

Τεχνητά νέφη αεροσκαφών, ίχνη συμπυκνώσεων ή contrails

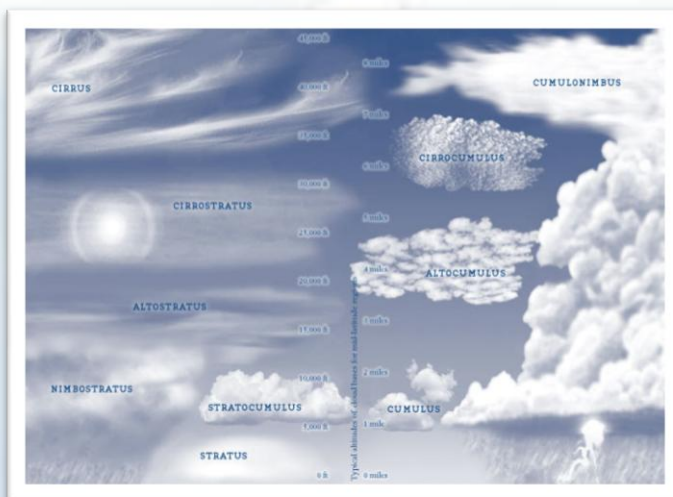
(παράδειγμα φαινομένου πάνω από την Ελλάδα)



Ιωάννινα 2013

Εισαγωγή

Αρχικά θα μιλήσουμε για τα νέφη. Για να σχηματιστούν νέφη στην ατμόσφαιρα, απαιτείται να υπάρχουν υδρατμοί, πυρήνες συμπύκνωσης και μια διαδικασία ψύξης. Τα νέφη ταξινομούνται με δύο κριτήρια, το ύψος στο οποίο βρίσκονται και το σχήμα που έχουν. Ανάλογα με το ύψος στο οποίο βρίσκονται χωρίζονται σε **κατώτερα** όταν η βάση τους βρίσκεται σε ύψος μικρότερο από 2000m, **μέσα** όταν η βάση τους είναι ανάμεσα στα 2000m και 5000m και **ανώτερα** με βάση πάνω από 5000m. Ανάλογα με το σχήμα τους χωρίζονται



σε στρωματόμορφα και σωρειτόμορφα. Στρωματόμορφα ονομάζονται τα νέφη με μεγάλη οριζόντια ανάπτυξη (στρώματα). Αυτά καλύπτουν συνήθως μεγάλο μέρος του ουρανού. Σωρειτόμορφα ονομάζονται τα νέφη με μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη (σωρείτης). Είναι νέφη που δημιουργήθηκαν από ανοδικά ρεύματα εξαιτίας κάποιας αστάθειας στην ατμόσφαιρα. Για τη μελέτη των contrails μας ενδιαφέρει το ύψος όπου σχηματίζονται τα **ανώτερα νέφη**.

Η λέξη contrail προέρχεται από την συνένωση της λέξης condensation που σημαίνει συμπύκνωση και από τη λέξη trail που σημαίνει ίχνος. Υπάρχουν δύο είδη ιχνών συμπύκνωσης, τα αεροδυναμικά ή ίχνη ακροπτερύγιου και τα ίχνη εξαγωγής συμπυκνωμένων αερίων. Τα αεροδυναμικά ίχνη συμπύκνωσης σχηματίζονται όταν η πίεση πέφτει εξαιτίας της ροής του αέρα πάνω από έλικες, πτέρυγες και άλλα μέρη του αεροσκάφους. Η δημιουργία των νεφών contrails (από δω και πέρα θα εννοούμε τα ίχνη συμπύκνωσης αερίων) παρατηρείται πίσω από την εξάτμιση των κινητήρων αεροσκαφών, τυπικά σε υψόμετρο πάνω από 8km πάνω από την επιφάνεια της Γης. Ο συνδυασμός των υδρατμών και των

καυσαερίων του κινητήρα και οι χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από -30 βαθμούς) του περιβάλλοντος σε αυτά τα μεγάλα ύψη επιτρέπουν το σχηματισμό των contrails. Αποτελούνται κυρίως από νερό (σε μορφή κρυστάλλων πάγου) και δεν εγκυμονούν κινδύνους για την υγεία για των ανθρώπων. Επηρεάζουν την νέφωση τοπικά πάνω από τη Γη, ωστόσο θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ατμοσφαιρική θερμοκρασία και το κλίμα.

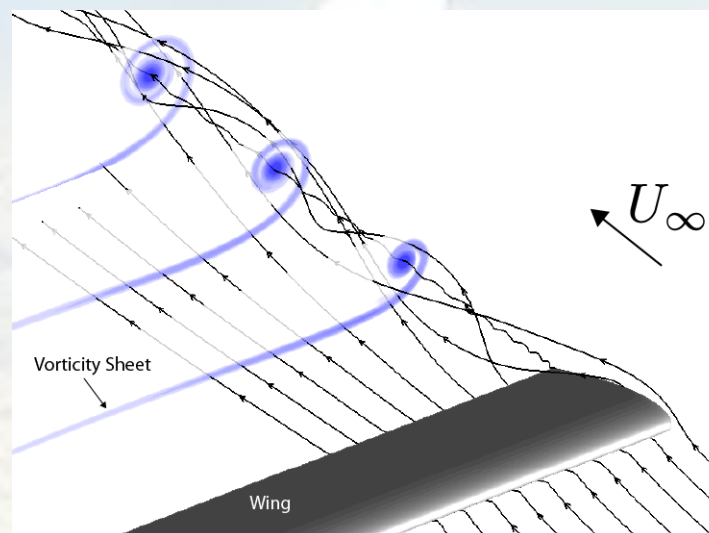
Τα contrails είναι γραμμωτού σχήματος νέφη ή «ουρές - ίχνη συμπύκνωσης», που αποτελούνται από σωματίδια πάγου, που είναι ορατά πίσω από κινητήρες αεριωθούμενων αεροσκαφών, σε υπηρεσιακά ύψη πορείας στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Τα contrails είναι ένα φυσιολογικό φαινόμενο της αεροπορίας που εμφανίστηκε από τις πρώτες μέρες της. Ανάλογα με τη θερμοκρασία και την ποσότητα της υγρασίας στον αέρα στο ύψος του αεροσκάφους, τα contrails εξατμίζονται γρήγορα (εάν η υγρασία είναι χαμηλή και οι άνεμοι ισχυροί) ή επιμένουν και να αναπτύσσονται (εάν η υγρασία είναι υψηλή και οι άνεμοι μέτριοι ή ασθενείς). Τα επίμονα contrails αποτελούνται κυρίως από νερό που συναντάτε φυσικά κατά μήκος της πορείας του αεροσκάφους.



Σχ.1-2 – Contrail wingtrip ή ίχνος συμπύκνωσης ακροπτερυγίου σε μαχητικό αεροσκάφος F-16 αριστερά και σε Airbus A320 δεξιά.



