

# ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΣΧΑΡΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ

Χατζόπουλος Ιωάννης\*  
Χωριατέλλη Χρυσομάλλη  
Καντζάς Παντελής  
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης και ΣΓΠ  
Πανεπιστήμιο Αιγαίου Τμήμα Περιβάλλοντος  
Μυτιλήνη  
Τηλ/Fax: 22510-36264, [ihat@aegean.gr](mailto:ihat@aegean.gr)

Κάλλος Γεώργιος  
Κατσαφάρδος Πέτρος  
Χρήστος Σπύρου  
Ομάδα Ατμοσφαιρικών Μοντέλων και Πρόγνωσης Καιρού  
Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Φυσικής  
Αθήνα  
[kallos@mg.uoa.gr](mailto:kallos@mg.uoa.gr)

Λέξεις κλειδιά: τηλεπισκόπηση, αεροζόλ, ατμόσφαιρα, σκόνη, Σαχάρα

## Περίληψη

Ο χώρος της ατμόσφαιρας είναι ένας τεράστιος επιχειρησιακός χώρος από όπου εξαρτώνται πολλές ανθρώπινες δραστηριότητες. Ένα φαινόμενο που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τον Ευρωπαϊκό χώρο καθώς και χώρους πέραν του Ατλαντικού είναι η μετακίνηση μέσω της ατμόσφαιρας ποσότητας σκόνης από την Έρημο Σαχάρα. Η επιρροή της σκόνης αυτής είναι πέραν του περιορισμού της ορατότητας στην ατμόσφαιρα και την επιρροή των καιρικών φαινομένων επίσης δημιουργεί προβλήματα υγείας σχετικά με το αναπνευστικό σύστημα καθώς επίσης επηρεάζει εδώ και χιλιάδες χρόνια τη δομή των εδαφών στον Ευρωπαϊκό χώρο. Η πιο σημαντική όμως επιρροή της σκόνης από τη Σαχάρα είναι η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας των χωρών της Νότιας Ευρώπης σε τέτοιο βαθμό ώστε να ξεπερνούν τα όρια που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση για συγκεντρώσεις σωματιδίων, μάλιστα για την Ελλάδα τα 2/3 των υπερβάσεων των ορίων αυτών οφείλονται στη σκόνη από τη Σαχάρα.

Το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης και ΣΓΠ του Πανεπιστημίου Αιγαίου σε συνεργασία με την Ομάδα Ατμοσφαιρικών μοντέλων και Πρόγνωσης Καιρού του Πανεπιστημίου Αθηνών, έχουν κάνει μια πρωτοποριακή έρευνα στην ανίχνευση της σκόνης από την Έρημο Σαχάρα χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου της NOAA AVHRR και αναπτύσσοντας αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούνται επιχειρησιακά τα τελευταία χρόνια και οι προγνώσεις διατίθενται καθημερινά από τη διεύθυνση <http://forecast.uoa.gr>. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται καθώς και τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία.

Έμφαση δίνεται στις τηλεπισκοπικές μεθόδους που ξεκινούν από μια απλή ενίσχυση της εικόνας μέχρι τη χρήση αριθμητικών μοντέλων μεταφοράς ακτινοβολίας

μέσω της ατμόσφαιρας και εκτίμηση της οπτικής πυκνότητας με μοντέλα όπως είναι ο κώδικας 6S. Η χαρτογράφηση της σκόνης βρίσκεται σε ένα γενικότερο ερευνητικό πεδίο που ασχολείται με τη χαρτογράφηση των αεροζόλ στην ατμόσφαιρα για το λόγο αυτό μετρήσεις οπτικής πυκνότητας των αεροζόλ από σταθμούς του συστήματος Aeronet συγκρίνονται με αποτελέσματα της ανάλυσης δορυφορικών εικόνων.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι διάφοροι τύποι σωματιδίων αεροζόλ έχουν επιπτώσεις στη μεσογειακή ατμόσφαιρα. Η έρημος της Σαχάρας θεωρείται ως μια σημαντική πηγή φυσικής παραγωγής σκόνης από σωματίδια ορυκτών. Προβλέπεται ότι ένα επεισόδιο σκόνης σύντομης διάρκειας μπορεί να αποτελέσει ακόμη και το 30% της συνολικής ετήσιας ροής (Bergametti et Al., 1989). Έχει αποδειχθεί ότι οι παραλλαγές το albedo μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές αλλαγές στη μεγάλη κλίμακα κυκλοφορία και τις βροχοπτώσεις, ιδιαίτερα πέρα από τις περιοχές ερήμων, (Charney et Al, 1977, Henderson-Sellers, 1992). Η ατμοσφαιρική μεταφορά εδαφικής σκόνης από την Αφρική δημιουργεί τις έντονες αιχμές συγκέντρωσης αεροζόλ, επηρεάζει σημαντικά τη βιοχημεία ιχνοστοιχείων στον ωκεανό και διαδραματίζουν έναν σημαντικό ρόλο στο pH των σχετικών εφαρμογών, (Dulac et Al 1992).

