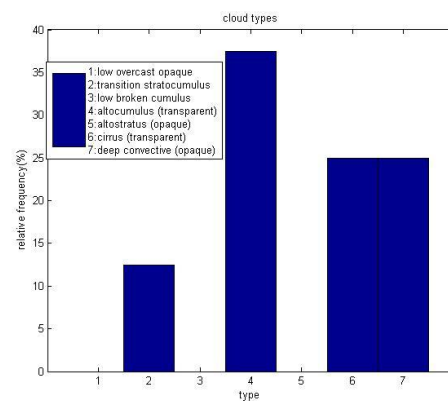


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους Σεπτεμβρίου

Για τη φάση και το είδος των νεφών



**Εικόνα 75:** Φάση νέφους Σεπτεμβρίου



**Εικόνα 76:** Τύπος νέφους Σεπτεμβρίου

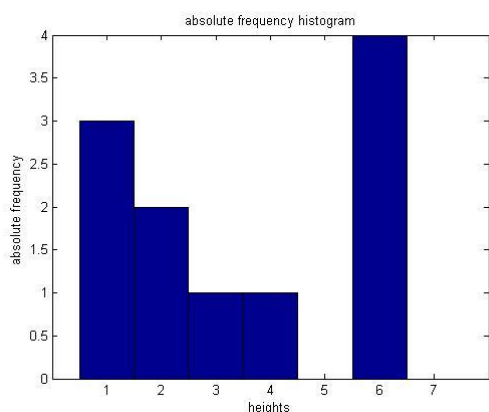
## Οκτώβριος

Στον Πίνακα 20 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλους τους μήνες (Οκτώβριος) της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

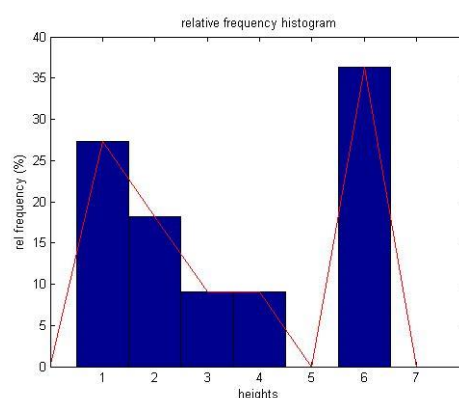
**Πίνακας 20:** Στατιστικά μεγέθη για τον Οκτώβριο

octmeanlongitude	octmeanlatitude	octmeandataavailability	octcloudinesspercentage
23.6521	38.0311	99.3895	52.9412
octmaxbaseheight	octminbaseheight	octrangebaseheight	octmeanbaseheight
6.5000	0.5000	6.0000	3.3000
octvariancebaseheight	octstddeviationbaseheight	octskewnessbaseheight	octkurtosisbaseheight
5.5880	2.3639	0.2910	1.4167
octmeanthickness	octmaxthickness	octminthickness	octrangethickness
3.2000	5.7000	1.0000	4.7000
octvariancethickness	octstddeviationthickness	octskewnessthickness	octkurtosisthickness
2.5440	1.5950	0.0237	1.7524

### Για το ύψος των νεφών

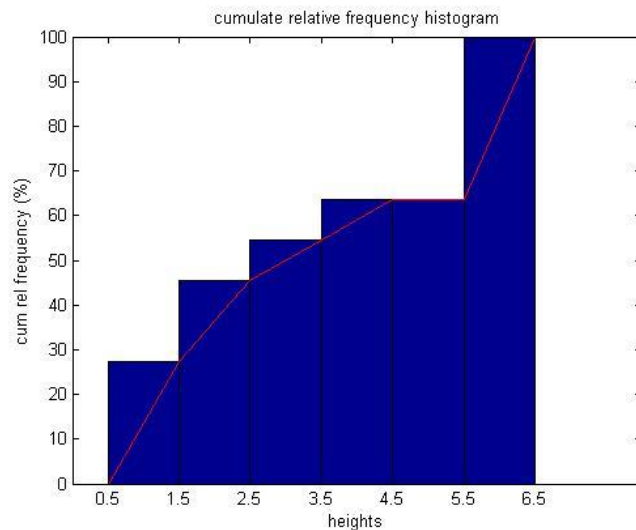


**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα ύψους Οκτωβρίου



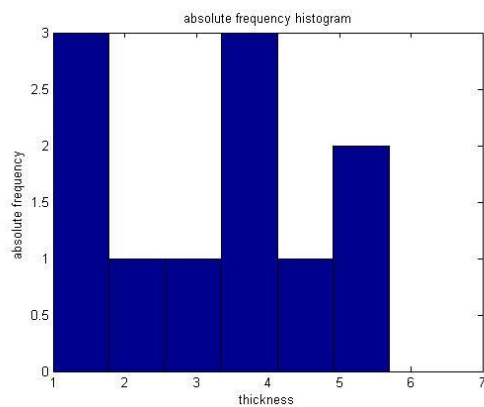
**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα ύψους Οκτωβρίου



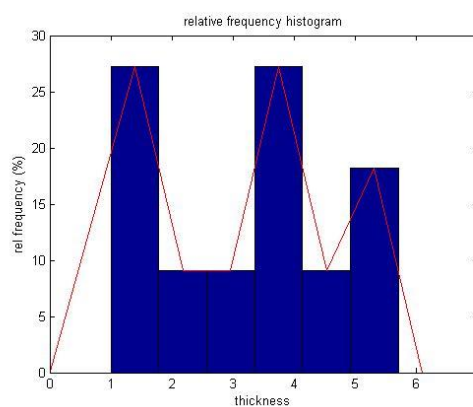


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα ύψους Οκτωβρίου

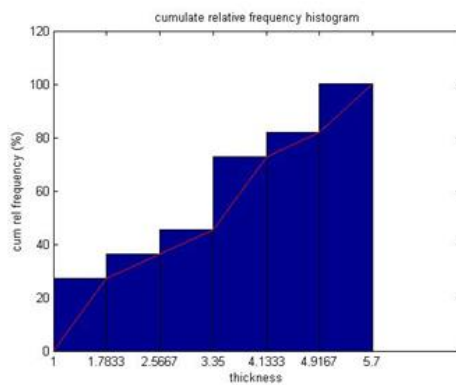
Για το πάχος των νεφών



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα πάχους Οκτωβρίου

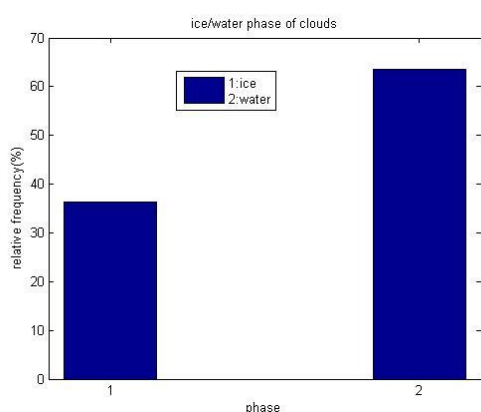


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα πάχους Οκτωβρίου

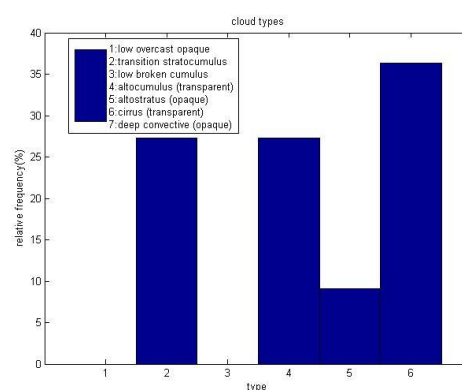


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους Οκτωβρίου

## Για τη φάση και το είδος των νεφών



Εικόνα 75: Φάση νέφους Οκτωβρίου



Εικόνα 76: Τύπος νέφους Οκτωβρίου

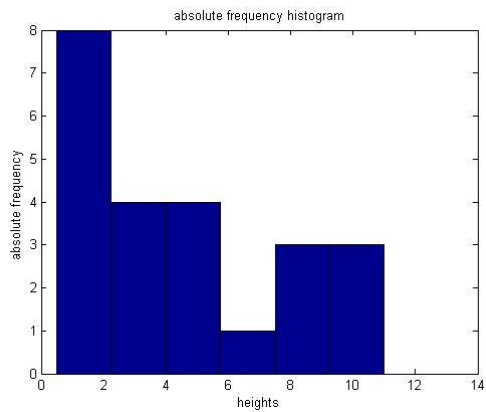
## Νοέμβριος

Στον Πίνακα 21 παρουσιάζουμε τα μέτρα θέσης και μεταβλητότητας. Η πρώτη γραμμή αφορά τις συντεταγμένες, τη διαθεσιμότητα και το ποσοστό νέφωσης για όλους τους μήνες (Νοέμβριος) της δεκαετίας. Η δεύτερη και η τρίτη αφορά το ύψος βάσης του νέφους και οι δύο τελευταίες γραμμές αφορούν το πάχος του νέφους. Όλα τα αυτά τα μεγέθη είναι χρήσιμα για την ερμηνεία των διαγραμμάτων που ακολουθούν αμέσως μετά.

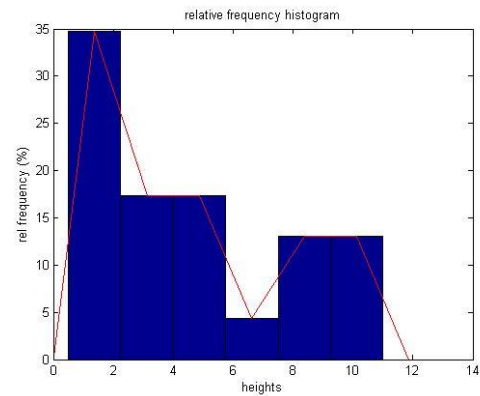
Πίνακας 21: Στατιστικά μεγέθη για το Νοέμβριο

novmeanlongitude	novmeanlatitude	novmeandataavailability	novcloudinesspercentage
23.7129	38.0025	97.8792	94.1176
novmaxbaseheight	novminbaseheight	novrangebaseheight	novmeanbaseheight
11.0000	0.5000	10.5000	4.4304
novvariancebaseheight	novstddeviationbaseheight	novskewnessbaseheight	novkurtosisbaseheight
11.4249	3.3801	0.4325	1.9123
novmeanthickness	novmaxthickness	novminthickness	novrangethickness
2.1870	7.0000	0.7000	6.3000
novvariancethickness	novstddeviationthickness	novskewnessthickness	novkurtosisthickness
2.8094	1.6761	1.6197	4.7825