Σχ. 3 - Αιολικό πάρκο στη θάλασσα, 14km δυτικά των ακτών της Δανίας, 12 Φεβρουαρίου 2008, 13:00 τοπική ώρα. Ισχυρός ΒΑ άνεμος σε κορεσμένη από υδρατμούς αέρια μάζα, παρασύρει υδροσταγονίδια της θάλασσας τα οποία περιέχουν κρυστάλλους αλατιού και λειτουργούν ως πυρήνες συμπύκνωσης, ο άνεμος πίσω από τα πτερύγια εξαναγκάζεται να στροβιλιστεί, έχουμε πτώση της πίεσης και αδιαβατική πτώση της θερμοκρασίας και τελικά τη δημιουργία wingtip contrail.

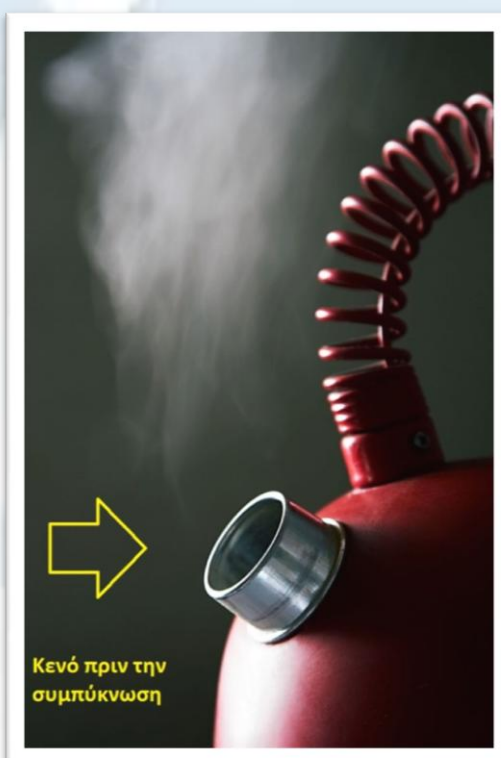


Σχ. 4 – Οι δυναμικές γραμμές πριν και μετά το πτερύγιο αεροσκάφους, παρατηρούνται δίνες, περιοχές όπου η πίεση πέφτει απότομα.

Μηχανισμός δημιουργίας

Οι αεροπορικοί κινητήρες εκλύουν υδρατμούς, διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), μικρές ποσότητες οξειδίων του αζώτου (NO_x), υδρογονάνθρακες, μονοξείδιο του άνθρακα, αέρια θείου, αιθάλη και μεταλλικά σωματίδια που σχηματίζονται από την υψηλής θερμοκρασίας καύσης του καυσίμου κατά τη διάρκεια της πτήσης. Από αυτές τις εκπομπές, μόνο οι υδρατμοί είναι απαραίτητοι για τον σχηματισμό contrail. Θεϊκά αέρια είναι επίσης δυνητικού ενδιαφέροντος επειδή οδηγούν στο σχηματισμό μικρών σωματιδίων τα οποία είναι κατάλληλα για το σχηματισμό σταγονιδίων νερού, αφού λειτουργούν σαν πυρήνες συμπύκνωσης. Όλες οι άλλες εκπομπές του κινητήρα θεωρούνται ασήμαντες για το σχηματισμό contrail.

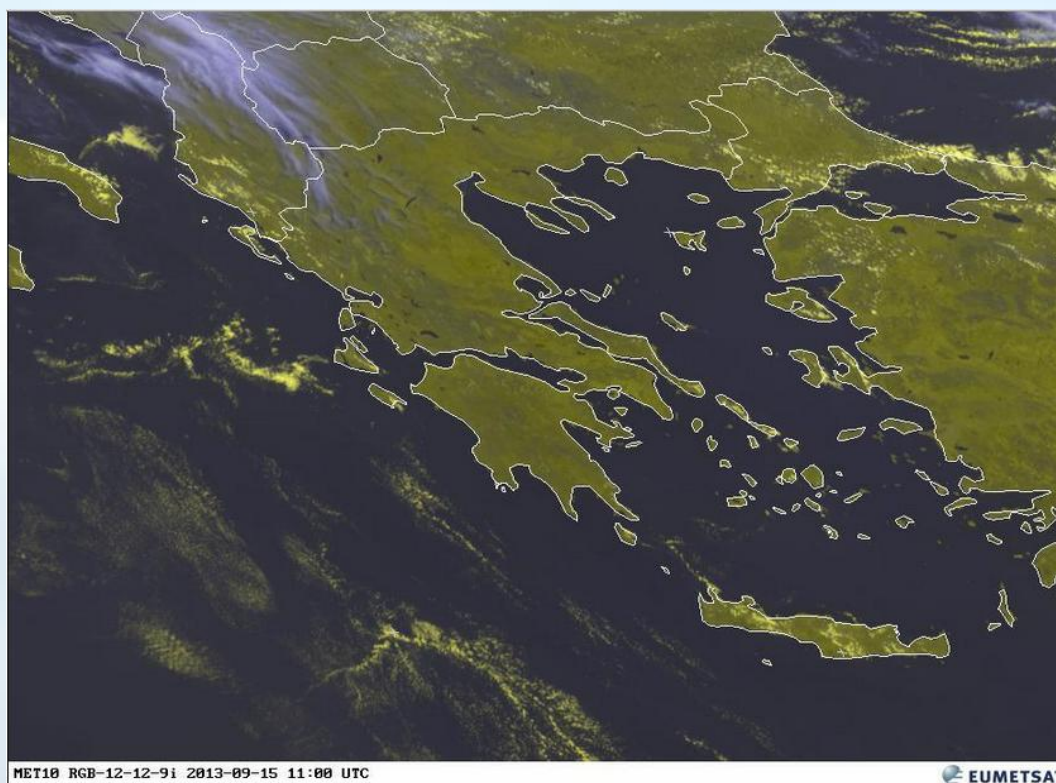
Κατά την καύση των υδρογονανθράκων, ένα κύριο καυσαέριο που παράγεται είναι το νερό, και μάλιστα σε μεγάλες ποσότητες. Έτσι λοιπόν οι υδρατμοί των καυσαερίων είναι αυτοί που συμπυκνώνονται και σχηματίζουν τα νέφη/γραμμές. Είναι ακριβώς το ίδιο φαινόμενο που παρατηρούμε στις εξατμίσεις των αυτοκινήτων κατά τις πολύ ψυχρές ημέρες, αυτό το μικρό άσπρο συννεφάκι που βγαίνει από την εξάτμιση και διαλύεται πολύ γρήγορα. Οι λευκές γραμμές που αφήνουν οι κινητήρες των αεροσκαφών δεν είναι "λευκές" εξαρχής. Δηλαδή, η γραμμή των καυσαερίων που ακολουθεί το αεροσκάφος γίνεται λευκή μετά από κάποια απόσταση (μικρή) πίσω από αυτό. Αυτό συμβαίνει διότι η θερμοκρασία των εκατοντάδων βαθμών Κελσίου που έχουν τα καυσαέρια (οι υδρατμοί τους) δεν τους επιτρέπει να συμπυκνωθούν αμέσως. Έτσι, μεσολαβεί ένα μικρό χρονικό διάστημα κατά το οποίο τα καυσαέρια θα πρέπει να απολέσουν