Η παρούσα εργασία χρησιμοποιεί τέσσερις εικόνες HRPT του αισθητήρα NOAA - 14 AVHRR, οι οποίες λήφθηκαν από το σταθμό SMARTech<sup>TM</sup> του Πανεπιστημίου Αιγαίου στις 19, 20, 21 και 22 Απριλίου το 1997. Η περιοχή που καλύπτεται από τις εικόνες αυτές ξεκινά από το Γιβραλτάρ και επεκτείνεται μέχρι την Κασπία θάλασσα, καλύπτει επίσης μέρος της βόρειας Αφρικής. Κάθε εικόνα έχει ένα πλάτος 2048 εικονοστοιχείων, ή, περίπου 2253 χλμ.

Επίσης επιλέχτηκε ένα σετ 10 εικόνων των δεκτών NOAA-16 και NOAA-17 της περιόδου 15-30 Ιουνίου 2003 και έγινε επεξεργασία με τον κώδικα 6S και τα αποτελέσματα για την μέτρηση της οπτικής πυκνότητας είναι συγκρίσιμα με αυτά του δικτύου *AERONET*.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα επόμενα βήματα, τα οποία αναλύονται με περισσότερη λεπτομέρεια στο κείμενο, απαιτούνται προκειμένου να γίνει επεξεργασία των εικόνων NOAA - AVHRR για την παραγωγή και δημιουργία χαρτών σκόνης.

1. Βαθμολόγηση καναλιών.
2. Υπολογισμός των φαινόμενων θερμοκρασιών για τα κανάλια 3, 4 και 5.
3. Μοντέλο επεξεργασίας εικόνας για την παραγωγή ποιοτικών χαρτών σκόνης.
4. Διόρθωση γεωμετρικών παραμορφώσεων της εικόνας.
5. Παραγωγή χαρτών σκόνης.

Η κατάσταση των αισθητήρων του δορυφορικού δέκτη επιδεινώνεται με το χρόνο και έτσι τα δεδομένα που παράγονται χάνουν μέρος της αξιοπιστίας τους και πρέπει να διορθωθούν. Τα κανάλια 1 και 2 μετασχηματίζονται σε τιμές ακτινοβολίας

(Paronis D., & J. N. Hatzopoulos 1997). Ο μετασχηματισμός βασίζεται σε τύπους βαθμονόμησης μετά την πτήση που δίνουν albedo (%), (Rao et al, 1996), οι διορθωμένοι συντελεστές διόρθωσης λαμβάνονται από τον ιστόχωρο NOAA. Για το NOAA 14 οι σχετικές εξισώσεις που προτείνονται από τη NOAA είναι:

$$\text{Ch1: } L = (0.000118d + 0.557) * (C - 41)$$

$$\text{Ch2: } L = (0.000122d + 0.423) * (C - 41)$$

Όπου το L είναι η τιμή της ακτινοβολίας στο δορυφόρο, C είναι η ακατέργαστη ψηφιακή τιμή του εικονοστοιχείου, d εκφράζει τις ημέρες μετά από την εκτόξευση (d = 0 για τις 30 Δεκεμβρίου 1994). Οι τιμές ακτινοβολίας στο δορυφόρο μετατρέπονται σε τιμές albedo (A) από την εξίσωση  $A = L/F$ , όπου το F είναι η εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία που ενσωματώνεται πάνω από την καμπύλη απόκρισης των καναλιών.

Τα κανάλια 3, 4 και 5 βαθμονομούνται χρησιμοποιώντας την εν πτήσει βαθμονόμηση (Paronis D., J. N. Hatzopoulos, and K. Soultatis, 1997). Οι ακατέργαστοι ψηφιακοί αριθμοί μετασχηματίζονται σε τιμές λαμπρότητας θερμοκρασίας σε μια διαδικασία δύο βημάτων:

(a) Η φαινόμενη ακτινοβολία υπολογίζεται με τη χρήση των συντελεστών βαθμονόμησης που παίρνονται από κάθε 100<sup>n</sup> γραμμή από τα στοιχεία που στέλνει ο δορυφόρος και

(b) Η λαμπρότητα της θερμοκρασίας υπολογίζεται από το νόμο του Plank.