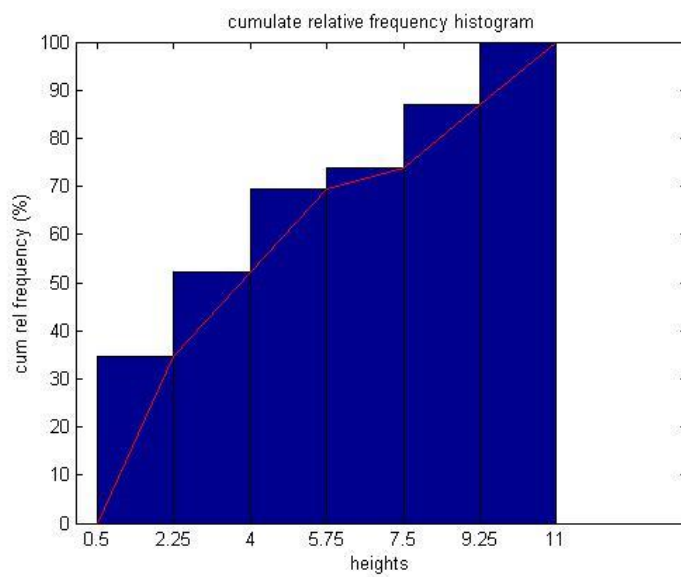
## Για το ύψος των νεφών



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα ύψους Νοεμβρίου

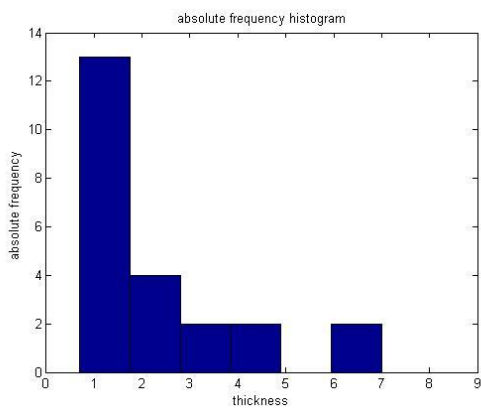


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα ύψους Νοεμβρίου

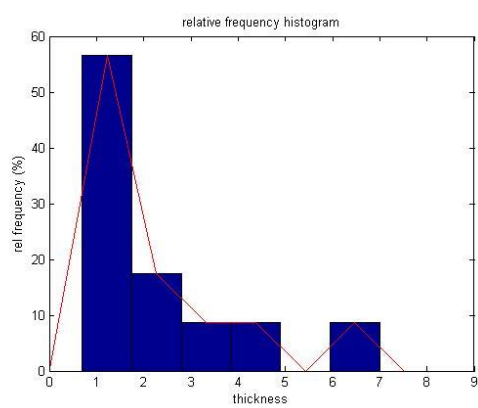


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα ύψους Νοεμβρίου

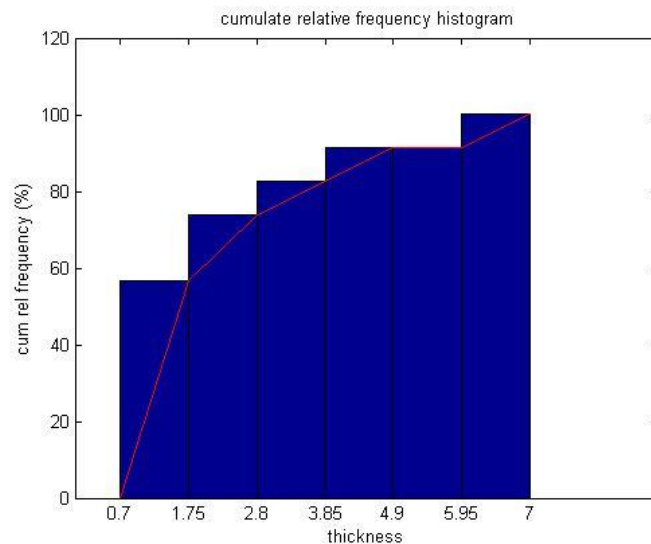
Για το πάχος των νεφών



**Εικόνα 68:** Απόλυτη συχνότητα πάχους Νοεμβρίου

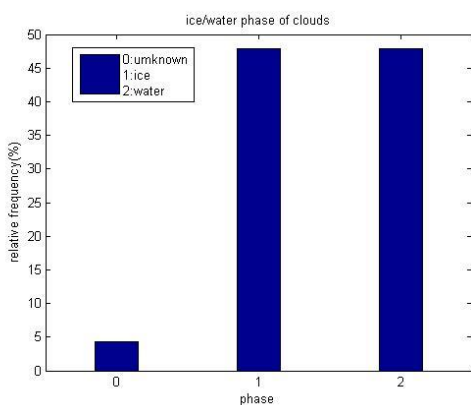


**Εικόνα 73:** Σχετική συχνότητα πάχους Νοεμβρίου

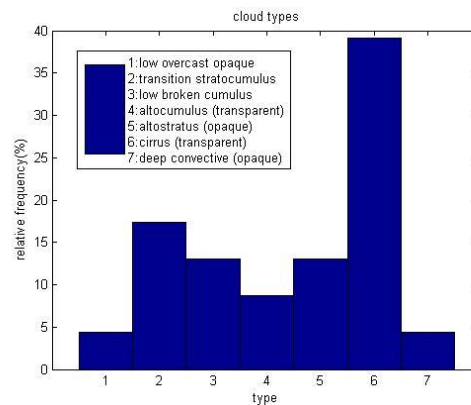


**Εικόνα 74:** Αθροιστική σχετική συχνότητα πάχους Νοεμβρίου

Για τη φάση και το είδος των νεφών



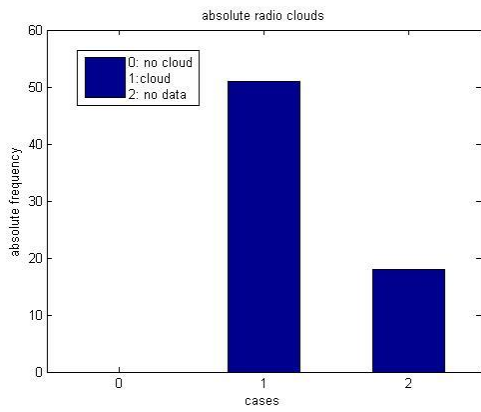
**Εικόνα 75:** Φάση νέφους Νοεμβρίου



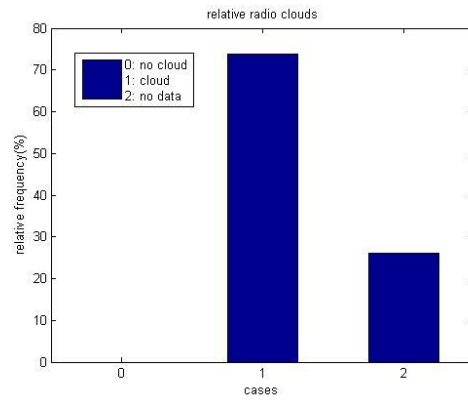
**Εικόνα 76:** Τύπος νέφους Νοεμβρίου

**5.4) Σύγκριση με δεδομένα ραδιοβόλισης**

Μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα να δούμε εάν οι δύο μέθοδοι καταγραφής νεφών, η καταγραφή τους από το δορυφόρο CALIOP και η ραδιοβόλιση, με τη βοήθεια των διαγραμμάτων skew T plot με τις καμπύλες πραγματικής θερμοκρασίας και θερμοκρασίας κόρου (dew point), συμφωνούν ως προς τα ευρήματά τους. Αρχικά με τη σύγκριση αυτή εντοπίζονται τυχόν αποκλίσεις. Ακόμα τα συμπεράσματα που θα προκύψουν θα αξιοποιηθούν με σκοπό τη βελτίωση των ίδιων των μεθόδων ενώ συμβάλλουν στην καλύτερη γνώση μας για το τι συμβαίνει στην ατμόσφαιρα. Στα ακόλουθα δύο ραβδογράμματα απόλυτης και σχετικής συχνότητας φαίνεται εάν η ραδιοβόλιση εντοπίζει το σύννεφο που έχει καταγράψει ο δορυφόρος CALIOP.



**Εικόνα 75:** Απόλυτη συχνότητα εντοπισμού νέφους από ραδιοβόλιση



**Εικόνα 76:** Σχετική συχνότητα εντοπισμού νέφους από ραδιοβόλιση

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την 10-ετία που μελετήσαμε το ποσοστό νέφωσης πάνω από την Αθήνα είναι περίπου 50.53%. Η καμπύλη των υψών των νεφών είναι λεπτόκυρτη ( $kurtosis > 0$ ) με δεξιά ασυμμετρία ( $skewness > 0$ ) και τα ύψη των νεφών με την μεγαλύτερη συχνότητα είναι της τάξης των 0.5-4.17 km. Η καμπύλη του πάχους των νεφών είναι επίσης λεπτόκυρτη με δεξιά ασυμμετρία και το πάχος των νεφών με την μεγαλύτερη συχνότητα είναι 0.5-2.93 km. Ωστόσο, προκύπτει ότι τα περισσότερα νέφη είναι τύπου *cirrus*, νέφη που σχηματίζονται σε μεγαλύτερα ύψη. Η εξήγηση για το φαινόμενο αυτό είναι ότι, με βάση των πίνακα των στατιστικών μεγεθών υπάρχουν μεγάλες διασπορές από το μέσο και σημαντική δεξιά ασυμμετρία, επομένως τα ύψη βάσης κατανέμονται σε μεγάλα υψόμετρα χωρίς να σημειώνουν μεγάλες ή μέγιστη συχνότητα. Από το ιστόγραμμα αθροιστικών συχνοτήτων βλέπουμε ότι το 50% είναι ως 3.5-4 km ενώ το υπόλοιπο 50% αποτελείται από μεγαλύτερα ύψη βάσης. Επίσης παρατηρούμε πως το 50% των νεφών που μελετήσαμε περιέχει πάγο και το 45% νερό.

### Στατιστική ανά εποχή

Για την εποχιακή μεταβολή που μελετήσαμε, με βάση το ποσοστό νέφωσης οι εποχές σημειώνονται με φθίνουσα σειρά: χειμώνας (76.60%), φθινόπωρο (67.40%), άνοιξη (52%) και καλοκαίρι (11.76%). Η σειρά είναι αναμενόμενη αφού το χειμώνα και το φθινόπωρο έχουμε τη δημιουργία των περισσότερων νεφών.

Από τους Πίνακες 6 έως 9, παρατηρούμε μεγάλες διασπορές από το μέσο ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζει το ιστόγραμμα αθροιστικών συχνοτήτων. Άρα αναμένουμε ότι άλλα ύψη νεφών θα παρουσιάζουν μέγιστη συχνότητα, αλλά η συνισταμένη των υπολοίπων συγκεντρώνεται σε διαφορετικό ύψος με αποτέλεσμα ο τύπος νέφους να διαφέρει από αυτόν που απαντάται στο ύψος με τη μέγιστη συχνότητα. Για κάθε εποχή οι καμπύλες των υψών και του πάχους είναι λεπτόκυρτες με δεξιά ασυμμετρία, η πλειοψηφία των νεφών είναι τύπου *cirrus* και κατά το χειμώνα και την άνοιξη κυριαρχεί η φάση του πάγου στα νέφη, ενώ το καλοκαίρι και το φθινόπωρο κυριαρχεί η υγρή φάση των νεφών.

Αναλυτικά, τον χειμώνα τα ύψη βάσης των νεφών με την μεγαλύτερη συχνότητα είναι της τάξης των 0.5-2.08 km, με πάχος περίπου 1.4-2.3 km, όμως τα υπόλοιπα κατανέμονται ομοιόμορφα οπότε επικρατούν τα νέφη cirrus και κατόπιν τα stratocumulus, κάτι που είναι αναμενόμενο λόγω των μεγάλων παρατηρούμενων διασπορών. Την Άνοιξη τα ύψη βάσης των νεφών έχουν μεγαλύτερη συχνότητα στα ~2.3-4.16 km και πάχος ~1.6-2.83 km, ενώ τα περισσότερα νέφη είναι τύπου cirrus και επικρατεί ο πάγος.

Αναλυτικά, κατά το χειμώνα και το φθινόπωρο τα ύψη βάσης των νεφών έχουν μεγαλύτερη συχνότητα στα 0.5-2.25 km και πάχος στα 0.7-1.75 km τα περισσότερα νέφη είναι alto-stratocumulus και επικρατεί η υγρή φάση. Για το καλοκαίρι έχουμε μόλις 6 τιμές για επεξεργασία. Τα ύψη βάσης των νεφών έχουν μεγαλύτερη συχνότητα στα 1.2-2.4 km και πάχος στα 0.8-1.16 km, ενώ τα περισσότερα νέφη είναι altocumulus και επικρατεί η υγρή φάση.

### **Στατιστική ανά μήνα**

Με βάση το ποσοστό ύπαρξης νέφωσης οι μήνες σημειώνονται με φθίνουσα σειρά: Νοέμβριος (94.12%), Δεκέμβριος (83.3%), Ιανουάριος (76.47%), Απρίλιος (70.59%), Φεβρουάριος (69.23%), Σεπτέμβριος (53.85%), Μάρτιος (53.3%), Οκτώβριος (52.94%), Μάιος (36.84%) Ιούνιος (20%), Ιούλιος (11.77%) και Αύγουστος (5.26%).

Από τους Πίνακες 10-21 παρατηρούμε ότι σημειώνονται μεγάλες διασπορές από το μέσο, ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζει το ιστόγραμμα αθροιστικών συχνοτήτων. Άρα αναμένουμε ότι άλλα ύψη θα παρουσιάζουν μέγιστη συχνότητα, αλλά η συνισταμένη των υπολοίπων συγκεντρώνεται σε διαφορετικό ύψος με αποτέλεσμα ο τύπος νέφους να διαφέρει από αυτόν που απαντάται στο ύψος με τη μέγιστη συχνότητα.

Για κάθε μήνα οι καμπύλες των υψών και του πάχους είναι λεπτόκυρτες με δεξιά ασυμμετρία με μόνη εξαίρεση την καμπύλη υψών κατά τον Μάρτιο που παρουσιάζει αριστερή ασυμμετρία, η πλειοψηφία των νεφών είναι τύπου cirrus και μετά cumulus. Δείχνει να κυριαρχεί η φάση του πάγου 7/12 μήνες, υγρή φάση έχουν τα νέφη για τους 4/12 μήνες (Μάιος-Ιούλιος, Σεπτέμβριος), ενώ για το Νοέμβριο πάγος και νερό έχουν το ίδιο ποσοστό.