τη μεγάλη θερμότητα τους. (αυτό παρατηρείται και στη χύτρα, βλέπε εικόνα πάνω). Αυτό επιτυγχάνεται κυρίως με την εκτόνωση της πίεσης τους δηλαδή αδιαβατικά: τα καυσαέρια των κινητήρων εξέρχονται σε κατάσταση πολύ υψηλής συμπίεσης. Κατά την έξοδο τους βρίσκονται σε ένα αέριο περιβάλλον εξαιρετικά χαμηλής πίεσης και εκτονώνονται πολύ γρήγορα. Αυτή η ισχυρή πτώση πίεσης προκαλεί την αδιαβατική ψύξη τους. Όταν λοιπόν η θερμοκρασία των υδρατμών φτάσει κοντά στο σημείο δρόσου του ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στον οποίο βρίσκονται, δημιουργείται το σύννεφο.

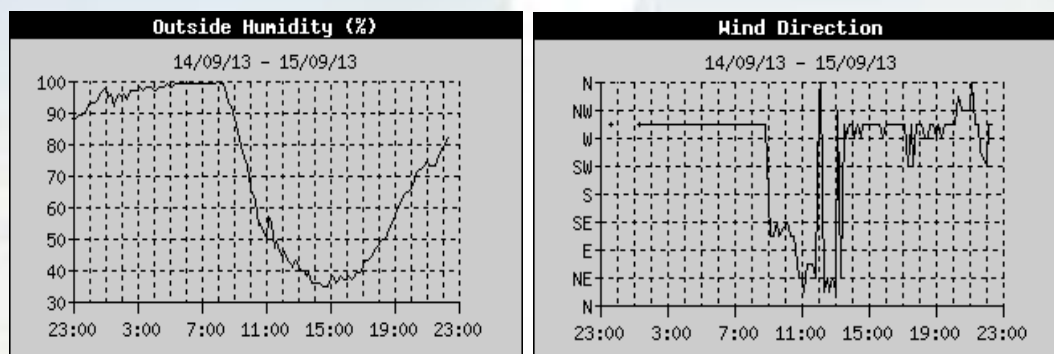
Παράδειγμα σχηματισμού

Θα εξετάσουμε λοιπόν μια μέρα με κατάλληλες ατμοσφαιρικές συνθήκες για τον σχηματισμό contrail νεφών, πάνω από τη ΒΔ Ελλάδα, μεσημέρι της Κυριακής 15 Σεπτεμβρίου 2013. Φωτογραφήθηκε πλήθος αεροσκαφών με τα ίχνη συμπύκνωσής τους και η μετέπειτα πορεία τους. Θα δοθούν και χάρτες ανώτερης και κατώτερης ατμόσφαιρας ώστε να εξηγήσουμε καλύτερα τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η 15/09/13 ήταν μια ηλιόλουστη μέρα για τη ΒΔ χώρα και γενικά σε όλη τη ΝΑ Μεσόγειο, με νεφώσεις μόνο cirrus και λίγα cumulus τις θερμές ώρες της μέρας, χωρίς σημαντικές κατακόρυφες αναπτύξεις αφού οι άνεμοι στην ανώτερη ατμόσφαιρα ήταν πολύ ισχυροί και η υγρασία μέχρι τα 8km ύψος πολύ χαμηλή, αυξάνοντας την ορατότητα >100km. Στα χαμηλά στρώματα της τροπόσφαιρας η σχετική υγρασία ήταν χαμηλή και οι άνεμοι από δυτικές διευθύνσεις. Ακριβώς την επόμενη μέρα είχαμε διέλευση ψυχρού μετώπου από τα δυτικά, πράγμα που μας δίνει πληροφορίες έμμεσα για τις συνθήκες στην ανώτερη ατμόσφαιρα τη προηγούμενη μέρα: πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλή υγρασία πάνω από τα 5km.



Σχ.5 - Δορυφορική άποψη της χώρας το μεσημέρι 15/09/13

Μετρήσεις μετεωρολογικού σταθμού ΕΑΑ στα Ιωάννινα:

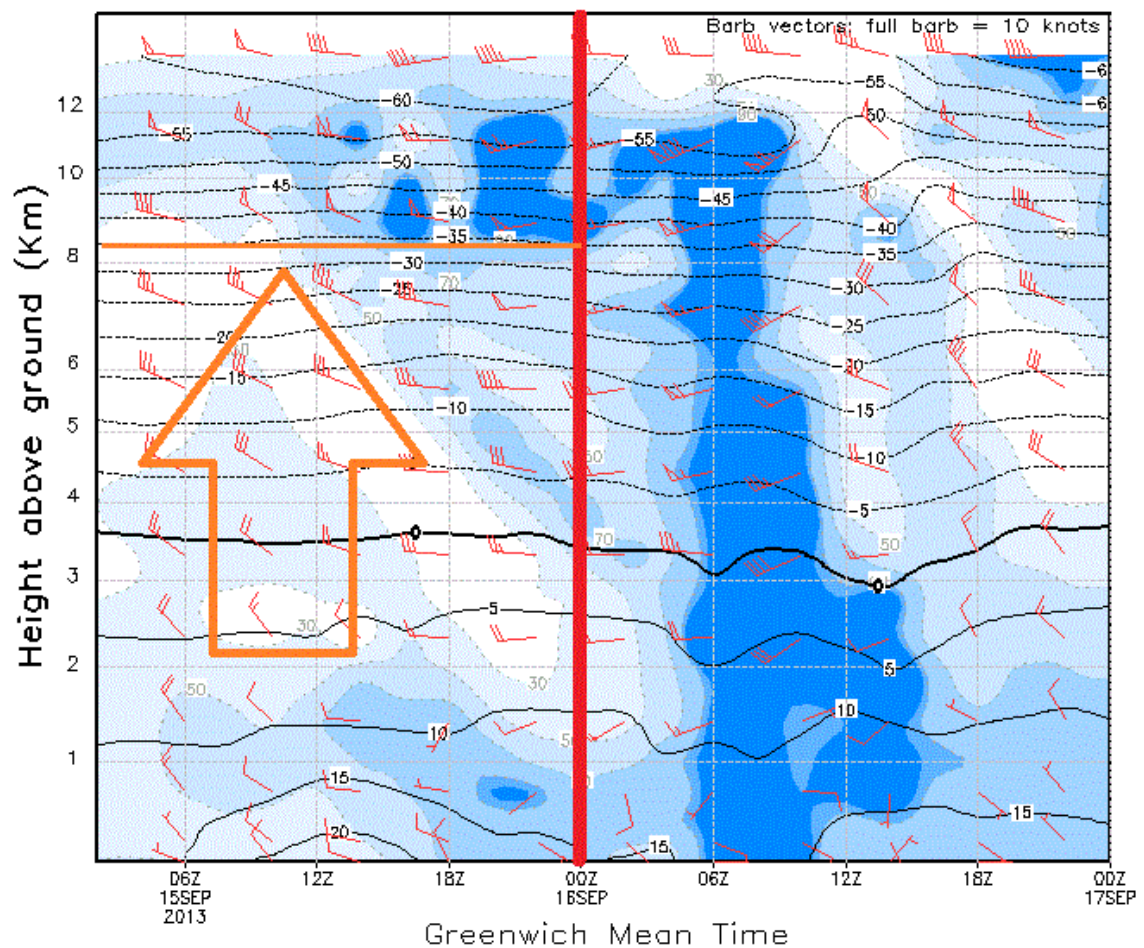


Σχ.6-7 -- Σχετική υγρασία το μεσημέρι κάτω από 40% στα 2μ από το έδαφος και οι άνεμοι από γενικά δυτικές διευθύνσεις.

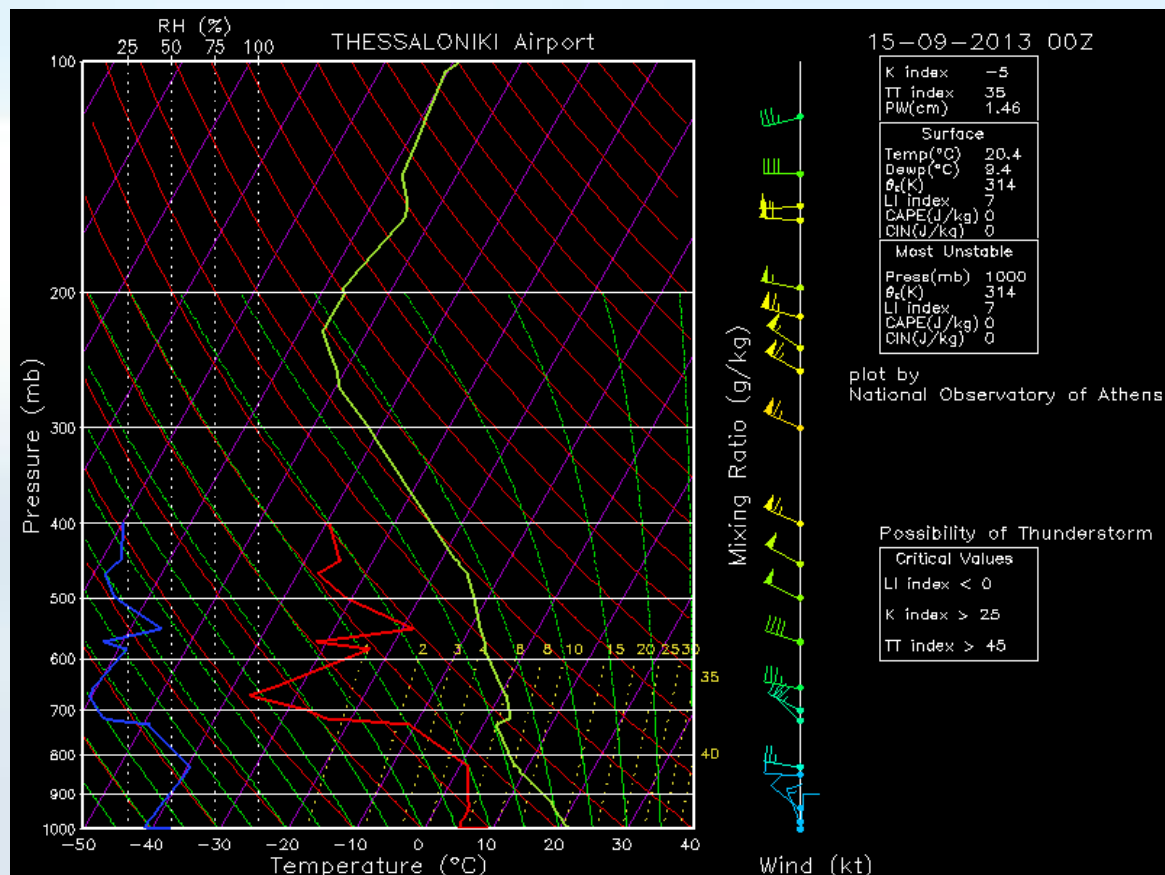
Ας δούμε και τι συνθήκες επικρατούσαν στην ανώτερη ατμόσφαιρα:

48-hour Weather Forecast – Ioannina (alt. 500m)

Relative humidity (%) Temperature (C) Wind (knots)



Σχ.8 -- Έξοδος μοντέλου MM5 που τρέχει στο πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Φυσικής.