Η βαθμονομημένη εικόνα εισάγεται σε ένα μοντέλο επεξεργασίας εικόνας, το οποίο ανιχνεύει τις επιφάνειες νεφών και εδάφους με τη χρήση των εξής κριτηρίων:

### 1. Ανίχνευση νεφών – ισχύουν τα εξής κατώφλια τιμών:

- Εάν η θερμοκρασία για το κανάλι 4 είναι μικρότερη από 273° K τότε υπάρχει νέφος (Saunders R. W., 1986, Saunders et al., 1988).
- Εάν η μέση τυπική απόκλιση σε ένα 3×3 παράθυρο θερμοκρασίας για το κανάλι 4 είναι μεγαλύτερο από 0.25° K τότε υπάρχει νέφος, (Saunders R. W., 1986, Saunders et al., 1988).
- Εάν το albedo για το κανάλι 2 είναι μεγαλύτερο του 4 % και η θερμοκρασία για το κανάλι 4 είναι μικρότερη από 280° K τότε υπάρχει νέφος, (Saunders R. W., 1986, Saunders et al., 1988).

### 2. Ανίχνευση ξηράς:

- εάν η αναλογία albedo του καναλιού 2 ως προς το κανάλι 1 είναι μεγαλύτερη από 1 τότε υπάρχει ξηρά (Rao et al, 1989).

Το μοντέλο δημιουργεί χωριστές μάσκες για το κανάλι 1 και το κανάλι 2, και έπειτα διαιρεί το albedo του καναλιού 1 με 100, και τις ενοποιεί και έπειτα παράγει μια τελική εικόνα που αποτελείται από τη θάλασσα, το έδαφος και τα νέφη.

Η εικόνα που παράχθηκε δεν είναι πραγματικός χάρτης επειδή η γεωμετρία της έχει παραμορφώσεις λόγω της γήινης περιστροφής κατά τη διάρκεια λήψης της εικόνας και λόγω του ελλειψοειδούς σχήματος της γης. Υπάρχει επίσης μια παραμόρφωση των εικονοστοιχείων, τα οποία βρίσκονται σε απόσταση από το δορυφορικό ναδίρ, και ο πραγματικός Βορράς είναι 9 μοίρες ανατολικά ή δυτικά της δορυφορικής τροχιάς. Επομένως, η διόρθωση της γεωμετρικής παραμόρφωσης είναι απαραίτητη.

Η διόρθωση της γεωμετρικής παραμόρφωσης βασίζεται στη δημιουργία των μαθηματικών σχέσεων μεταξύ των συντεταγμένων των εικονοστοιχείων της εικόνας και των συντεταγμένων των αντίστοιχων σημείων στον χάρτη. Τα σημεία ελέγχου στο

έδαφος (GCP) για την εικόνα υπολογίζονται από το λογισμικό SmartTrack και εφαρμόζεται ένα πολυώνυμο για να δημιουργήσει με επαναδειγματοληψία τη γεωμετρικά διορθωμένη εικόνα. Η προβολή χάρτη είναι γεωγραφική (φ, λ) και χρησιμοποιεί το datum WGS 72. Στη συνέχεια η εικόνα χρωματίζεται από μια ποιοτική παλέτα.

Οι φασματικές ζώνες των εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν δίνονται στους Πίνακες 1 και 2.

Ο δέκτης AVHRR/2 (NOAA 14) αποτελείται από 5 φασματικά κανάλια:

Κανάλι	Περιγραφή	Εύρος (μm)
Κανάλι 1	Ορατό	0.58-0.68
Κανάλι 2	Ανακλώμενο Εγγύς Υπέρυθρο	0.725-1.05
Κανάλι 3	Θερμικό Υπέρυθρο	3.55-3.92
Κανάλι 4	Θερμικό Υπέρυθρο	10.3-11.3
Κανάλι 5	Θερμικό Υπέρυθρο	11.5-12.5

Πίνακας 1: Κανάλια AVHRR/2

Ενώ ο AVHRR/3 (NOAA 16, 17) από 6 κανάλια:

Κανάλι	Περιγραφή	Εύρος (μm)
Κανάλι 1	Ορατό	0.58-0.68
Κανάλι 2	Ανακλώμενο Εγγύς Υπέρυθρο	0.725-1.05
Κανάλι 3A	Ανακλώμενο Μέσο Υπέρυθρο	1.580-1.64
Κανάλι 3B	Θερμικό Υπέρυθρο	3.55-3.92
Κανάλι 4	Θερμικό Υπέρυθρο	10.3-11.3
Κανάλι 5	Θερμικό Υπέρυθρο	11.5-12.5

Πίνακας 2: Κανάλια AVHRR/3

Να σημειωθεί ότι οι επεξεργασίες που δίνονται πιο πάνω έχουν χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία των δεδομένων που αναλύονται μέχρι το έτος 1998. Μετά το 1998 αναπτύχθηκαν νέες μέθοδοι οι οποίες περιγράφονται διεξοδικά στην Μεταπτυχιακή διατριβή του Καντζά Ευριπίδη-Παντελή, 2004.