Αναλυτικά, ξεκινώντας από τους χειμερινούς μήνες έχουμε: για το Δεκέμβριο τα ύψη βάσης των νεφών έχουν μεγαλύτερη συχνότητα στα 0.5-2.08 km και πάχος στα 0.5-2.08 km επικρατούν τα cirrus και κατόπιν τα stratocumulus. Τον Ιανουάριο τα ύψη βάσης των νεφών έχουν μεγαλύτερη συχνότητα στα 0.5-2 km και πάχος στα 0.7-1.58 km και τα περισσότερα νέφη είναι cirrus. Τον Φεβρουάριο τα ύψη βάσης των νεφών έχουν μεγαλύτερη συχνότητα στα 0.5-2 km και πάχος στα 1-1.6 km και τα περισσότερα νέφη είναι cirrus και stratocumulus.

Τον Μάρτιο τα ύψη βάσης των νεφών έχουν μεγαλύτερη συχνότητα στα 6.97-8.2 km και πάχος στα 1-4 km επικρατούν τα cirrus. Τον Απρίλιο τα ύψη βάσης των νεφών έχουν μεγαλύτερη συχνότητα στα 2.3-4 km και πάχος στα 1.6-2.8 km τα περισσότερα νέφη είναι cirrus. Τον Μάιο τα ύψη βάσης των νεφών έχουν μεγαλύτερη συχνότητα στα 2.2-3.6 km και πάχος στα 1.6-1.9 km ,τα περισσότερα νέφη είναι altocumulus και cirrus.

Το πλήθος των τιμών είναι πολύ φτωχό, 3 τον Ιούνιο, 2 τον Ιούλιο, 1 τον Αύγουστο. Τον Ιούνιο τα ύψη βάσης των νεφών είναι στα 3-3.5-8.5 km και πάχος στα 0.7-1.7-3 km επικρατούν τα altocumulus. Τον Ιούλιο τα ύψη βάσης των νεφών είναι στα 2.2 km και πάχος στα 1.3-2.8 km, τα νέφη είναι, κυρίως, cumulus. Τον Αύγουστο το ύψος βάσης των νεφών είναι ~1.2 km και το πάχος είναι ~1 km, ενώ τα νέφη είναι cumulus.

Τον Σεπτέμβριο τα ύψη βάσης των νεφών έχουν μεγαλύτερη συχνότητα στα 2.5-3.8 km και πάχος στα 1.2-3 km επικρατούν τα altocumulus. Για τον Οκτώβριο τα ύψη βάσης των νεφών έχουν μεγαλύτερη συχνότητα στα 6 km και πάχος στα 1.5-2.5 km τα περισσότερα νέφη είναι cirrus. Τον Νοέμβριο τα ύψη βάσης των νεφών έχουν μεγαλύτερη συχνότητα στα 0.5-2.25 km και πάχος στα 0.7-1.75 km, τα περισσότερα νέφη είναι cirrus.



## **Σύγκριση με τη ραδιοβόλιση**

Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα (διαθέσιμα ως προς τη χρονική περίοδο) το 75% των ραδιοβολίσεων εντοπίζει το νέφος που έχει εντοπίσει ο δορυφόρος και το υπόλοιπο 25% αποτελεί έλλειψη δεδομένων από ορισμένο ύψος και πάνω.

## **ΕΠΙΛΟΓΟΣ**

Η πλανήτης μας και η ζωή σε αυτόν αλλάζουν καθημερινά λαμβάνοντας υπόψιν φαινόμενα όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η καταστροφή του όζοντος και τελικά αυτό που ονομάζουμε παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Ο μόνος τρόπος να περιορίσουμε, να διορθώσουμε ή να προβλέψουμε τις δραστηριότητες αυτές ξεκινά με την παρατήρηση και τη μελέτη των φαινομένων που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα.

Τα νέφη είναι σημαντικό μέρος της ατμόσφαιρας και ήδη γνωρίζουμε ότι έχουν αλλάξει με την εμφάνιση και αύξηση του πλήθους των αέριων ρύπων και σωματιδίων. Η ανάγκη για τη μελέτη τους λοιπόν είναι ακόμη μεγαλύτερη σήμερα.

Η παρούσα εργασία είναι μία μελέτη για τα νέφη πάνω από την Αθήνα τη δεκαετία 2006-2016. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν επιβεβαιώνουν και διευρύνουν τις γνώσεις μας για την ατμόσφαιρα. Μαζί με άλλες μελέτες αποτελούν ένα εργαλείο για τη βελτίωση της ζωής μας στο άμεσο μέλλον.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Atkins, P.W., “Physical Chemistry”, Oxford University Press, 1990
- Βόντα, Ι., Α. Καραγρηγορίου, «Εφαρμοσμένη Στατιστική Ανάλυση & Στοιχεία Πιθανοτήτων», Εκδ. Παρασκήνιο Σπύρος Μαρίνης και ΣΙΑ Ο.Ε., 2015
- Γουλτίδης, Χ., «ECDL 4.0 Γρήγορα και Απλά», Εκδ. Κλειδάριθμος, 2004
- Δουλής, Μ., Κ. Ατσάρου, Η. Μαραγκός, «Στατιστική συμπερασματολογία με στατιστικά πακέτα, Τόμοι Ι και ΙΙ», Εκπαιδευτικό υλικό Ινστιτούτου Επιμόρφωσης Εθνικής Σχολής Δημόσιας Διοίκησης, 2008
- Green, H.L., W.R. Lane, “Particulate clouds: Dusts, Smokes and Mists”, London, 1964
- Κατσαφάδος, Π., Η. Μαυροματίδης, «Εισαγωγή στη Φυσική της Ατμόσφαιρας και την Κλιματική Αλλαγή», ΣΕΑΒ, Ε.Μ.Π., 2015
- Κοκολάκης, Γ., Δ. Φουσκάκης, «Στατιστική Θεωρία & Εφαρμογές», Εκδ. Συμεών, 2009
- Λαζαρίδης, Μ., «Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας», Εκδ. Τζιόλα, 2010
- Μακρογιάννης, Τ.Ι., Χ.Σ. Σαχσαμάνογλου, «Μαθήματα Γενικής Μετεωρολογίας», Εκδ. ΧΑΡΙΣ, 2004
- Μελάς, Δ., Α. Μπάης, Δ. Μπαλής, «Ατμοσφαιρική Τεχνολογία», ΣΕΑΒ, Ε.Μ.Π., 2015
- Παπαγεωργίου, Γ.Σ., Χ.Γ. Τσίτουρας, Ι.Θ. Φαμέλης, «Σύγχρονο Μαθηματικό Λογισμικό MATLAB-MATHEMATICA Εισαγωγή και Εφαρμογές», Εκδ. Συμεών, 2004
- Παπαγιάννης, Α., «Φυσική Περιβάλλοντος», Ε.Μ.Π., 2014
- Παρχαρίδης, Ι., «Αρχές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και Εφαρμογές», ΣΕΑΒ, Ε.Μ.Π., 2015
- Στάθης, Δ., «Μαθήματα Δασικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας», ΣΕΑΒ, Ε.Μ.Π., 2015
- Χαλδούπης, Χ., «Εισαγωγή στην Ατμοσφαιρική Φυσική», ΣΕΑΒ, Ε.Μ.Π., 2015

## **WEBSITES**

<https://www-calipso.larc.nasa.gov/about/atrain.php>

[https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse\\_images/production/](https://www-calipso.larc.nasa.gov/products/lidar/browse_images/production/)

<https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/calipso>

[https://eosweb.larc.nasa.gov/project/calipso/calipso\\_table](https://eosweb.larc.nasa.gov/project/calipso/calipso_table)

<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

<http://www.nesdisia.noaa.gov/developingpartnerships.html#cnes>

<https://www.mathworks.com/>

<https://en.wikipedia.org/>

<http://www.wordreference.com/>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΑΘΜΟΥ ΡΑΔΙΟΒΟΛΙΣΗΣ

Ακολουθούν στοιχεία για το σταθμό που γίνεται η ραδιοβόλιση σύμφωνα με τη σελίδα: <http://weather.uwyo.edu/upperair/indices.html>

#### Παράμετροι και Δείκτες του Σταθμού

SLAT Station latitude in degrees

SLON Station longitude in degrees; West longitude is negative

SELV Station elevation in meters

SHOW Showalter index

SHOW =  $T_{500} - T_{parcel}$

$T_{500}$  = Temperature in Celsius at 500 mb

$T_{parce}$  = Temperature in Celsius at 500 mb of a parcel lifted from 850 mb

LIFT Lifted index

LIFT =  $T_{500} - T_{parcel}$

$T_{500}$  = temperature in Celsius of the environment at 500 mb

$T_{parcel}$  = 500 mb temperature in Celsius of a lifted parcel with the average pressure, temperature, and dewpoint of the layer 500 m above the surface

LFTV LIFT computed by using virtual temperature.

SWET SWEAT index

SWET =  $12 * TD_{850} + 20 * TERM2 + 2 * SKT_{850} + SKT_{500} + SHEAR$

$TD_{850}$  = Dewpoint in Celsius at 850 mb

TERM2 = MAX ( TOTL - 49, 0 )

TOTL = Total totals index

SKT<sub>850</sub> = 850 mb wind speed in knots

SKT<sub>500</sub> = 500 mb wind speed in knots

SHEAR =  $125 * [ \sin ( DIR_{500} - DIR_{850} ) + .2 ]$

DIR<sub>500</sub> = 500 mb wind direction

DIR<sub>850</sub> = 850 mb wind direction

KINX K index

KINX =  $( T_{850} - T_{500} ) + TD_{850} - ( T_{700} - TD_{700} )$

$T_{850}$  = Temperature in Celsius at 850 mb

$T_{500}$  = Temperature in Celsius at 500 mb

TD850 = Dewpoint in Celsius at 850 mb

T700 = Temperature in Celsius at 700 mb

TD700 = Dewpoint in Celsius at 700 mb

CTOT Cross Totals index

CTOT = TD850 - T500

TD850 = Dewpoint in Celsius at 850 mb

T500 = Temperature in Celsius at 500 mb

VTOT Vertical Totals index

VTOT = T850 - T500

T850 = Temperature in Celsius at 850 mb

T500 = Temperature in Celsius at 500 mb

TTOT Total Totals index

TOTL = ( T850 - T500 ) + ( TD850 - T500 )

T850 = Temperature in Celsius at 850 mb

TD850 = Dewpoint in Celsius at 850 mb

T500 = Temperature in Celsius at 500 mb

CAPE Convective Available Potential Energy (J/kg)

CAPE = GRAVITY \* SUMP ( DELZ \* ( TP - TE ) / TE )

SUMP = sum over sounding layers from LFCT to EQLV for which ( TP - TE ) is greater than zero

DELZ = incremental depth

TP = temperature of a parcel from the lowest 500 m of the atmosphere, raised dry adiabatically to the LCL and moist adiabatically thereafter

TE = temperature of the environment

CAPV CAPE computed by using the virtual temperature.

CAPV = GRAVITY \* SUMP ( DELZ \* ( TVP - TVE ) / TVE )

SUMP = sum over sounding layers from LFCV to EQTV for which ( TVP - TVE ) is greater than zero

DELZ = incremental depth

TVP = virtual temperature of a parcel from the lowest 500 m of the atmosphere, raised dry adiabatically to the LCL and moist adiabatically thereafter

TVE = virtual temperature of the environment

CINS Convective Inhibition (J/kg)

$$\text{CINS} = \text{GRAVITY} * \text{SUMN} ( \text{DELZ} * ( \text{TP} - \text{TE} ) / \text{TE} )$$

SUMN= sum over sounding layers from top of the mixed layer to LFCT for which ( TP - TE ) is less than zero.

DELZ = incremental depth

TP = temperature of a parcel from the lowest 500 m of the atmosphere, raised dry adiabatically to the LCL and moist adiabatically thereafter

TE = temperature of the environment

CINV CINS computed by using the virtual temperature.

$$\text{CINV} = \text{GRAVITY} * \text{SUMN} ( \text{DELZ} * ( \text{TVP} - \text{TVE} ) / \text{TVE} )$$

SUMN= sum over sounding layers from top of the mixed layer to LFCV for which ( TVP - TVE ) is less than zero.