Σχ. 9 – Ραδιοβόλιση στο αεροδρόμιο Θεσ/νίκης

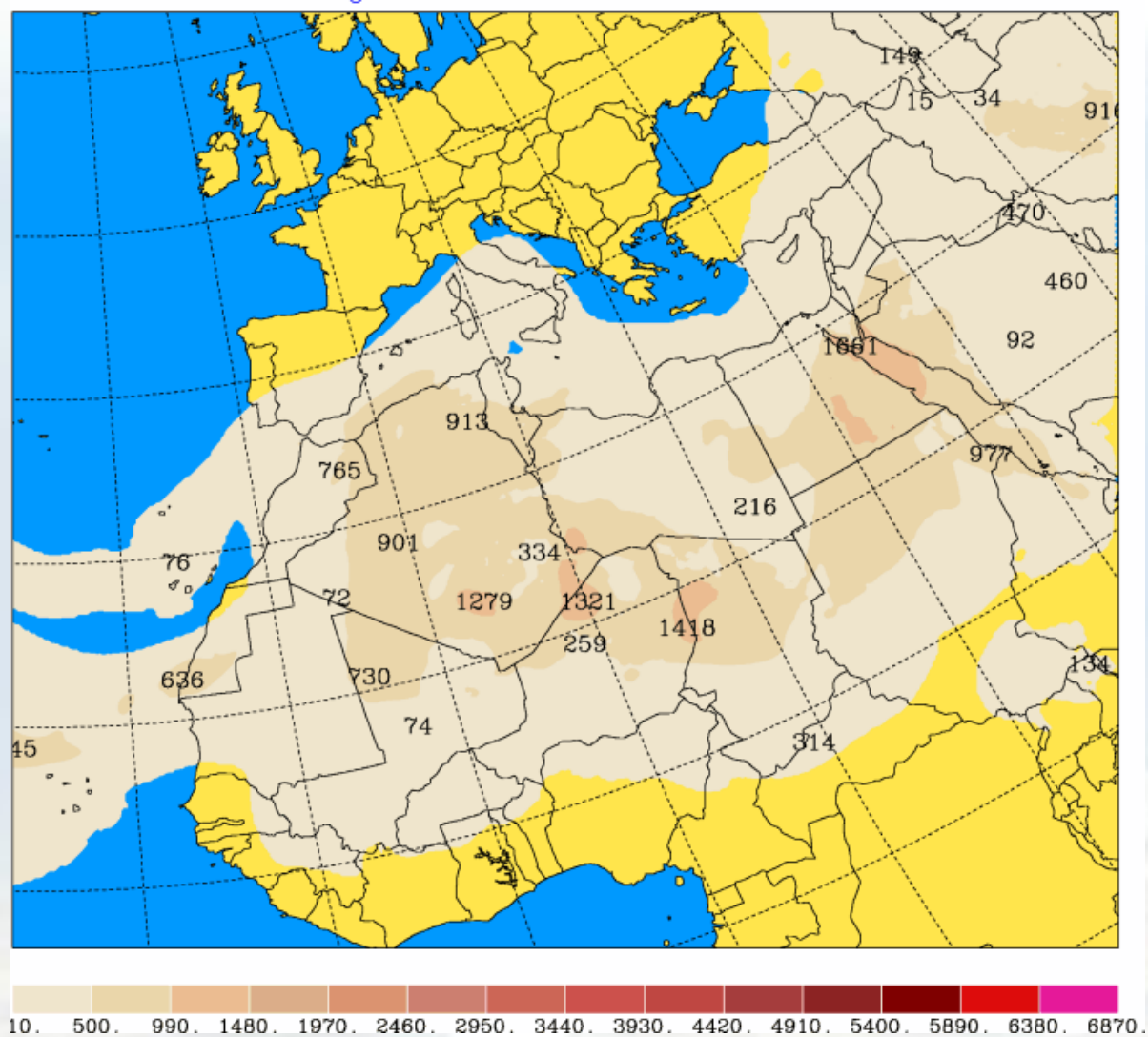
Οι παρατηρήσεις στο έδαφος αναφέρονται για να δείξουμε τη διαύγεια της ατμόσφαιρας που βοήθησε στη παρατήρηση. Στο σχήμα 3 βλέπουμε ότι άνω των 8km και ειδικά στο ύψος των 10km που είναι το σύνηθες ύψος πτήσης επιβατικών και φορτηγών αεροσκαφών υπάρχει αυξημένη σχετική υγρασία και ισχυροί άνεμοι. Χωρίς να έχουμε κοιτάξει καν τον ουρανό από το παράθυρό μας περιμένουμε τα αεροσκάφη που πετούν σε αυτά τα ύψη να προκαλέσουν νέφη σύντομης διάρκειας καθώς ο άνεμος δεν αφήνει περιθώρια ανάπτυξής τους. Οι ίδιες συνθήκες επικρατούν και στη βόρεια Ελλάδα, με την πιο κοντινή τόσο χωρικά όσο και χρονικά ραδιοβόλιση στη Θεσσαλονίκη, 12 ώρες περίπου πριν τη παρατήρησή μας. Βλέπουμε επίσης ότι έχουμε πολύ μικρές έως καθόλου συγκεντρώσεις σκόνης και αερολυμάτων γενικότερα πάνω από τη χώρα, άρα το οπτικό πάχος είναι μικρό:

University of Athens (AM&WFG)

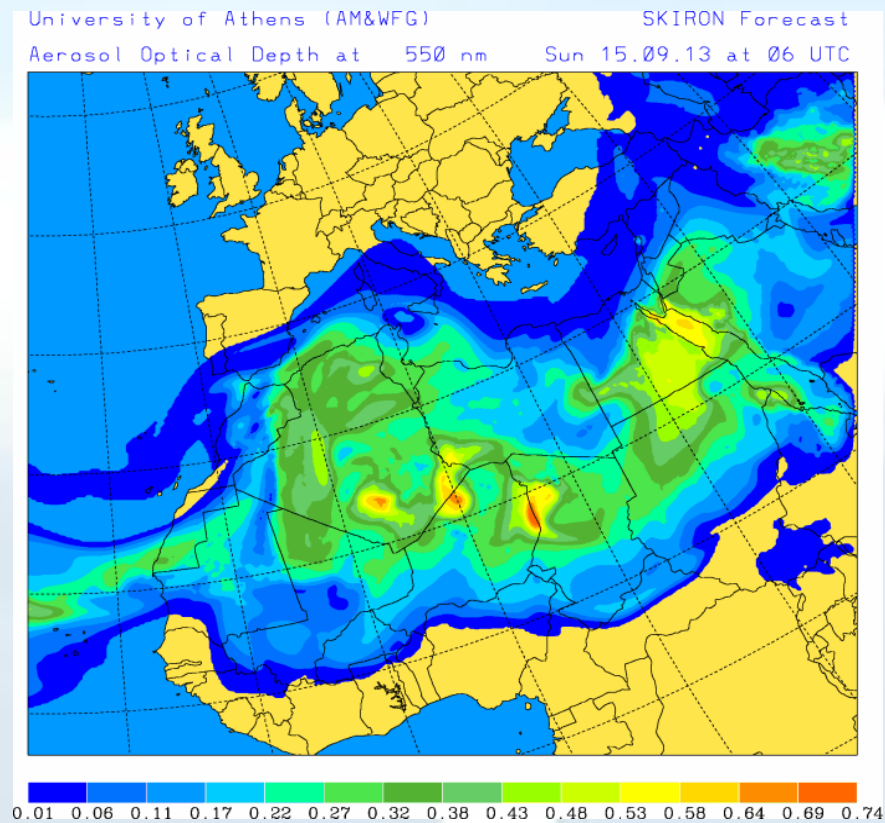
SKIRON Forecast

Total Dust Load (mgr/m^2)