## ΟΜΑΔΑ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΚΑΙΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑ SKIRON

### 1. Περιγραφή του Συστήματος Πρόγνωσης Καιρού ΣΚΙΡΩΝ (SKIRON/Eta)

Το Σύστημα πρόγνωσης καιρού ΣΚΙΡΩΝ αναπτύχθηκε για να εφαρμοσθεί επιχειρησιακά στην Ελληνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, στα πλαίσια του έργου "Ανάπτυξη ενός συστήματος πρόγνωσης καιρού μεγάλης ακρίβειας σε υπολογιστές υψηλών επιδόσεων" και χρηματοδοτήθηκε από την Ελληνική Κυβέρνηση και την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του προγράμματος ΕΠΕΤ II της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας. Για την εφαρμογή του συστήματος χρειάζεται περιβάλλον Unix/Linux και μετεωρολογικά δεδομένα εισαγωγής. Το όλο σύστημα είναι πλήρως

παραλληλισμένο και μπορεί να εφαρμοστεί περίπου σε κάθε παράλληλο περιβάλλον χρησιμοποιώντας οποιοδήποτε αριθμό επεξεργαστών. Το σύστημα αναπτύχθηκε με σκοπό να μπορεί να λειτουργήσει αυτόματα. Η κύρια συνιστώσα του συστήματος είναι το περιορισμένης κλίμακας μοντέλο πρόγνωσης καιρού Eta, που εκτελείται σε περιορισμένη γεωγραφική περιοχή. Το στάδιο προεπεξεργασίας (pre-processing) του συστήματος προετοιμάζει τα δεδομένα εισαγωγής για το μοντέλο. Μετά την εφαρμογή του μοντέλου το στάδιο μετεπεξεργασίας (post-processing) χρησιμοποιεί τα δεδομένα εξόδου για να γίνει γραφική απεικόνιση καθώς και για άλλες εφαρμογές. Το μοντέλο μεταφοράς του συστήματος υπολογίζει τη διασπορά επιλεγμένων ρύπων, και είναι η συνιστώσα η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη / πρόγνωση καταστροφικών και / ή μόνιμων εκπομπών ατμοσφαιρικών αερολυμάτων. Μία κύρια εφαρμογή αφορά τη συνδυασμένη λειτουργία με ένα μοντέλο για μεταφορά και εναπόθεση σκόνης.

Η Ομάδα Ατμοσφαιρικών Μοντέλων και Πρόγνωσης Καιρού (Atmospheric Modeling And Weather Forecasting Group) επιμελείται την αδιάλειπτη λειτουργία του συστήματος ΣΚΙΡΩΝ στις εγκαταστάσεις της στο Πανεπιστήμιο Αθηνών. Το σύστημα παρέχει πρόγνωση ατμοσφαιρικής κατάστασης μέχρι και 168 ωρών (7 ημερών) τόσο για τον ευρύτερο ελλαδικό χώρο όσο και για ολόκληρη την περιοχή της Μεσογείου και της Νότιας Ευρώπης. Παράλληλα παρέχεται πρόγνωση μεταφοράς και εναπόθεσης σωματιδίων σκόνης από την περιοχή της ερήμου Σαχάρας προς τη Μεσόγειο και την Ευρώπη μέχρι και 72 ωρών (3 ημερών).

### ***1.1. Το Στάδιο Προεπεξεργασίας (pre-processing)***

Στο στάδιο της προεπεξεργασίας χρησιμοποιούνται μετεωρολογικές παράμετροι (γεωδυναμικό ύψος, συνιστώσες του ανέμου και υγρασία) που προκύπτουν από ένα μοντέλο μεγαλύτερης κλίμακας (Global Climate Model). Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει:

- ♦ Την ανάλυση και τα προγνωστικά πεδία από το European Centre for Medium-Range Forecasts (ECMWF).
- ♦ Την ανάλυση και προγνωστικά πεδία από το National Center for Environmental Prediction (NCEP).
- ♦ Άλλα εξαγόμενα πεδία από 3 ή 4-διάστατα συστήματα 'assimilation' όπως το LAPS του NOAA/FSL.