DELZ = incremental depth

TVP = virtual temperature of a parcel from the lowest 500 m of the atmosphere, raised dry adiabatically to the LCL and moist adiabatically thereafter

TVE = virtual temperature of the environment

EQLV Equilibrium level (hPa)

EQLV = level at which a parcel from the lowest 500 m of the atmosphere is raised dry adiabatically to the LCL and moist adiabatically to a level above which the temperature of the parcel is the same as the environment. If more than one Equilibrium Level exists, the highest one is chosen.

EQTV EQLV computed by using the virtual temperature.

LFCT Level of Free Convection (hPa) by comparing temperature between a parcel and the environment

LFCT = level at which a parcel from the lowest 500 m of the atmosphere is raised dry adiabatically to LCL and moist adiabatically to the level above which the parcel is positively buoyant. If more than one LFCT exists, the lowest level is chosen. If the parcel is positively bouyant throughout the sounding, the LFCT is set to be the same as the LCLP.

LFCV LFCT computed by using the virtual temperature.

BRCH Bulk Richardson number

$$\text{BRCH} = \text{CAPE} / ( 0.5 * \text{U}^{**2} )$$

CAPE = Convective Available Potential Energy

U = magnitude of shear ( u2 - u1, v2 - v1 )

u1,v1 = average u,v in the lowest 500 m

u2,v2 = average u,v in the lowest 6000 m

BRCV BRCH computed by using CAPV

$$BRCV = CAPV / ( 0.5 * U^{**2} )$$

CAPV = CAPE computed by using the virtual temperature.

U = magnitude of shear ( u2 - u1, v2 - v1 )

u1,v1 = average u,v in the lowest 500 m

u2,v2 = average u,v in the lowest 6000 m

LCLT Temperature (K) at the LCL, the lifting condensation level, from an average of the lowest 500 meters.

$$LCLT = [ 1 / ( 1 / ( DWPK - 56 ) + LN ( TMPK / DWPK ) / 800 ) ] + 56$$

LCLP Pressure (hPa) at the LCL, the lifting condensation level, from an average of the lowest 500 meters.

$$LCLP = PRES * ( LCLT / ( TMPC + 273.15 ) ) ** ( 1 / KAPPA )$$

Poisson's equation

MLTH Mean mixed layer THTA (K)

MLTH = average THTA in the lowest 500 m

MLMR Mean mixed layer MIXR (g/kg)

MLMR = average MIXR in the lowest 500 m

THTK 1000 mb to 500 mb thickness (meter)

$$THTK = ( Z500 - Z1000 )$$

Z500 = Height of the 500 mb surface

Z1000 = Height of the 1000 mb surface

PWAT Precipitable water (mm) for the entire sounding.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ ΚΩΔΙΚΕΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATLAB

Σε αυτό το σημείο θα παρουσιάσουμε τους κώδικες του MATLAB που δημιουργήσαμε για τις ανάγκες της εργασίας. Αποτελούνται από τα κύρια run-αρχεία που διαβάζουν τα δεδομένα και πραγματοποιούν στατιστική για το σύνολό τους (run\_meteo\_new), ανά εποχή (run\_season\_meteo\_new), ανά μήνα (run\_winter\_months\_new, run\_spring\_months\_new, run\_summer\_months\_new, run\_autumn\_months\_new) και συνοδεύονται από τα βοηθητικά.

**% run\_meteo\_new : στατιστική για το σύνολο των δεδομένων**

**%Drive Program**

```
clf
hold off
clear all
close all
```

**%read excel**

```
filename='Clouds_meteo_new.xlsx';
[num,txt,raw]=xlsread(filename);
cloud_base_height=num(:,1);
cloud_thickness=num(:,2);
longitude=num(:,3);
latitude=num(:,4);
data_availability=num(:,5);
ice_phase=num(:,6);
cloud_type=num(:,7);
date=txt(:,1);
time=txt(:,2);
```

**%convert f without nan me bash tis times twn cloud height kai thickness  
%to cloud type exei akoma 3 NAN logw eleipshs dedomenwn apo NASA**

```
[nan_index,nan_cloud_base_height]=fnan(cloud_base_height);
[nan_index,nan_cloud_thickness]=fnan(cloud_thickness);
nan_longitude=converttonanf(nan_index,longitude);
nan_latitude=converttonanf(nan_index,latitude);
nan_data_availability=converttonanf(nan_index,data_availability);
nan_ice_phase=converttonanf(nan_index,ice_phase);
nan_cloud_type=converttonanf(nan_index,cloud_type);
nan_date=converttonanf2(nan_index,date);
nan_time=converttonanf2(nan_index,time);
```

**% descriptive statistics for 10 years**

**%about longitude and latitude**

```
tenmeanlongitude=nanmean(longitude)
tenmeanlatitude=nanmean(latitude)
```

**%about data availability from NASA CALIPSO**

```
tenmeandataavailability=nanmean(data_availability)
```

**%percentage of cloudiness**

```
tencloudinesspercentage=cloudiness(cloud_base_height,196)
```

**% statistics about cloud base height**

```
tenmaxbaseheight=nanmax(cloud_base_height)
tenminbaseheight=nanmin(cloud_base_height)
tenrangebaseheight=range(cloud_base_height)
tenmeanbaseheight=nanmean(cloud_base_height)
tenvariancebaseheight=nanvar(cloud_base_height)
tenstddeviationbaseheight=nanstd(cloud_base_height)
tenskewnessbaseheight=skewness(nan_cloud_base_height)
tenkurtosisbaseheight=kurtosis(nan_cloud_base_height)
```

```

%Diagram of heights
for i=1:length(nan_cloud_base_height)
    nofcases(i)=i;
end
A=nan_cloud_base_height;
% A prepei na einai dianusma sthlih alliws den trexei h entolh tsmovavg(A,'s',20,1)
simple = tsmovavg(A,'s',20,1);
[N,d]=fnan(simple);
for i=1:19
    for j=1:i
        B(j)=A(j);
    end
    m(i)=mean(B);
end
mov_average=[m';d];
plot(nofcases,nan_cloud_base_height), xlabel('Case number'),ylabel('cloud heights(km)'),title('diagram
of heights')
hold on
plot(nofcases,mov_average,'r')
hold off

%Histograms and polygons for cloud heights
y=nan_cloud_base_height;
l=length(y);
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:11.5
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency
histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency
histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

```

```

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
tenmeanthickness=nanmean(cloud_thickness)
tenmaxthickness=nanmax(cloud_thickness)
tenminthickness=nanmin(cloud_thickness)
tenrangethickness=range(cloud_thickness)
tenvariancethickness=nanvar(cloud_thickness)
tenstddeviationthickness=nanstd(cloud_thickness)
tenskewnessthickness=skewness(nan_cloud_thickness)
tenkurtosisthickness=kurtosis(nan_cloud_thickness)

%Diagram of thickness
for i=1:length(nan_cloud_thickness)
    nofcases(i)=i;
end
A=nan_cloud_thickness;
% A prepei na einai dianusma sthllh alliws den trexei h entolh tsmovavg(A,'s',20,1)
simple = tsmovavg(A,'s',20,1);
[N,d]=fnan(simple);
for i=1:19
    for j=1:i
        D(j)=A(j);
    end
    k(i)=mean(D)
end
mov_average=[k';d];
figure;
plot(nofcases,nan_cloud_thickness), xlabel('Case number'),ylabel('cloud thickness(km)'),title('diagram of thickness')
hold on
plot(nofcases,mov_average,'r')
hold off

%Histograms and polygons for cloud thickness
y=nan_cloud_thickness
l=length(y)
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:7.8
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%figure;
%hist(y,6), xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency

```

```

figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative
frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of clouds
tbl1=tabulate(nan_ice_phase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nan_ice_phase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.4), xlabel('phase'), ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for cloudtype
tbl1=tabulate(nan_cloud_type);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nan_cloud_type);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type'), ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

% run_season_meteo_new: στατιστική ανά εποχή

%Drive Program
clf
hold off
clear all
close all

%read excel
filename='Clouds_meteo_new.xlsx';
[num,txt,row]=xlsread(filename);
cloud_base_height=num(:,1);
cloud_thickness=num(:,2);
longitude=num(:,3);
latitude=num(:,4);
data_availability=num(:,5);
ice_phase=num(:,6);
cloud_type=num(:,7);

```

```
date=txt(:,1);
time=txt(:,2);
```

```
%Edw kanw diaxwrismo tis metavlites ana epoxh gia ta eth 2006-2016
```

```
%prwta gia to xeimwna
```

```
m=winter(date);
winterheights=seasonconvert(m,cloud_base_height);
winterthickness=seasonconvert(m,cloud_thickness);
winterlongitude=seasonconvert(m,longitude);
winterlatitude=seasonconvert(m, latitude);
winterdataavailability=seasonconvert(m,data_availability);
wintericephase=seasonconvert(m,ice_phase);
wintercloudtype=seasonconvert(m,cloud_type);
winterdate=seasonconvert2(m,date);
wintertime=seasonconvert2(m,time);
```

```
%gia thn anoixh
```

```
m=spring(date);
springheights=seasonconvert(m,cloud_base_height);
springthickness=seasonconvert(m,cloud_thickness);
springlongitude=seasonconvert(m,longitude);
springlatitude=seasonconvert(m, latitude);
springdataavailability=seasonconvert(m,data_availability);
springicephase=seasonconvert(m,ice_phase);
springcloudtype=seasonconvert(m,cloud_type);
springdate=seasonconvert2(m,date);
springtime=seasonconvert2(m,time);
```

```
%gia to kalokairi
```

```
m=summer(date);
summerheights=seasonconvert(m,cloud_base_height);
summerthickness=seasonconvert(m,cloud_thickness);
summerlongitude=seasonconvert(m,longitude);
summerlatitude=seasonconvert(m, latitude);
summerdataavailability=seasonconvert(m,data_availability);
summericephase=seasonconvert(m,ice_phase);
summercloudtype=seasonconvert(m,cloud_type);
summerdate=seasonconvert2(m,date);
summertime=seasonconvert2(m,time);
```

```
%gia to phthinopwro
```

```
m=autumn(date);
autumnheights=seasonconvert(m,cloud_base_height);
autumnthickness=seasonconvert(m,cloud_thickness);
autumnllongitude=seasonconvert(m,longitude);
autumnllatitude=seasonconvert(m, latitude);
autumndataavailability=seasonconvert(m,data_availability);
autumnicephase=seasonconvert(m,ice_phase);
autumncloudtype=seasonconvert(m,cloud_type);
autumndate=seasonconvert2(m,date);
autumntime=seasonconvert2(m,time);
```

```
%xwris tis nan times gia heights, thickness, ice phase kai cloudtype
```

```
[nan_index,nanwinterheights]=fnaseason(winterheights);
[nan_index,nanwinterthickness]=fnaseason(winterthickness);
[nan_index,nanwintericephase]=fnaseason(wintericephase);
[nan_index,nanwintercloudtype]=fnaseason(wintercloudtype);
```

```
[nan_index,nanspringheights]=fnaseason(springheights);
[nan_index,nanspringthickness]=fnaseason(springthickness);
[nan_index,nanspringicephase]=fnaseason(springicephase);
[nan_index,nanspringcloudtype]=fnaseason(springcloudtype);
```

```
[nan_index,nansummerheights]=fnaseason(summerheights);
[nan_index,nansummerthickness]=fnaseason(summerthickness);
[nan_index,nansummericephase]=fnaseason(summericephase);
```

```

[nan_index,nansummercloudtype]=fnaseason(summercloudtype);

[nan_index,nanautumnheights]=fnaseason(autumnheights);
[nan_index,nanautumnthickness]=fnaseason(autumnthickness);
[nan_index,nanautumnicephase]=fnaseason(autumnicephase);
[nan_index,nanautumncloudtype]=fnaseason(autumncloudtype);

%
%twra tha kanw statistikh analysh gia kathe epoxh ta teleutaia 10 xronia
%
% descriptive statistics for winters of past 10 years

%about longitude and latitude
wintermeanlongitude=nanmean(winterlongitude)
wintermeanlatitude=nanmean(winterlatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
wintermeandataavailability=nanmean(winterdataavailability)

%percentage of cloudiness
wintercloudinesspercentage=cloudiness2(winterheights,47)

% statistics about cloud base height
wintermaxbaseheight=nanmax(winterheights)
winterminbaseheight=nanmin(winterheights)
winterrangebaseheight=range(winterheights)
wintermeanbaseheight=nanmean(winterheights)
wintervariancebaseheight=nanvar(winterheights)
winterstddeviationbaseheight=nanstd(winterheights)
winterskewnessbaseheight=skewness(nanwinterheights)
winterkurtosisbaseheight=kurtosis(nanwinterheights)

%Diagram of heights
for i=1:length(nanwinterheights)
    nofcases(i)=i;
end
A=nanwinterheights';
% A prepei na einai dianusma stlh alliws den trexei h entolh tsmovavg(A,'s',20,1)
simple = tsmovavg(A,'s',7,1);
[N,d]=fnan(simple);
for i=1:6
    for j=1:i
        B(j)=A(j);
    end
    m1(i)=mean(B)
end
mov_average=[m1';d]
plot(nofcases,nanwinterheights), xlabel('Case number'),ylabel('cloud heights(km)'),title('diagram of heights')
hold on
plot(nofcases,mov_average,'r')
hold off

%Histograms and polygons for cloud winterheights
y=nanwinterheights;
l=length(y);
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:10
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
end