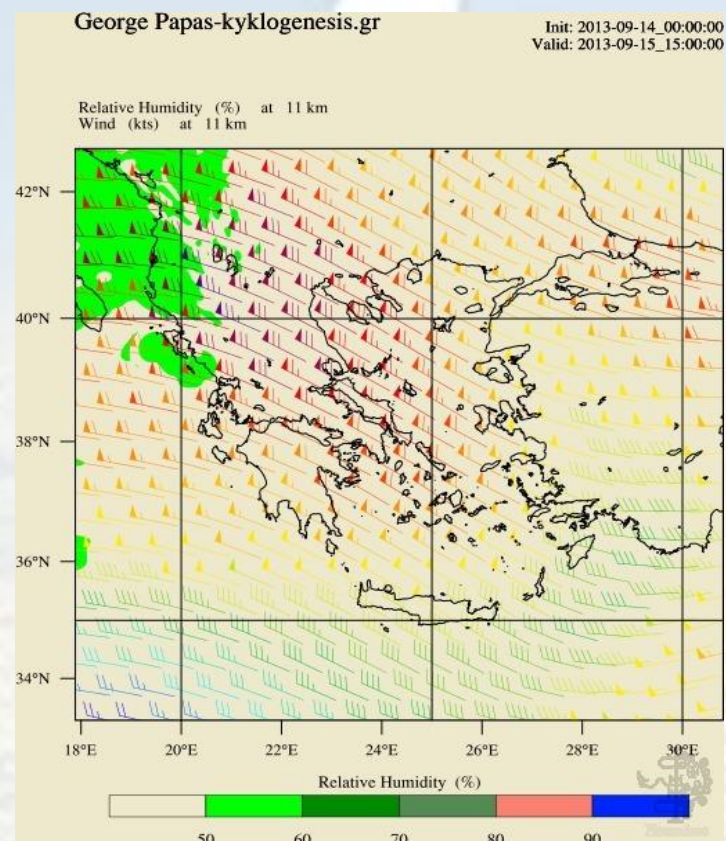
Sun 15.09.13 at 06 UTC



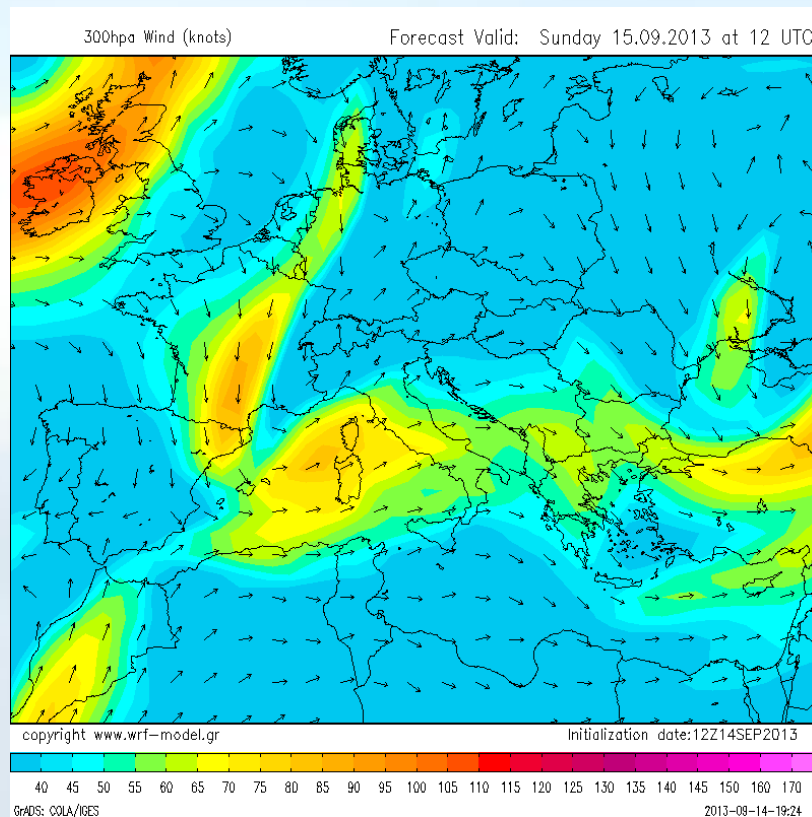
Σχ.10 – Συγκέντρωση σκόνης από το μοντέλο SKIRON



Σχ.11 – Οπτικό πάχος ατμόσφαιρας από το μοντέλο SKIRON



Σχ.12 – Αυξημένη υγρασία και ισχυροί άνεμοι σε υψόμετρο 11km



Σχ. 13 – Άνεμοι στα 300hpa

Στα σχήματα 4 και 5 βλέπουμε το χαμηλό οπτικό πάχος της ατμόσφαιρας, δηλαδή την ιδιαίτερη διαύγεια που την διέκρινε, σπάνια για την εποχή, σύνηθες όμως φαινόμενο μετά την έλευση ψυχρού μετώπου. Στα σχήματα 6 και 7 διακρίνουμε για ακόμη μια φορά τους ισχυρούς ανέμους στο ύψος πτήσης των αεροσκαφών κάτι που σημαίνει ότι τα contrails που δημιουργούνται δεν μπορούν να επιζήσουν για πολλή ώρα. Αντίθετα αν η υγρασία έφτανε οριακά το 100% και οι άνεμοι ήταν ασθενέστεροι, τότε υπήρχαν πολλές πιθανότητες η πτώση πίεσης και θερμοκρασίας των καυσαερίων να συνεχιστούν και να επεκταθούν περισσότερο δημιουργώντας ένα νέφος cirrus ή cirrostratus μεγάλης έκτασης.

Ας αρχίσουμε με τις εικόνες των contrails που παρατηρήθηκαν έντονα όλη τη μέρα της Κυριακής αλλά δεν ήταν επίμονα:



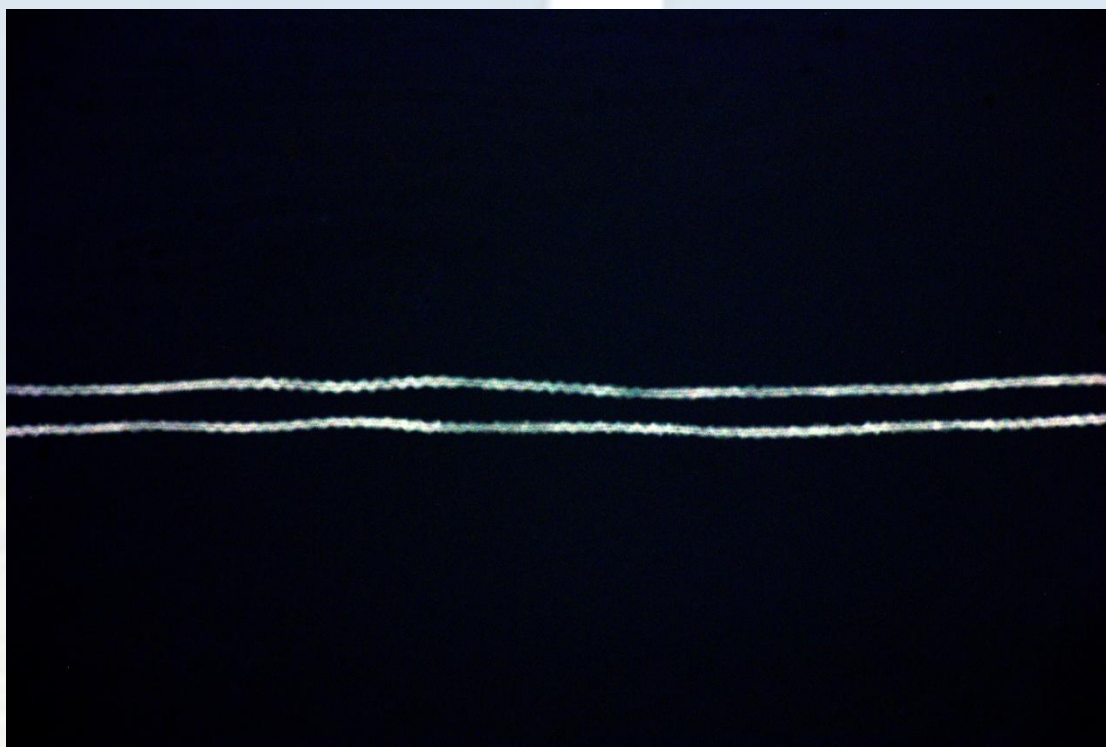
Σχ.14 - Boeing 747-4H6(BDSF) σε υψόμετρο 11.260m πάνω από τα Ιωάννινα, 15/09/2013 ώρα 15:37.