Τα δεδομένα αυτά αποκωδικοποιούνται και παρεμβάλλονται στη δομή του πλέγματος, που χρησιμοποιεί το μοντέλο Eta. Κατά το στάδιο αυτό στο πλέγμα του μοντέλου καθορίζονται παράμετροι της επιφάνειας, που είτε προέρχονται από παρατηρήσεις, είτε προκαθορίζονται υπολογιστικά (ανάγλυφο, θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας, τύποι εδάφους και βλάστησης, θερμοκρασία υγρασία εδάφους. Τα δεδομένα ορογραφίας, που χρησιμοποιούνται προέρχονται από το US Geological Survey (USGS) με ανάλυση 30x30 δευτερολέπτων της μοίρας. Όσο αφορά τη βλάστηση χρησιμοποιούνται τα δεδομένα σε κόμβους πλέγματος (gridded) με ανάλυση 30x30 δευτερολέπτων (σύμφωνα με την ταξινόμηση Olson World Ecosystems) ενώ για τις κλάσεις υφής εδάφους χρησιμοποιούνται δεδομένα υφής εδάφους με ανάλυση 2x2 πρώτων λεπτών. Τα δεδομένα αυτά προήλθαν από συνδυασμό δεδομένων υφής εδάφους κατά ZOBLER και τύπων εδάφους κατά UNEP/FAO. Για τη θερμοκρασία στην επιφάνεια της θάλασσας (SST) υπάρχουν τρεις επιλογές όπως, ο προκαθορισμός του SST σύμφωνα με το γεωγραφικό πλάτος, από το NCAR τα κλιματολογικά δεδομένα με ανάλυση σε μοίρες 1°x1° (μέσες μηνιαίες τιμές) και από το ECMWF τα πεδία σε κόμβους πλέγματος, ή το NCEP με 0.5°x0.5° σε καθημερινή βάση. Για τη θερμοκρασία

και υγρασία του εδάφους χρησιμοποιούνται σε 6 επίπεδα προκαθορισμένα δεδομένα ή δεδομένα gridded από το ECMWF ή το NCEP.

## 1.2. Παραγωγή, Μεταφορά και Εναπόθεση Αδρανούς Ουσίας στο Μοντέλο Eta

Στη δομή του μοντέλου SKIRON/Eta αναπτύχθηκε για να λειτουργήσει ένα ξεχωριστό τμήμα (module) για την ατμοσφαιρική παραγωγή, την μεταφορά και την εναπόθεση αδρανών ουσιών. Η ανάπτυξη έγινε από το Πανεπιστήμιο Αθηνών. Όσον αφορά το τμήμα που σχετίζεται με την μεταφορά, αυτό βελτιώθηκε με την προσθήκη της συνιστώσας της τυρβώδους ανάμειξης (Janjic 1990) και με την ανάπτυξη του τμήματος του μοντέλου για την συγκέντρωση της σκόνης της ερήμου (Nickovic and Dobricic, 1996). Η τελική έκδοση της συνιστώσας της μεταφοράς (Nickovic et al., 2001) περιλαμβάνει για τις πηγές το σχήμα του ιξώδους υποστρώματος (viscous sub layer, Janjic, 1994) και χρησιμοποιεί επίσης το σχήμα της τύρβης του μοντέλου Eta (Lobocki, 1993, Janjic, 1996).

Η συνιστώσα της μεταφοράς περιγράφεται εδώ σύμφωνα με τον Nickovic et al., 2001. Ο προσδιορισμός των οριακών συνθηκών του κατώτερου ορίου για τη συγκέντρωση της σκόνης (πηγές), που αποτελεί τον πιο κρίσιμο παράγοντα για τους υπόλοιπους υπολογισμούς, εξηγείται παρακάτω με περισσότερες λεπτομέρειες.