```

```

n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
wintermeanthickness=nanmean(winterthickness)
wintermaxthickness=nanmax(winterthickness)
winterminthickness=nanmin(winterthickness)
winterrangethickness=range(winterthickness)
wintervariancethickness=nanvar(winterthickness)
winterstddeviationthickness=nanstd(winterthickness)
winterskewnessthickness=skewness(nanwinterthickness)
winterkurtosisthickness=kurtosis(nanwinterthickness)

%Diagram of thickness
for i=1:length(nanwinterthickness)
    nofcases(i)=i;
end
A=nanwinterthickness';
% A prepei na einai dianusma sthlih alliws den trexei h entolh tsmovavg(A,'s',20,1)
simple = tsmovavg(A,'s',7,1);
[N,d]=fnan(simple);
for i=1:6
    for j=1:i
        D(j)=A(j);
    end
    m1(i)=mean(D)
end
mov_average=[m1';d];
figure;

```

```

plot(nofcases,nanwinterthickness), xlabel('Case number'),ylabel('cloud thickness(km)'),title('diagram of
thickness')
hold on
plot(nofcases,mov_average,'r')
hold off

%Histograms and polygons for cloud winterthickness
y=nanwinterthickness
l=length(y)
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:6
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%figure;
%hist(y,6), xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency
histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative
frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of winter clouds
tbl1=tabulate(nanwintericephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanwintericephase);

```



```

figure;
bar(phase,relfreq,0.3), xlabel('phase') ,ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for winter cloudtype
tbl1=tabulate(nanwintercloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanwintercloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type') ,ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

%
% descriptive statistics for springs of past 10 years
%
%about longitude and latitude
springmeanlongitude=nanmean(springlongitude)
springmeanlatitude=nanmean(springlatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
springmeandataavailability=nanmean(springdataavailability)

%percentage of cloudiness
springcloudinesspercentage=cloudiness2(springheights,50)

% statistics about cloud base height
springmaxbaseheight=nanmax(springheights)
springminbaseheight=nanmin(springheights)
springrangebaseheight=range(springheights)
springmeanbaseheight=nanmean(springheights)
springvariancebaseheight=nanvar(springheights)
springstddeviationbaseheight=nanstd(springheights)
springskewnessbaseheight=skewness(nanspringheights)
springkurtosisbaseheight=kurtosis(nanspringheights)

%Diagram of heights
for i=1:length(nanspringheights)
    nofcases2(i)=i;
end
A=nanspringheights';
% A prepei na einai dianusma stlh alliws den trexei h entolh tsmovavg(A,'s',20,1)
simple = tsmovavg(A,'s',4,1);
[N,d]=fnan(simple);
for i=1:3
    for j=1:i
        E(j)=A(j);
    end
    m2(i)=mean(E);
end
mov_average=[m2';d];
figure;
plot(nofcases2,nanspringheights), xlabel('Case number'),ylabel('cloud heights(km)'),title('diagram of heights')
hold on
plot(nofcases2,mov_average,'r')
hold off

%Histograms and polygons for cloud springheights
y=nanspringheights;
l=length(y);
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:11.5
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else

```

```

        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
springmeanthickness=nanmean(springthickness)
springmaxthickness=nanmax(springthickness)
springminthickness=nanmin(springthickness)
springrangethickness=range(springthickness)
springvariancethickness=nanvar(springthickness)
springstddeviationthickness=nanstd(springthickness)
springskewnessthickness=skewness(nanspringthickness)
springkurtosisthickness=kurtosis(nanspringthickness)

%Diagram of thickness
for i=1:length(nanspringthickness)
    nofcases2(i)=i;
end
A=nanspringthickness';
% A prepei na einai dianusma stlh alliws den trexei h entolh tsmovavg(A,'s',20,1)
simple = tsmovavg(A,'s',4,1);
[N,d]=fnan(simple);
for i=1:3
    for j=1:i
        F(j)=A(j);
    end
    m2(i)=mean(F)
end

```

```

end
mov_average=[m2';d];
figure;
plot(nofcases2,nanspringthickness), xlabel('Case number'),ylabel('cloud thickness(km)'),title('diagram of
thickness')
hold on
plot(nofcases2,mov_average,'r')
hold off

%Histograms and polygons for cloud springthickness
y=nanspringthickness
l=length(y)
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:7.5
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%figure;
%hist(y,6), xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency
histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative
frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of springclouds
tbl1=tabulate(nanspringicephase);

```

```

phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanspringicephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.4), xlabel('phase'), ylabel('relative frequency(%)'), title('ice/water phase of clouds')

%statistics for spring cloudtype
tbl1=tabulate(nanspringcloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanspringcloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type'), ylabel('relative frequency(%)'), title('cloud types')

% descriptive statistics for summers of past 10 years

%about longitude and latitude
summermeanlongitude=nanmean(summerlongitude)
summermeanlatitude=nanmean(summerlatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
summermeandataavailability=nanmean(summerdataavailability)

%percentage of cloudiness
summercloudinesspercentage=cloudiness2(summerheights,51)

% statistics about cloud base height
summermaxbaseheight=nanmax(summerheights)
summerminbaseheight=nanmin(summerheights)
summerrangebaseheight=range(summerheights)
summermeanbaseheight=nanmean(summerheights)
summervariancebaseheight=nanvar(summerheights)
summerstddeviationbaseheight=nanstd(summerheights)
summerkurtosisbaseheight=kurtosis(nansummerheights)

%Diagram of summerheights
for i=1:length(nansummerheights)
    nofcases4(i)=i;
end
average=mean(nansummerheights);
figure;
plot(nofcases4,nansummerheights), xlabel('Case number'), ylabel('cloud heights(km)'), title('diagram of heights')
hold on
fplot('3.4333',[1 6], 'r')
hold off

%Histograms and polygons for cloud summerheights
y=nansummerheights;
l=length(y);
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 1.2:intervalWidth:8.5
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')

```

```

figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
summermeanthickness=nanmean(summerthickness)
summermaxthickness=nanmax(summerthickness)
summerminthickness=nanmin(summerthickness)
summerangethickness=range(summerthickness)
summervariancethickness=nanvar(summerthickness)
summerstddeviationthickness=nanstd(summerthickness)
summerskewnessthickness=skewness(nansummerthickness)
summerkurtosisthickness=kurtosis(nansummerthickness)

%Diagram of summer thickness
for i=1:length(nansummerthickness)
    nofcases4(i)=i;
end
average=mean(nansummerthickness);
figure;
plot(nofcases4,nansummerthickness), xlabel('Case number'),ylabel('cloud thickness(km)'),title('diagram of thickness')
hold on
fplot('1.7667',[1 6],'r')
hold off

%Histograms and polygons for cloud summerthickness
y=nansummerthickness
l=length(y)
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.8:intervalWidth:3
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1

```

```

    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%figure;
%hist(y,6), xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of summerclouds
tbl1=tabulate(nansummericephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nansummericephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.3), xlabel('phase'), ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for summer cloudtype
tbl1=tabulate(nansummercloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nansummercloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type'), ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

%
% descriptive statistics for autumns of past 10 years
%
```

```

%about longitude and latitude
autumnmeanlongitude=nanmean(autumnlongitude)
autumnmeanlatitude=nanmean(autumnlatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
autumnmeandataavailability=nanmean(autumndataavailability)

%percentage of cloudiness
autumncloudinesspercentage=cloudiness2(autumnheights,46)

% statistics about cloud base height
autumnmaxbaseheight=nanmax(autumnheights)
autumnminbaseheight=nanmin(autumnheights)
autumnrangebaseheight=range(autumnheights)
autumnmeanbaseheight=nanmean(autumnheights)
autumnvariancebaseheight=nanvar(autumnheights)
autumnstddeviationbaseheight=nanstd(autumnheights)
autumnskewnessbaseheight=skewness(nanautumnheights)
autumnkurtosisbaseheight=kurtosis(nanautumnheights)

%Diagram of heights
for i=1:length(nanautumnheights)
    nofcases3(i)=i;
end
A=nanautumnheights';
% A prepei na einai dianusma sthllh alliws den trexei h entolh tsmovavg(A,'s',20,1)
simple = tsmovavg(A,'s',6,1);
[N,d]=fnan(simple);
for i=1:5
    for j=1:i
        G(j)=A(j);
    end
    m3(i)=mean(G);
end
mov_average=[m3';d];
figure;
plot(nofcases3,nanautumnheights), xlabel('Case number'),ylabel('cloud heights(km)'),title('diagram of heights')
hold on
plot(nofcases3,mov_average,'r')
hold off

%Histograms and polygons for cloud autumnheights
y=nanautumnheights;
l=length(y);
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:11
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;

```

```

bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency
histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
autumnmeanthickness=nanmean(autumnthickness)
autumnmaxthickness=nanmax(autumnthickness)
autumnminthickness=nanmin(autumnthickness)
autumnrangethickness=range(autumnthickness)
autumnvariancethickness=nanvar(autumnthickness)
autumnstddeviationthickness=nanstd(autumnthickness)
autumnskewnessthickness=skewness(nanautumnthickness)
autumnkurtosisthickness=kurtosis(nanautumnthickness)

%Diagram of thickness
for i=1:length(nanautumnthickness)
    nofcases3(i)=i;
end
A=nanautumnthickness';
% A prepei na einai dianusma sthllh alliws den trexei h entolh tsmovavg(A,'s',20,1)
simple = tsmovavg(A,'s',6,1);
[N,d]=fnan(simple);
for i=1:5
    for j=1:i
        H(j)=A(j);
    end
    m3(i)=mean(H)
end
mov_average=[m3';d];
figure;
plot(nofcases3,nanautumnthickness), xlabel('Case number'),ylabel('cloud thickness(km)'),title('diagram
of thickness')
hold on
plot(nofcases3,mov_average,'r')
hold off

%Histograms and polygons for cloud autumnthickness
y=nanautumnthickness
l=length(y)
numIntervals = 6;

```



```

intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.7:intervalWidth:7.8
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%figure;
%hist(y,6), xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of autmnclouds
tbl1=tabulate(nanautumnicephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanautumnicephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.4), xlabel('phase'), ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for autumn cloudtype
tbl1=tabulate(nanautumncloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanautumncloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type'), ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

```



```

[nan_index,nandeccloudtype]=fnanseason(deccloudtype);

[nan_index,nanjanheights]=fnanseason(janheights);
[nan_index,nanjanthickness]=fnanseason(janthickness);
[nan_index,nanjanicephase]=fnanseason(janicephase);
[nan_index,nanjancloudtype]=fnanseason(jancloudtype);

[nan_index,nanfebheights]=fnanseason(febheights);
[nan_index,nanfebthickness]=fnanseason(febthickness);
[nan_index,nanfebicephase]=fnanseason(febicephase);
[nan_index,nanfebcloudtype]=fnanseason(febcloudtype);

%
%twra tha kanw statistikh analysh gia kathe mhna tou xeimwna ta teleutaia 10 xronia
%
% descriptive statistics for december of past 10 years

%about longitude and latitude
decmeanlongitude=nanmean(declongitude)
decrmeanlatitude=nanmean(declatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
decmeandataavailability=nanmean(decdataavailability)

%percentage of cloudiness
deccloudinesspercentage=cloudiness2(decheights,18)

% statistics about cloud base height
decmaxbaseheight=nanmax(decheights)
decminbaseheight=nanmin(decheights)
decrangebaseheight=range(decheights)
decmeanbaseheight=nanmean(decheights)
decvariancebaseheight=nanvar(decheights)
decstddeviationbaseheight=nanstd(decheights)
decskewnessbaseheight=skewness(nandeccheights)
deckurtosisbaseheight=kurtosis(nandeccheights)

%Histograms and polygons for cloud decheights
y=nandeccheights;
l=length(y);
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:10
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on