Σχ. 15 - Airbus A340-313X σε υψόμετρο 11.280m πάνω από τα Ιωάννινα



Σχ.16 – Αρχικά υπάρχουν 4 γραμμές νεφών, ενώ μετά αναμιγνύονται σε 2.



Σχ. 17 – Η ουρά του Boeing 747 ελάχιστα δευτερόλεπτα μετά την δημιουργία της. Το συγκεκριμένο ονομάζεται **hybrid contrail**, είναι πιο σπάνιος σχηματισμός από τα συνήθη contrails καθώς αποτελείται από αρκετά μεγάλους κρυστάλλους και οι στροβιλισμοί του νέφους είναι δραματικά έντονοι και γρήγοροι, γι'αυτό και δεν επιζεί για πολύ ώρα στον ουρανό.

Στα σχήματα 8, 9, 10 και 11 βλέπετε τον σχηματισμό των νεφών συμπύκνωσης ή αλλιώς contrails τα οποία σχηματίστηκαν πίσω από τους κινητήρες των αεροσκαφών. Βλέπετε ότι μεσολαβεί μια μικρή απόσταση πίσω από τον κινητήρα και το νέφος, καθώς η αδιαβατική συμπύκνωση που συντελείται χρειάζεται χρόνο κοντά στο μισό δευτερόλεπτο, ανάλογα πάλι με τις συνθήκες που επικρατούν. Στο σχήμα 3 φαίνονται και οι θερμοκρασίες που επικρατούν σε εκείνα τα ύψη, ακόμα και κάτω από τους -50 βαθμούς Κελσίου, άρα τα αέρια που εξέρχονται από τους κινητήρες με θερμοκρασίες πάνω από 500 βαθμούς Κελσίου, παγώνουν σχεδόν αστραπιαία. Στο σχήμα 10 το contrail αποσυντίθεται, σφυροκοπείται από ισχυρούς ανέμους, χάνει το σχήμα του και τελικά μέσα σε 5 δευτερόλεπτα διαλύεται. Στην παρακάτω εικόνα το contrail από αεροσκάφος των τουρκικών αερογραμμών που πετούσε σε χαμηλότερο ύψος την ίδια στιγμή, κατάφερε να διατηρήσει τη δομή του και να αναπτυχθεί για ένα λεπτό περίπου, όποτε και διαλύθηκε:

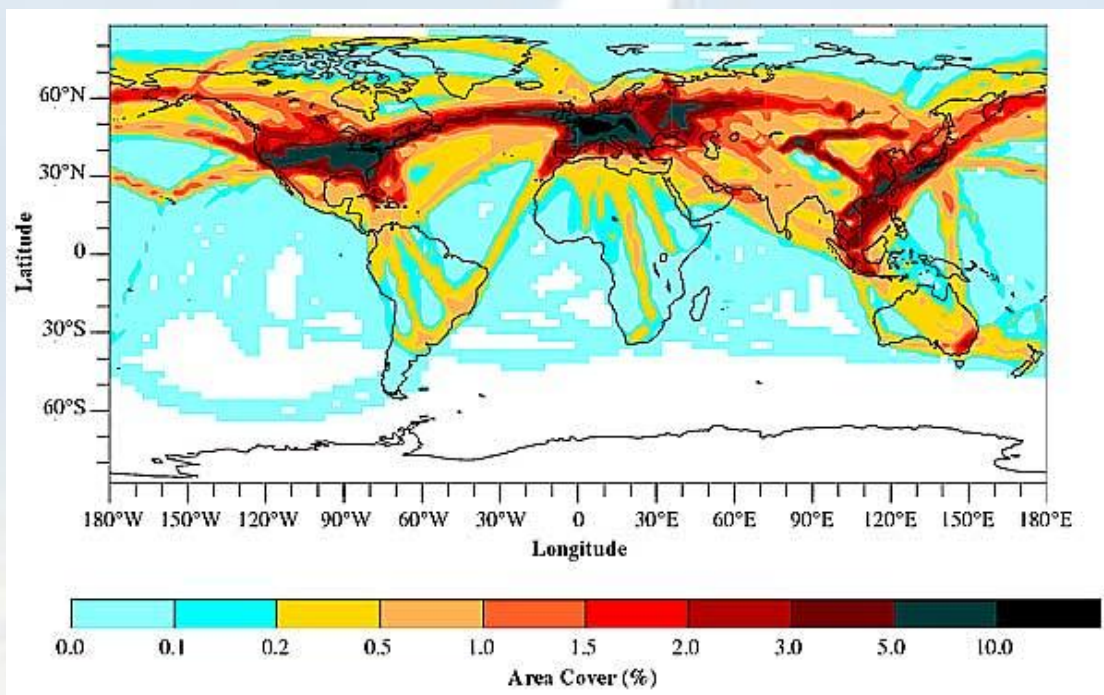


Σχ. 18 – Contrail από αεροσκάφος στα 8.500m πάνω από τα Ιωάννινα.

Αν δούμε σε μια χρονική στιγμή τη κατανομή των αεροπορικών πτήσεων στον πλανήτη, είναι κάπως έτσι:



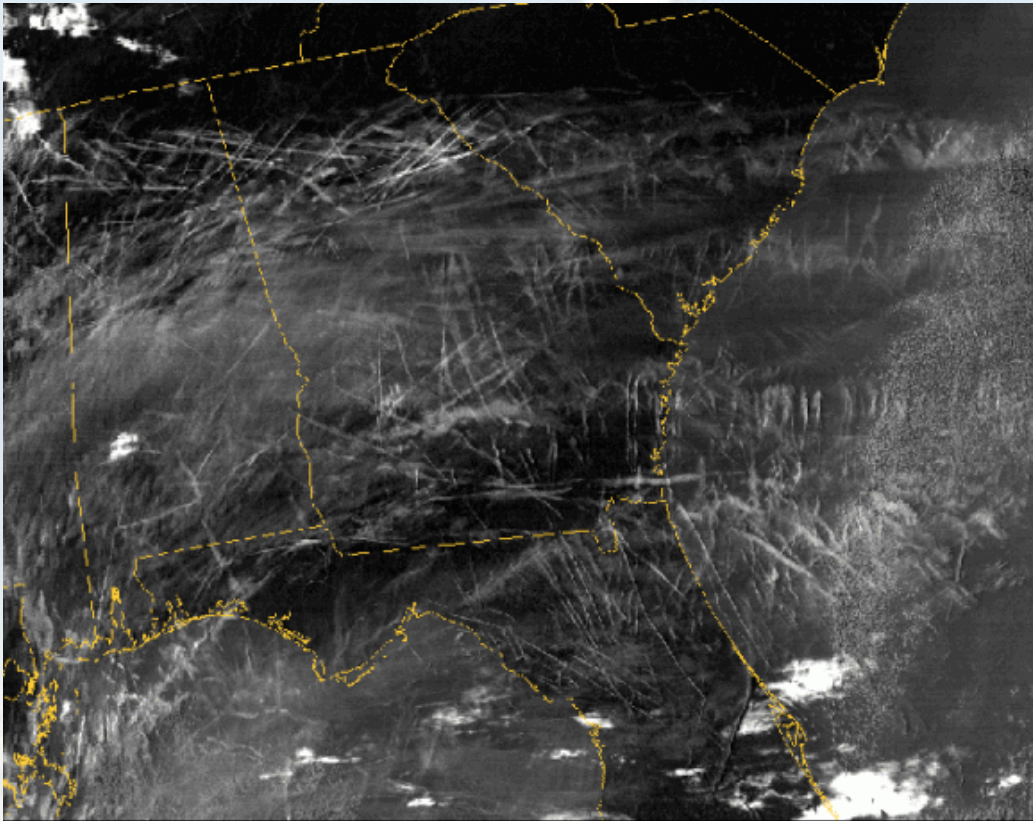
Σχ.19 – Εικόνα από το flightradar24, διαθέσιμο online, δείτε παραπομπές στο τέλος.



Σχ.20 – Κατανομή αεροπορικών πτήσεων σύμφωνα με καταγραφές της NASA.

Καταλαβαίνετε λοιπόν ότι η δημιουργία των contrails δεν απαντάται συχνά σε πολλά μέρη της ατμόσφαιρας της Γης, αλλιώς η πλανητική σκίαση από αυτά θα ήταν μεγάλη. Η ολοένα αυξανόμενη κίνηση των αεροσκαφών όμως ενδέχεται να προκαλέσει μια αύξηση της νέφωσης

στον πλανήτη, δεν γνωρίζουμε όμως σε τι βαθμό θα έφτανε αυτή. Το κυριότερο μέλημα των ερευνητών για τα contrails είναι η μελέτη των επίμονων ιχνών συμπύκνωσης που δεν διαλύονται άμεσα μετά τη δημιουργία τους και καθώς μεγαλώνουν, δεν ξεχωρίζουν από άλλα νέφη cirrus ή cirrostratus. Αυτά τα νέφη προκαλούν τη μεγαλύτερη σκίαση και ερευνητές υποστηρίζουν ότι εμποδίζοντας την εισχώρηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε χαμηλότερα στρώματα, προκαλούν και μικρή πτώση της θερμοκρασίας στην μέση και κατώτερη ατμόσφαιρα. Αντίθετα όμως το βράδυ, η δημιουργία των νεφών προκαλεί θέρμανση της ατμόσφαιρας αφού εμποδίζει την υπέρυθρη ακτινοβολία να διαφύγει στο διάστημα.



Σχ.21 – Δορυφορική εικόνα από τις ΝΑ ΗΠΑ μια μέρα με έντονη εμφάνιση contrail clouds σχεδόν από το σύνολο των αεροσκαφών.

Contrails vs. Chemtrails

Η λέξη chemtrail προέρχεται από τη συνένωση της λέξης chemical δηλαδή χημικός και τη λέξη trail δηλαδή ίχνος. Το χημικό ίχνος δηλαδή που παρατηρεί κάποιος στον ουρανό, έχει αναπτύξει πολλές συνομωσιολογίες σε παγκόσμιο επίπεδο. Σύμφωνα με αυτές υπάρχει ένα παγκόσμιο σχέδιο ψεκασμού με χημικά του πληθυσμού ώστε να του προκαλέσει διάφορες, κυρίως διανοητικές, παρενέργειες. Κανείς όμως από όσους υποστηρίζει κάτι τέτοιο δεν μπορεί να αποδείξει τα λεγόμενά του και ούτε να πει σαφή λόγο εφαρμογής του «παγκόσμιου σχεδίου». Ένα στοιχείο που αντικρούει τις συνομωσιολογίες είναι ότι τα ίχνη των αεροσκαφών δεν βγαίνουν απευθείας από τους κινητήρες των αεροπλάνων, αλλά μεσολαβεί ένα μικρό διάστημα πίσω τους, για τους λόγους που περιγράφηκαν σε παραπάνω παράγραφο. Αυτά τα chemtrails δεν πρέπει να συγχέονται με τους βομβαρδισμούς νεφών με σκοπό την αντιχαλαζική προστασία ή τον έλεγχο του καιρού. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις μεθόδους βρίσκονται φυσικά στην ατμόσφαιρα, έτσι κι αλλιώς. Γνωστό είναι επίσης ότι τα αεροπλάνα μολύνουν με τα καυσαέρια τους την ατμόσφαιρα και καθώς αυξάνεται η εναέρια κυκλοφορία, το πρόβλημα θα ενταθεί, όμως τα καυσαέρια των πόλεων από οχήματα και εργοστάσια επηρεάζουν πιο άμεσα την υγεία των ανθρώπων . Αναπτύσσονται συνεχώς νέες τεχνολογίες κινητήρων με στόχο των περιορισμό των καυσίμων που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα και να μειωθεί όσο γίνεται η θερμοκρασία λειτουργίας τους για να μειωθεί το φαινόμενο του σχηματισμού των ιχνών συμπύκνωσης.

Παραπομπές:

1. NASA – Contrail Education: <http://science-edu.larc.nasa.gov/contrail-edu/> .
2. THE SCIENCE AND PSEUDOSCIENCE OF CONTRAILS AND CHEMTRAILS:
<http://contrailscience.com/> .
3. Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies (CIMSS) University of Wisconsin-Madison: <http://cimss.ssec.wisc.edu/wxwise/class/contrail.html>
4. United States Environmental Protection Agency: Aircraft Contrails Factsheet.
5. Online flight radar: www.flightradar24.com .
6. Aviation Meteorology, Rania Xatzialekou.
7. Contrail science, <http://contrailscience.com/>
8. Γιάννης Παπαδόπουλος, Πιλότος Πολιτικής Αεροπορίας, Hellas Weather messages
9. [Εργαστήριο Μετεωρολογίας](#), Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Τμήμα Φυσικής.

Οι φωτογραφίες των αεροσκαφών είναι του συγγραφέα και οι εικόνες του εξωφύλλου από το Wikipedia, Two F-15 Eagle interceptors approaching Two Soviet MiG-29s (πάνω) και C-130 (κάτω).



Contrails από ένα S7 Airlines Tupolev Tu-154M