Το τμήμα της μεταφοράς περιγράφεται με την εξίσωση της συνέχειας τύπου Euler, η οποία ολοκληρώνεται χρονικά ταυτόχρονα με άλλες προγνωστικές εξισώσεις του μοντέλου. Η εξίσωση συνέχειας που χρησιμοποιείται είναι της μορφής που δίνεται παρακάτω:

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} = -u \frac{\partial C_k}{\partial x} - v \frac{\partial C_k}{\partial y} - (w - v_{gk}) \frac{\partial C_k}{\partial z} - \nabla \cdot (K_H \nabla C_k) - \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial C_k}{\partial z}) + (\frac{\partial C_k}{\partial t})_{SOURCE} - (\frac{\partial C_k}{\partial t})_{SINK}$$

Όπου δεν επιτρέπεται αλληλεπίδραση μεταξύ των σωματιδίων

Στην παραπάνω εξίσωση  $u$  και  $v$  είναι οι οριζόντιες συνιστώσες του ανέμου,  $w$  η κατακόρυφη ταχύτητα,  $v_{gk}$  η ταχύτητα εναπόθεσης,  $K_H$  ο πλευρικός συντελεστής διάχυσης,  $K_z$  ο συντελεστής τυρβώδους διάχυσης,  $(\frac{\partial C_k}{\partial t})_{SOURCE}$  η

μεταβολή της συγκέντρωσης λόγω πηγών και  $(\frac{\partial C_k}{\partial t})_{SINK}$  η μεταβολή της συγκέντρωσης από καταβόθρες. Ο τελευταίος όρος περιέχει και τις διεργασίες ξηρής και υγρής εναπόθεσης. Το  $K$  ουσιαστικά δείχνει τον αριθμό διαφορετικών κλάσεων μεγέθους σωματιδίων που χρησιμοποιεί το μοντέλο. Με βάση τους Tegen και Fung (1994) θεωρούμε  $K=4$  κλάσεις σωματιδίων. Για κάθε κατηγορία σωματιδίων η τυπική ακτίνα ( $R_k$ ), πυκνότητα ( $\rho_k$ ) και η αναλογία μεταξύ διαθέσιμης μάζας για ανύψωση (uplift) και συνολικής μάζας ( $\gamma_k$ ) δίνονται στον πίνακα 1.

Η συνολική συγκέντρωση της σκόνης ( $C$ ) δίνεται από τη σχέση

$$C = \sum_{k=1}^K \delta_k C_k \quad \text{με} \quad \sum_{k=1}^K \delta_k = 1$$

Όπου  $\delta_k$  συντελεστής βάρους ο οποίος εξαρτάται από το μέγεθος της κάθε κλάσης σωματιδίων.

k	Είδος	Τυπική Ακτίνα $R_k$ ( $\mu\text{m}$ )	Πυκνότητα $\rho_k$ ( $\text{g/cm}^3$ )	$\gamma_k$
1	πηλός (clay)	0.73	2.50	0.08
2	ιλύς, μικρή (silt, small)	6.10	2.65	1.00
3	ιλύς, μεγάλη (silt, large)	18.00	2.65	1.00
4	άμμος (sand)	38.00	2.65	0.12

**Πίνακας 1:** Οι τέσσερις κλάσεις σωματιδίων με βάση τους Tegen και Fung

Σωματίδια μικρότερα από 10  $\mu\text{m}$  απομακρύνονται κυρίως μέσω υγρής απόθεσης και τυρβώδους ξηρής απόθεσης. Σωματίδια μεγαλύτερα από 10  $\mu\text{m}$  απομακρύνονται κυρίως μέσω καθίζησης λόγω βαρύτητας. Για να μπορέσουμε να συμπεριλάβουμε την εξάρτηση αυτή του τρόπου εναπόθεσης ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων η ιλύς χωρίζεται σε δύο κατηγορίες (small, large), οι οποίες όμως συνεισφέρουν με την ίδια αναλογία κατά την ανύψωσή τους από τον άνεμο. Όσον αφορά την άμμο έχει χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα περίπου 1 ώρα με αποτέλεσμα να μην συμμετέχει σε μεγάλης κλίμακας μεταφορά. Παρολαυτά η μοντελοποίηση της άμμου μπορεί να δώσει σημαντικές πληροφορίες για περιοχές που επηρεάζονται από κινητούς αμμόλοφους (mobile sand dunes).

### 1.3. Καταβόθρες Σκόνης

Η απομάκρυνση της σκόνης από την ατμόσφαιρα πραγματοποιείται με δύο μηχανισμούς: την ξηρή και την υγρή εναπόθεση. Η ξηρή εναπόθεση στο μοντέλο παραμετροποιείται με βάση το σχήμα του Georgi (1986). Στο σχήμα αυτό συμπεριλαμβάνονται διεργασίες εναπόθεσης λόγω βαρυτικής καθίζησης, επιφανειακής τυρβώδους διάχυσης, κίνησης Brown, καθώς και λόγω σύγκρουσης με την επιφάνεια:

$$v_{dep} = \frac{1}{\frac{1}{v_{sl}} + \frac{1}{f_{BO} v_{IL}}}$$

Όπου  $v_{SL}$  η ταχύτητα τυρβώδους καθίζησης (turbulent deposition velocity) στην περιοχή μεταξύ του ύψους του VSL ( $z_S$ ) και των 10 m,  $v_{IL}$  η ταχύτητα τυρβώδους καθίζησης στην κορυφή του VSL και  $f_{BO}$  μια εμπειρική σταθερά που αναφέρεται στη μείωση (blow off) πάνω από επιφάνειες με βλάστηση.