```

```

xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
decmeanthickness=nanmean(decthickness)
decmaxthickness=nanmax(decthickness)
decminthickness=nanmin(decthickness)
decrangethickness=range(decthickness)
decvariancethickness=nanvar(decthickness)
decstddeviationthickness=nanstd(decthickness)
decskewnessthickness=skewness(nandecthickness)
deckurtosisthickness=kurtosis(nandecthickness)

%Histograms and polygons for cloud decthickness
y=nandecthickness
l=length(y)
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:5.7
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%figure;
%hist(y,6), xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency
histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative
frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];

```

```

ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of dec clouds
tbl1=tabulate(nandecicephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nandecicephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.3), xlabel('phase') ,ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for dec cloudtype
tbl1=tabulate(nandeccloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nandeccloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type') ,ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

%
% descriptive statistics for january of past 10 years
%
%about longitude and latitude
janmeanlongitude=nanmean(janlongitude)
janmeanlatitude=nanmean(janlatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
janmeandataavailability=nanmean(jandataavailability)

%percentage of cloudiness
jancloudinesspercentage=cloudiness2(janheights,17)

% statistics about cloud base height
janmaxbaseheight=nanmax(janheights)
janminbaseheight=nanmin(janheights)
janrangebaseheight=range(janheights)
janmeanbaseheight=nanmean(janheights)
janvariancebaseheight=nanvar(janheights)
janstddeviationbaseheight=nanstd(janheights)
janskewnessbaseheight=skewness(nanjanheights)
jankurtosisbaseheight=kurtosis(nanjanheights)

%Histograms and polygons for cloud janheights
y=nanjanheights;
l=length(y);

```

```

numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:9.5
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
janmeanthickness=nanmean(janthickness)
janmaxthickness=nanmax(janthickness)
janminthickness=nanmin(janthickness)
janrangethickness=range(janthickness)
janvariancethickness=nanvar(janthickness)
janstddeviationthickness=nanstd(janthickness)
janskewnessthickness=skewness(nanjanthickness)
jankurtosisthickness=kurtosis(nanjanthickness)

%Histograms and polygons for cloud janthickness
y=nanjanthickness
l=length(y)
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals

```

```

x = 0.7:intervalWidth:6
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%figure;
%hist(y,6), xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of jan clouds
tbl1=tabulate(nanjanicephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanjanicephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.3), xlabel('phase'), ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for jan cloudtype
tbl1=tabulate(nanjancloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanjancloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type'), ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

```

```

% descriptive statistics for february of past 10 years

%about longitude and latitude
febmeanlongitude=nanmean(feblongitude)
febmeanlatitude=nanmean(feblatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
febmeandataavailability=nanmean(feldataavailability)

%percentage of cloudiness
febcloudinesspercentage=cloudiness2(febheights,13)

% statistics about cloud base height
febmaxbaseheight=nanmax(febheights)
febminbaseheight=nanmin(febheights)
febrangebaseheight=range(febheights)
febmeanbaseheight=nanmean(febheights)
febvariancebaseheight=nanvar(febheights)
febstddeviationbaseheight=nanstd(febheights)
feb skewnessbaseheight=skewness(nanfebheights)
feb kurtosisbaseheight=kurtosis(nanfebheights)

%Histograms and polygons for cloud feb heights
y=nanfebheights;
l=length(y);
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:10
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency
histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency
histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

```



```

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
febmeanthickness=nanmean(febthickness)
febmaxthickness=nanmax(febthickness)
febminthickness=nanmin(febthickness)
febrangethickness=range(febthickness)
febvariancethickness=nanvar(febthickness)
febstddeviationthickness=nanstd(febthickness)
feb skewnessthickness=skewness(nanfebthickness)
feb kurtosisthickness=kurtosis(nanfebthickness)

%Histograms and polygons for cloud febtickness
y=nanfebtickness
l=length(y)
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 1:intervalWidth:5
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%figure;
%hist(y,6), xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon

```

```

for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of feb clouds
tbl1=tabulate(nanfebicephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanfebicephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.3), xlabel('phase') ,ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for feb cloudtype
tbl1=tabulate(nanfebcloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanfebcloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type') ,ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
% run_spring_months_new: στατιστική για τους μήνες της άνοιξης

%Drive Program
clf
hold off
clear all

%read excel
filename='Clouds_meteo_new.xlsx';
[num,txt,row]=xlsread(filename);
cloud_base_height=num(:,1);
cloud_thickness=num(:,2);
longitude=num(:,3);
latitude=num(:,4);
data_availability=num(:,5);
ice_phase=num(:,6);
cloud_type=num(:,7);
date=txt(:,1);
time=txt(:,2);

%Edw kanw diaxwrismo tis metavlites ana mhna gia ta eth 2006-2016
% gia tous mhnes ths anoixhs march, april, may

% march
m=march(date);
marheights=seasonconvert(m,cloud_base_height);
marthickness=seasonconvert(m,cloud_thickness);
marlongitude=seasonconvert(m,longitude);
marlatitude=seasonconvert(m, latitude);
mardataavailability=seasonconvert(m,data_availability);
maricephase=seasonconvert(m,ice_phase);
marcloudtype=seasonconvert(m,cloud_type);
mardate=seasonconvert2(m,date);
martime=seasonconvert2(m,time);

% april
m=april(date);
aprheights=seasonconvert(m,cloud_base_height);
aprthickness=seasonconvert(m,cloud_thickness);
aprlongitude=seasonconvert(m,longitude);
aprlatitude=seasonconvert(m, latitude);

```

```

aprdataavailability=seasonconvert(m,data_availability);
aprcephase=seasonconvert(m,ice_phase);
aprcloudtype=seasonconvert(m,cloud_type);
aprdate=seasonconvert2(m,date);
apertime=seasonconvert2(m,time);

%may
m=may(date);
mayheights=seasonconvert(m,cloud_base_height);
maythickness=seasonconvert(m,cloud_thickness);
maylongitude=seasonconvert(m,longitude);
maylatitude=seasonconvert(m,latitude);
maydataavailability=seasonconvert(m,data_availability);
mayicephase=seasonconvert(m,ice_phase);
maycloudtype=seasonconvert(m,cloud_type);
maydate=seasonconvert2(m,date);
maytime=seasonconvert2(m,time);

%xwris tis nan times gia heights, thickness, phase, cloudtype
[nan_index,nanmarheights]=fnaseason(marheights);
[nan_index,nanmarthickness]=fnaseason(marthickness);
[nan_index,nanmaricephase]=fnaseason(maricephase);
[nan_index,nanmarcloudtype]=fnaseason(marcloudtype);

[nan_index,nanaprheights]=fnaseason(aprheights);
[nan_index,nanaprthickness]=fnaseason(aprthickness);
[nan_index,nanaprcephase]=fnaseason(aprcephase);
[nan_index,nanaprcloudtype]=fnaseason(aprcloudtype);

[nan_index,nanmayheights]=fnaseason(mayheights);
[nan_index,nanmaythickness]=fnaseason(maythickness);
[nan_index,nanmayicephase]=fnaseason(mayicephase);
[nan_index,nanmaycloudtype]=fnaseason(maycloudtype);

%
%twra tha kanw statistikh analysh gia kathe mhna ths anoixhs ta teleutaia 10 xronia
%
% descriptive statistics for march of past 10 years

%about longitude and latitude
marmeanlongitude=nanmean(marlongitude)
marmeanlatitude=nanmean(marlatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
marmeandataavailability=nanmean(mardataavailability)

%percentage of cloudiness
marcloudinesspercentage=cloudiness2(marheights,15)

% statistics about cloud base height
marmaxbaseheight=nanmax(marheights)
marminbaseheight=nanmin(marheights)
marrangebaseheight=range(marheights)
marmeanbaseheight=nanmean(marheights)
marvariancebaseheight=nanvar(marheights)
marstddeviationbaseheight=nanstd(marheights)
marskewnessbaseheight=skewness(nanmarheights)
markurtosisbaseheight=kurtosis(nanmarheights)

%Histograms and polygons for cloud marheights
y=nanmarheights;
l=length(y);
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:8.2

```

```

ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency
histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency
histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
marmeanthickness=nanmean(marthickness)
marmaxthickness=nanmax(marthickness)
marminthickness=nanmin(marthickness)
marrangethickness=range(marthickness)
marvariancethickness=nanvar(marthickness)
marstddeviationthickness=nanstd(marthickness)
marskewnessthickness=skewness(nanmarthickness)
markurtosisthickness=kurtosis(nanmarthickness)

%Histograms and polygons for cloud marthickness
y=nanmarthickness
l=length(y)
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 1:intervalWidth:7
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1

```

```

    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%figure;
%hist(y,6), xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of mar clouds
tbl1=tabulate(nanmaricephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanmaricephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.3), xlabel('phase'), ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for mar cloudtype
tbl1=tabulate(nanmarcloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanmarcloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type'), ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

%
% descriptive statistics for april of past 10 years
%
```

```

%about longitude and latitude
aprmeanlongitude=nanmean(aprlongitude)
aprmeanlatitude=nanmean(aprlatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
aprmeandataavailability=nanmean(aprdataavailability)

%percentage of cloudiness
aprcloudinesspercentage=cloudiness2(aprheights,17)

% statistics about cloud base height
aprmaxbaseheight=nanmax(aprheights)
aprminbaseheight=nanmin(aprheights)
aprbaseheight=range(aprheights)
aprmeanbaseheight=nanmean(aprheights)
aprvariancebaseheight=nanvar(aprheights)
aprstddeviationbaseheight=nanstd(aprheights)
aprskewnessbaseheight=skewness(nanaprheights)
aprskurtosisbaseheight=kurtosis(nanaprheights)

%Histograms and polygons for cloud apr heights
y=nanaprheights;
l=length(y);
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:11.5
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency
histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency
histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1

```

```

        rel2(i)=rel(i);
    end
    hold on
    xpol=x ;
    ypol=[0 rel2];
    plot(xpol,ypol,'r')
    set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
aprmeanthickness=nanmean(aprthickness)
aprmaxthickness=nanmax(aprthickness)
aprminthickness=nanmin(aprthickness)
aprrangethickness=range(aprthickness)
aprvariancethickness=nanvar(aprthickness)
aprstddeviationthickness=nanstd(aprthickness)
aprskewnessthickness=skewness(nanaprthickness)
aprkurtosisthickness=kurtosis(nanaprthickness)

%Histograms and polygons for cloud apr thickness
y=nanaprthickness
l=length(y)
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:7.5
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
figure;
%hist(y,6, xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency'))
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1

```

```

        rel2(i)=rel(i);
    end
    hold on
    xpol=x ;
    ypol=[0 rel2];
    plot(xpol,ypol,'r')
    set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of apr clouds
tbl1=tabulate(nanapricephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanapricephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.3), xlabel('phase') ,ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for apr cloudtype
tbl1=tabulate(nanaprcloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanaprcloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type') ,ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

% descriptive statistics for may of past 10 years

%about longitude and latitude
maymeanlongitude=nanmean(maylongitude)
maymeanlatitude=nanmean(maylatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
maymeandataavailability=nanmean(maydataavailability)

%percentage of cloudiness
maycloudinesspercentage=cloudiness2(mayheights,19)

% statistics about cloud base height
maymaxbaseheight=nanmax(mayheights)
mayminbaseheight=nanmin(mayheights)
mayrangebaseheight=range(mayheights)
maymeanbaseheight=nanmean(mayheights)
mayvariancebaseheight=nanvar(mayheights)
maystddeviationbaseheight=nanstd(mayheights)
mayskewnessbaseheight=skewness(nanmayheights)
maykurtosisbaseheight=kurtosis(nanmayheights)

%Histograms and polygons for cloud may heights
y=nanmayheights;
l=length(y);
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 2.2:intervalWidth:10.8
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;

```



```

bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
maymeanthickness=nanmean(maythickness)
maymaxthickness=nanmax(maythickness)
mayminthickness=nanmin(maythickness)
mayrangethickness=range(maythickness)
mayvariancethickness=nanvar(maythickness)
maystddeviationthickness=nanstd(maythickness)
mayskewnessthickness=skewness(nanmaythickness)
maykurtosisthickness=kurtosis(nanmaythickness)

%Histograms and polygons for cloud may thickness
y=nanmaythickness
l=length(y)
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 1:intervalWidth:2.8
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%figure;
%hist(y,6), xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;

```

```

bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency
histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative
frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of may clouds
tbl1=tabulate(nanmayicephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanmayicephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.3), xlabel('phase') ,ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for may cloudtype
tbl1=tabulate(nanmaycloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanmaycloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type') ,ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC
% run_summer_months_new: στατιστική για τους μήνες του καλοκαιριού

%Drive Program
clf
hold off
clear all
close all

%read excel
filename='Clouds_meteo_new.xlsx';
[num,txt,row]=xlsread(filename);
cloud_base_height=num(:,1);
cloud_thickness=num(:,2);
longitude=num(:,3);
latitude=num(:,4);

```

```

data_availability=num(:,5);
ice_phase=num(:,6);
cloud_type=num(:,7);
date=txt(:,1);
time=txt(:,2);

```

```

%Edw kanw diaxwrismo tis metavlites ana mhna gia ta eth 2006-2016
% gia tous mhnes tou kalokairiou june, july, august

```

```

%june
m=june(date);
junheights=seasonconvert(m,cloud_base_height);
junthickness=seasonconvert(m,cloud_thickness);
junlongitude=seasonconvert(m,longitude);
junlatitude=seasonconvert(m, latitude);
jundataavailability=seasonconvert(m,data_availability);
junicephase=seasonconvert(m,ice_phase);
juncloudtype=seasonconvert(m,cloud_type);
jundate=seasonconvert2(m,date);
juntime=seasonconvert2(m,time);

```

```

%july
m=july(date);
julheights=seasonconvert(m,cloud_base_height);
julthickness=seasonconvert(m,cloud_thickness);
jullongitude=seasonconvert(m,longitude);
jullatitude=seasonconvert(m, latitude);
jldataavailability=seasonconvert(m,data_availability);
julicephase=seasonconvert(m,ice_phase);
julcloudtype=seasonconvert(m,cloud_type);
juldate=seasonconvert2(m,date);
jultime=seasonconvert2(m,time);

```

```

%august
m=august(date);
augheights=seasonconvert(m,cloud_base_height);
augthickness=seasonconvert(m,cloud_thickness);
auglongitude=seasonconvert(m,longitude);
auglatitude=seasonconvert(m, latitude);
augdataavailability=seasonconvert(m,data_availability);
augicephase=seasonconvert(m,ice_phase);
augcloudtype=seasonconvert(m,cloud_type);
augdate=seasonconvert2(m,date);
augtime=seasonconvert2(m,time);

```

```

%xwris tis nan times gia heights kai thickness
[nan_index,nanjunheights]=fnanseason(junheights);
[nan_index,nanjunthickness]=fnanseason(junthickness);
[nan_index,nanjunicephase]=fnanseason(junicephase);
[nan_index,nanjuncloudtype]=fnanseason(juncloudtype);

```

```

[nan_index,nanjulheights]=fnanseason(julheights);
[nan_index,nanjulthickness]=fnanseason(julthickness);
[nan_index,nanjulicephase]=fnanseason(julicephase);
[nan_index,nanjulcloudtype]=fnanseason(julcloudtype);

```

```

[nan_index,nanaugheights]=fnanseason(augheights);
[nan_index,nanaugthickness]=fnanseason(augthickness);
[nan_index,nanaugicephase]=fnanseason(augicephase);
[nan_index,nanaugcloudtype]=fnanseason(augcloudtype);

```

```

%twra tha kanw statistikh analysh gia kathe mhna tou kalokairiou ta teleutaia 10 xronia
%
% descriptive statistics for june of past 10 years

```

```

%about longitude and latitude
junmeanlongitude=nanmean(junlongitude)
junmeanlatitude=nanmean(junlatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
junmeandataavailability=nanmean(jundataavailability)

%percentage of cloudiness
juncloudinesspercentage=cloudiness2(junheights,15)

% statistics about cloud base height
junmaxbaseheight=nanmax(junheights)
junminbaseheight=nanmin(junheights)
junrangebaseheight=range(junheights)
junmeanbaseheight=nanmean(junheights)
junvariancebaseheight=nanvar(junheights)
junstddeviationbaseheight=nanstd(junheights)
junskewnessbaseheight=skewness(nanjunheights)
junkurtosisbaseheight=kurtosis(nanjunheights)

%frequency histogram for nanjunheights
tbl1=tabulate(nanjunheights);
heights=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanjunheights);
bar(heights,relfreq), xlabel('heights(km)'),ylabel('rel frequency(%)'),title('relative frequency of heights')

% statistics about cloud thickness
junmeanthickness=nanmean(junthickness)
junmaxthickness=nanmax(junthickness)
junminthickness=nanmin(junthickness)
junrangelthickness=range(junthickness)
junvariancethickness=nanvar(junthickness)
junstddeviationthickness=nanstd(junthickness)
junskewnessthickness=skewness(nanjunthickness)
junkurtosisthickness=kurtosis(nanjunthickness)

%frequency histogram for nanjunthickness
tbl1=tabulate(nanjunthickness);
thickness=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanjunthickness);
figure;
bar(thickness,relfreq), xlabel('thickness(km)'),ylabel('rel frequency(%)'),title('relative frequency of thickness')

%statistics for ice/water phase of jun clouds
tbl1=tabulate(nanjunicephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanjunicephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.3), xlabel('phase'),ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for jun cloudtype
tbl1=tabulate(nanjuncloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanjuncloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type'),ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

%
% descriptive statistics for july of past 10 years
%
%about longitude and latitude

```

```

julmeanlongitude=nanmean(jullongitude)
julmeanlatitude=nanmean(jullatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
julmeandataavailability=nanmean(juldataavailability)

%percentage of cloudiness
julcloudinesspercentage=cloudiness2(julheights,17)

% statistics about cloud base height
julmaxbaseheight=nanmax(julheights)
julminbaseheight=nanmin(julheights)
julrangebaseheight=range(julheights)
julmeanbaseheight=nanmean(julheights)
julvariancebaseheight=nanvar(julheights)
julstddeviationbaseheight=nanstd(julheights)
julskewnessbaseheight=skewness(nanjulheights)
julkurtosisbaseheight=kurtosis(nanjulheights)

%frequency histogram for nanjulheights
tbl1=tabulate(nanjulheights);
heights=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanjulheights);
figure;
bar(heights,relfreq,0.2), xlabel('heights(km)'), ylabel('rel frequency(%)'),axis([1 3 0 100]),title('relative
frequency of heights')

% statistics about cloud thickness
julmeanthickness=nanmean(julthickness)
julmaxthickness=nanmax(julthickness)
julminthickness=nanmin(julthickness)
julrangethickness=range(julthickness)
julvariancethickness=nanvar(julthickness)
julstddeviationthickness=nanstd(julthickness)
julskewnessthickness=skewness(nanjulthickness)
julkurtosisthickness=kurtosis(nanjulthickness)

%frequency histogram for nanjulthickness
tbl1=tabulate(nanjulthickness);
thickness=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanjulthickness);
figure;
bar(thickness,relfreq,0.2), xlabel('thickness(km)'), ylabel('rel frequency(%)'),title('relative frequency of
thickness')

%statistics for ice/water phase of jul clouds
tbl1=tabulate(nanjulicephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanjulicephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.3), xlabel('phase'), ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for jul cloudtype
tbl1=tabulate(nanjulcloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanjulcloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type'), ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

% descriptive statistics for august of past 10 years

%about longitude and latitude

```



```

clf
hold off
clear all
close all

%read excel
filename='Clouds_meteo_new.xlsx';
[num,txt,row]=xlsread(filename);
cloud_base_height=num(:,1);
cloud_thickness=num(:,2);
longitude=num(:,3);
latitude=num(:,4);
data_availability=num(:,5);
ice_phase=num(:,6);
cloud_type=num(:,7);
date=txt(:,1);
time=txt(:,2);

%Edw kanw diaxwrismo tis metavlites ana mhna gia ta eth 2006-2016
% gia tous mhnes tou phthinopwrou september, october, november

%september
m=september(date);
sepheights=seasonconvert(m,cloud_base_height);
septhickness=seasonconvert(m,cloud_thickness);
seplongitude=seasonconvert(m,longitude);
seplatitude=seasonconvert(m, latitude);
sepdataavailability=seasonconvert(m,data_availability);
sepicephase=seasonconvert(m,ice_phase);
sepcloudtype=seasonconvert(m,cloud_type);
sepdate=seasonconvert2(m,date);
septime=seasonconvert2(m,time);

%october
m=october(date);
octheights=seasonconvert(m,cloud_base_height);
octthickness=seasonconvert(m,cloud_thickness);
octlongitude=seasonconvert(m,longitude);
octlatitude=seasonconvert(m, latitude);
octdataavailability=seasonconvert(m,data_availability);
octicephase=seasonconvert(m,ice_phase);
octcloudtype=seasonconvert(m,cloud_type);
octdate=seasonconvert2(m,date);
octtime=seasonconvert2(m,time);

%november
m=november(date);
novheights=seasonconvert(m,cloud_base_height);
novthickness=seasonconvert(m,cloud_thickness);
novlongitude=seasonconvert(m,longitude);
novlatitude=seasonconvert(m, latitude);
novdataavailability=seasonconvert(m,data_availability);
novicephase=seasonconvert(m,ice_phase);
novcloudtype=seasonconvert(m,cloud_type);
novdate=seasonconvert2(m,date);
novtime=seasonconvert2(m,time);

%xwris tis nan times gia heights kai thickness
[nan_index,nansepheights]=fnanseason(sepheights);
[nan_index,nansepthickness]=fnanseason(septhickness);
[nan_index,nansepicephase]=fnanseason(sepicephase);
[nan_index,nansepccloudtype]=fnanseason(sepccloudtype);

[nan_index,nanoctheights]=fnanseason(octheights);
[nan_index,nanoctthickness]=fnanseason(octthickness);
[nan_index,nanocticephase]=fnanseason(octicephase);
[nan_index,nanoctcloudtype]=fnanseason(octcloudtype);

```

```

[nan_index,nannovheights]=fnanseason(novheights);
[nan_index,nannovthickness]=fnanseason(novthickness);
[nan_index,nannovicephase]=fnanseason(novicephase);
[nan_index,nannovcloudtype]=fnanseason(novcloudtype);

%
%twra tha kanw statistikh analysh gia kathe mhna tou phthinopwrou ta teleutaia 10 xronia
%
% descriptive statistics for september of past 10 years

%about longitude and latitude
sepmeanlongitude=nanmean(seplongitude)
sepmeanlatitude=nanmean(seplatititude)

%about data availability from NASA CALIPSO
sepmeandataavailability=nanmean(sepdataavailability)

%percentage of cloudiness
sepcloudinesspercentage=cloudiness2(sepheights,13)

% statistics about cloud base height
sepmaxbaseheight=nanmax(sepheights)
sepminbaseheight=nanmin(sepheights)
seprangebaseheight=range(sepheights)
sepmeanbaseheight=nanmean(sepheights)
sepvariancebaseheight=nanvar(sepheights)
sepstddeviationbaseheight=nanstd(sepheights)
sepskewnessbaseheight=skewness(nansepheights)
sepcurtosisbaseheight=kurtosis(nansepheights)

%Histograms and polygons for cloud sepheights
y=nansepheights;
l=length(y);
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 1.2:intervalWidth:9
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency
histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency
histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;

```



```

rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
sepmeanthickness=nanmean(septhickness)
sepmaxthickness=nanmax(septhickness)
sepminthickness=nanmin(septhickness)
seprangethickness=range(septhickness)
sepvariancethickness=nanvar(septhickness)
sepstddeviationthickness=nanstd(septhickness)
sepskewnessthickness=skewness(nansepthickness)
sepkurtosisthickness=kurtosis(nansepthickness)

%Histograms and polygons for cloud septhickness
y=nansepthickness
l=length(y)
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 1.2:intervalWidth:5
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%figure;
%hist(y,6), xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency
frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative
frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);