Η συνεισφορά της ξηρής εναπόθεσης στον όρο καταβόθρας δίνεται από:

$$\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_{SINKddep} = -\left(\frac{\partial v_{dep}}{\partial t}\right)^{LM}$$

Η υγρή απομάκρυνση τώρα σε κάθε επίπεδο του μοντέλου υπολογίζεται από τα κλάσματα της ευρείας κλίμακας κατακρήμνισης (large scale precipitation fraction) και της κατακρήμνισης λόγω σύγκλισης (convective precipitation fraction), με το σταθερό λόγο σάρωσης (scavenging).

Για κάθε “κουτί” του μοντέλου (model box) ο ρυθμός με τον οποίο σαρώνεται η σκόνη υπολογίζεται ως:

$$\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right) = -\phi \frac{\partial}{\partial z} \left( C \frac{\partial P}{\partial t} \right)$$

Όπου  $\frac{\partial P}{\partial t}$  ο ρυθμός κατακρήμνισης (precipitation rate) του μοντέλου και  $\phi = 5 \cdot 10^5$  μια σταθερά (washout parameter). Η υγρή εναπόθεση στην επιφάνεια υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)_{SINK_{wdep}} = -\phi \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{C}{\Delta z} \frac{\partial P}{\partial t}\right)^{LM}$$

#### 1.4. Το στάδιο μετεπεξεργασίας (Post-processing)

Τα προγράμματα μετεπεξεργασίας είναι αρκετά και όλα συνδέονται με γραφικά πακέτα. Το κυρίως πρόγραμμα είναι ένα και χρησιμοποιείται με σκοπό την ενοποίηση των πεδίων των διαφόρων ατμοσφαιρικών παραμέτρων τα οποία είναι χωρισμένα από τους διάφορους επεξεργαστές, αφού το μοντέλο έχει παραλληλιστεί (παράλληλες I/O διαδικασίες). Η συχνότητα των εξαγομένων αποτελεσμάτων είναι προκαθορισμένη.

Η καθημερινή πρόγνωση είναι διαθέσιμη στην ιστοσελίδα <http://forecast.uoa.gr> και περιλαμβάνει ταχύτητα ανέμου, γεωδυναμικό και θερμοκρασία στα βασικά ισοβαρικά επίπεδα, βροχόπτωση και ύψος χιονιού, ομίχλη, νεφοκάλυψη, συγκέντρωση σκόνης σε όλη την κατακόρυφη στήλη (Dust Load) καθώς και υγρή και ξηρή εναπόθεση σκόνης.

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα αφορούν τις ημερομηνίες από 19/4/1997 μέχρι και 22/4/1997. Στο Σχήμα 1α δίνονται αποτελέσματα από την επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας του NOAA – AVHRR για την ημερομηνία 19/04/1997, 11:45 UTC, ενώ στο Σχήμα 1β παρουσιάζονται αντίστοιχα αποτελέσματα από την πρόβλεψη του συστήματος Skiron. Από τη σύγκριση υπάρχει σημαντική συμφωνία μεταξύ AVHRR και των αποτελεσμάτων της πρόβλεψης SKIRON.