```

```

for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of sep clouds
tbl1=tabulate(nansepicephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nansepicephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.3), xlabel('phase') ,ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for sep cloudtype
tbl1=tabulate(nansepcldtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nansepcldtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type') ,ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

%
% descriptive statistics for october of past 10 years
%
%about longitude and latitude
octmeanlongitude=nanmean(octlongitude)
octmeanlatitude=nanmean(octlatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
octmeandataavailability=nanmean(octdataavailability)

%percentage of cloudiness
octcloudinesspercentage=cloudiness2(octheights,17)

% statistics about cloud base height
octmaxbaseheight=nanmax(octheights)
octminbaseheight=nanmin(octheights)
octrangebaseheight=range(octheights)
octmeanbaseheight=nanmean(octheights)
octvariancebaseheight=nanvar(octheights)
octstddeviationbaseheight=nanstd(octheights)
octskewnessbaseheight=skewness(nanoctheights)
octkurtosisbaseheight=kurtosis(nanoctheights)

%Histograms and polygons for cloud octheights
y=nanoctheights;
l=length(y);
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:6.5
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1

```

```

    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency
histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency
histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
octmeanthickness=nanmean(octthickness)
octmaxthickness=nanmax(octthickness)
octminthickness=nanmin(octthickness)
octrangethickness=range(octthickness)
octvariancethickness=nanvar(octthickness)
octstddeviationthickness=nanstd(octthickness)
octskewnessthickness=skewness(nanoctthickness)
octkurtosisthickness=kurtosis(nanoctthickness)

%Histograms and polygons for cloud octthickness
y=nanoctthickness
l=length(y)
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 1:intervalWidth:5.7
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1

```

```

        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%figure;
%hist(y,6), xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of oct clouds
tbl1=tabulate(nanocticephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanocticephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.3), xlabel('phase'), ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for oct cloudtype
tbl1=tabulate(nanoctcloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nanoctcloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type'), ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

% descriptive statistics for november of past 10 years

%about longitude and latitude
novmeanlongitude=nanmean(novlongitude)

```

```

novmeanlatitude=nanmean(novlatitude)

%about data availability from NASA CALIPSO
novmeandataavailability=nanmean(novdataavailability)

%percentage of cloudiness
novcloudinesspercentage=cloudiness2(novheights,17)

% statistics about cloud base height
novmaxbaseheight=nanmax(novheights)
novminbaseheight=nanmin(novheights)
novrangebaseheight=range(novheights)
novmeanbaseheight=nanmean(novheights)
novvariancebaseheight=nanvar(novheights)
novstddeviationbaseheight=nanstd(novheights)
novskewnessbaseheight=skewness(nannovheights)
novkurtosisbaseheight=kurtosis(nannovheights)

%Histograms and polygons for cloud nov heights
y=nannovheights;
l=length(y);
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.5:intervalWidth:11
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%hist(y,6), xlabel('heights'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('heights'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency
histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('heights'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency
histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('heights'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative
frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end

```

```

hold on
xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

% statistics about cloud thickness
novmeanthickness=nanmean(novthickness)
novmaxthickness=nanmax(novthickness)
novminthickness=nanmin(novthickness)
novrangethickness=range(novthickness)
novvariancethickness=nanvar(novthickness)
novstddeviationthickness=nanstd(novthickness)
novskewnessthickness=skewness(nannovthickness)
novkurtosisthickness=kurtosis(nannovthickness)

%Histograms and polygons for cloud nov thickness
y=nannovthickness
l=length(y)
numIntervals = 6;
intervalWidth = (max(y) - min(y))/numIntervals
x = 0.7:intervalWidth:7.8
ncount = histc(y,x)
for i=1:length(ncount)-1
    if i==length(ncount)-1
        n(i)=ncount(i)+ncount(i+1);
    else
        n(i)=ncount(i);
    end
end
n(length(ncount))=0;
relativefreq = n*100/length(y)

%absolute frequency
%figure;
%hist(y,6), xlabel('thickness'),ylabel('absolute frequency'), title('absolute frequency')
figure;
bar(x+intervalWidth/2, n,1), xlabel('thickness'), ylabel('absolute frequency '), title('absolute frequency histogram')

%relative frequency
figure;
bar(x+intervalWidth/2, relativefreq,1), xlabel('thickness'), ylabel('rel frequency (%)'), title('relative frequency histogram')

%relative frequency polygon
hold on
xpol=[0 x+intervalWidth/2];
ypol=[0 relativefreq];
plot(xpol,ypol,'r')

%cumulative relative frequency
figure;
rel=cumsum(relativefreq);
for i=1:length(rel)
    if i==length(rel)
        rel(i)=0;
    end
end
bar(x+intervalWidth/2,rel,1), xlabel('thickness'), ylabel('cum rel frequency (%)'), title('cumulate relative frequency histogram')

%cumulative relative frequency polygon
for i=1:length(rel)-1
    rel2(i)=rel(i);
end
hold on

```

```

xpol=x ;
ypol=[0 rel2];
plot(xpol,ypol,'r')
set(gca, 'xtick', x)

%statistics for ice/water phase of nov clouds
tbl1=tabulate(nannovicephase);
phase=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nannovicephase);
figure;
bar(phase,relfreq,0.3), xlabel('phase'), ylabel('relative frequency(%)'),title('ice/water phase of clouds')

%statistics for nov cloudtype
tbl1=tabulate(nannovcloudtype);
type=tbl1(:,1);
frequency=tbl1(:,2);
relfreq=frequency*100/length(nannovcloudtype);
figure;
bar(type,relfreq,1), xlabel('type'), ylabel('relative frequency(%)'),title('cloud types')

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

%run_NASA_RADIO:σύγκριση δεδομένων δορυφόρου-ραδιοβόλισης

%Drive Program
clf
hold off
clear all
close all

%read excel
filename='Clouds_NASA_RADIO.xlsx';
[num,txt,raw]=xlsread(filename);
NASA_height=num(:,1);
NASA_thickness=num(:,2);
RADIO=num(:,3);
date=txt(:,1);

%convert f without nan me bash tis times twn cloud height kai thickness
[nan_index,nan_NASA_height]=fnan(NASA_height);
[nan_index,nan_NASA_thickness]=fnan(NASA_thickness);
nan_RADIO=converttonanf(nan_index,RADIO);
nan_date=converttonanf2(nan_index,date);

% ti vlepei h radiovolish
tbl=tabulate(nan_RADIO);
mhden=0;
t=tbl(:,1)
times=[mhden;t]
f=tbl(:,2)
frequency=[mhden;f]
rf=tbl(:,3)
relfreq=[mhden;rf]
bar(times,frequency,0.5), xlabel('cases'), ylabel('absolute frequency'),title('absolute radio clouds')
figure;
bar(times,relfreq,0.5), xlabel('cases'), ylabel('relative frequency(%)'),title('relative radio clouds')

CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC

%cloudiness: ποσοστό συννεφιάς

% h f einai dianusma sthlh
function percentage=cloudiness(f,s)

```

```

count=0;
sizez=s; % diaforetikes meres gia ta 10 xronia
%meres=102; % meres me synnefa gia ta 10 xronia
%sizez=size(f);
idx=isnan(f');
sizenan=size(idx);
for i=1:sizenan(1,2)
    if idx(i)==1
        count=count+1;
    end
end
percentage=(1-count/sizez)*100;
end

```

CC  
%cloudiness2: ποσοστό συννεφιάς (διάνυσμα γραμμή)

```

% h diafora me to cloudiness einai oti edw h f einai dianusma grammh
% enw sto prwto einai dianusma sthlh
function percentage=cloudiness2(f,s)
count=0;
sizez=s;% diaforetikes meres
idx=isnan(f);
sizenan=size(idx);
for i=1:sizenan(1,2)
    if idx(i)==1
        count=count+1;
    end
end
percentage= (1-count/sizez)*100;
end

```

CC

```

%converttonanf:κρατά μόνο τις μέρες με καταγραμμένο σύννεφο
function fnew=converttonanf(nan_index,f)
sizea=size(nan_index);
for i=1:sizea(1,1)-1
    b(i)=f(nan_index(i+1));
end
fnew=b';
end

```

CC

```

%converttonanf2:κρατά μόνο τις μέρες με καταγραμμένο σύννεφο(διάνυσμα στήλη)
function fnew=converttonanf2(nan_index,f)
sizea=size(nan_index);
for i=1:sizea(1,1)-1
    b(i)=f(nan_index(i+1)+1);
end
fnew=b';
end

```

CC

```

%fnan:κρατά της μη NAN τιμές
function [nan_index,fnew]=fnan(f)
a=0;
idx=isnan(f');
sizenan=size(idx);
for i=1:sizenan(1,2)
    if idx(i)==0

```



```

        a=[a;i];
    end
end
sizea=size(a);
for i=2:sizea(1,1)
    b(i-1)=f(a(i));
end
nan_index=a;
fnew=b';
end

```

CC

**%fnanseason:κρατά της μη NAN τιμές**

```

function [nan_index,fnew]=fnanseason(f)
a=0;
b=0;
idx=isnan(f);
sizenan=size(idx);
for i=1:sizenan(1,2)
    if idx(i)==0
        a=[a;i];
    end
end
sizea=size(a);
for i=2:sizea(1,1)
    n=f(a(i));
    b=[b;n];
end
sizeb=size(b);
for i=1:sizeb(1,1)-1
    nan_index(i)=a(i+1);
    fnew(i)=b(i+1);
end
end

```

CC

**%seasonconvert: μετατροπή σε δεδομένα εποχής**

```

function f=seasonconvert(a, fun)
sizea=size(a);
for i=2:sizea(1,1)
    f1(i-1)=fun(a(i)-1);
end
f=f1;
end

```

CC

**%seasonconvert2: μετατροπή σε δεδομένα εποχής**

```

function f=seasonconvert2(a, fun)
sizea=size(a);
for i=2:sizea(1,1)
    f1(i-1)=fun(a(i));
end
f=f1;
end

```

CC

**%winter:καταχώρηση δεδομένων ως χειμερινά**

```

function m=winter(date)

```

```

a=0;

sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:sizez(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),12) | ismember(mhnes(i),1) | ismember(mhnes(i),2)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end

```

CC

**%spring:καταχώρηση δεδομένων ως άνοιξης**

```

function m=spring(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:sizez(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),3) | ismember(mhnes(i),4) | ismember(mhnes(i),5)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end

```

CC

**%summer:καταχώρηση δεδομένων ως καλοκαιρινών**

```

function m=summer(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:sizez(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),6) | ismember(mhnes(i),7) | ismember(mhnes(i),8)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end

```

CC

**%autumn: καταχώρηση δεδομένων ως φθινοπωρινών**

```

function m=autumn(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:sizez(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),9) | ismember(mhnes(i),10) | ismember(mhnes(i),11)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end

```

CC

**%january:καταχώρηση δεδομένων του Ιανουαρίου**

```

function m=january(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:sizez(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),1)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end

```

CC

**%february: καταχώρηση δεδομένων Φεβρουαρίου**

```

function m=february(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:sizez(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),2)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end

```

CC

**%march:καταχώρηση δεδομένων Μαρτίου**

```
function m=march(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:size(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),3)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end
```

CC

**%april:καταχώρηση δεδομένων Απριλίου**

```
function m=april(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:size(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),4)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end
```

CC

**%may:καταχώρηση δεδομένων Μαΐου**

```
function m=may(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:size(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),5)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end
```

CC

**%june:καταχώρηση δεδομένων Ιουνίου**

```
function m=june(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:sizez(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),6)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end
```

CC

**%july:καταχώρηση δεδομένων Ιουλίου**

```
function m=july(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:sizez(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),7)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end
```

CC

**%august:καταχώρηση δεδομένων Αυγούστου**

```
function m=august(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:sizez(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),8)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end
```

CC

**%september:καταχώρηση δεδομένων Σεπτεμβρίου**

```
function m=september(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:sizez(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),9)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end
```

CC

**%october:καταχώρηση δεδομένων Οκτωβρίου**

```
function m=october(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:sizez(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),10)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end
```

CC

**%november:καταχώρηση δεδομένων Νοεμβρίου**

```
function m=november(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:sizez(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),11)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end
```

CC

**%december:καταχώρηση δεδομένων Δεκεμβρίου**

```
function m=december(date)
a=0;
sizez=size(date);
n=[0 0 0 0 0];
for i=2:sizez(1,1)
    str= datevec(date(i),'dd/mm/yyyy');
    n=[n;str];
end
mhnes=n(:,2);
sizem=size(mhnes);
for i=2:sizem(1,1)
    if ismember(mhnes(i),12)
        a=[a;i];
    end
end
m=a;
end
```