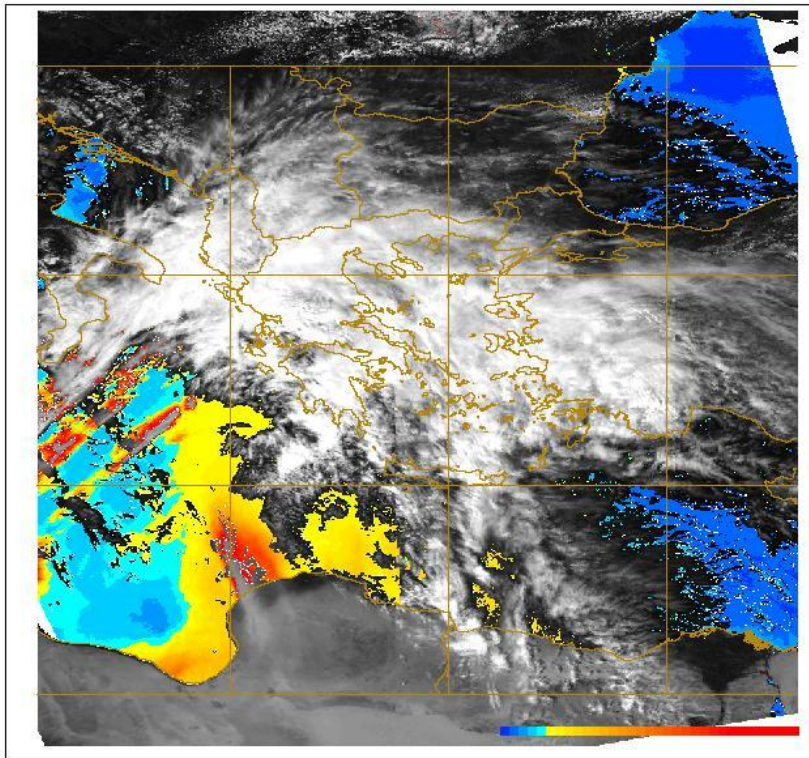
Στο Σχήμα 2α και 2β φαίνεται αντίστοιχα η ομοιότητα μεταξύ των αποτελεσμάτων που παρέχουν τα δύο συστήματα. Το μοντέλο επεξεργασίας εικόνας AVHRR εμφανίζεται να υπερεκτιμά δυτικά της Αιγύπτου. Επίσης στα Σχήματα 3α και 3β καθώς και 4α και 4β μπορεί κανείς να δει ότι τα δύο μοντέλα παρήγαγαν παρόμοια αποτελέσματα.

Ένα από τα σημαντικά προβλήματα για τις εικόνες NOAA είναι η αντανάκλαση από το νερό του ήλιου (Sun-glint). Το πρόβλημα αυτό έχει ιδιαίτερη ένταση κατά τη διάρκεια της ανοιξιάτικης και θερινής περιόδου και μπορούν να οδηγήσουν στα λανθασμένα συμπεράσματα. Ένα άλλο ιδιαίτερο πρόβλημα είναι η νεφοκάλυψη.



# DUST LOADING

UNIVERSITY OF THE AEGEAN - REMOTE SENSING LABORATORY  
19/04/97, 11:45 UTC

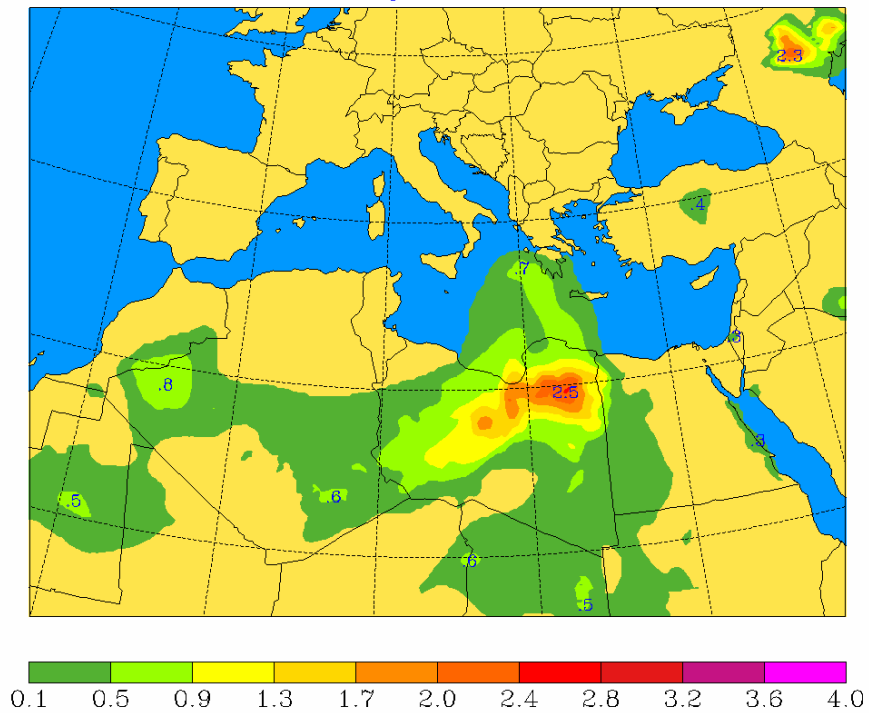


(α)

University of Athens

SKIRON Forecast

Dust Load ( $\text{gr}/\text{m}^2$ ) 19.04.97 at 12 UTC

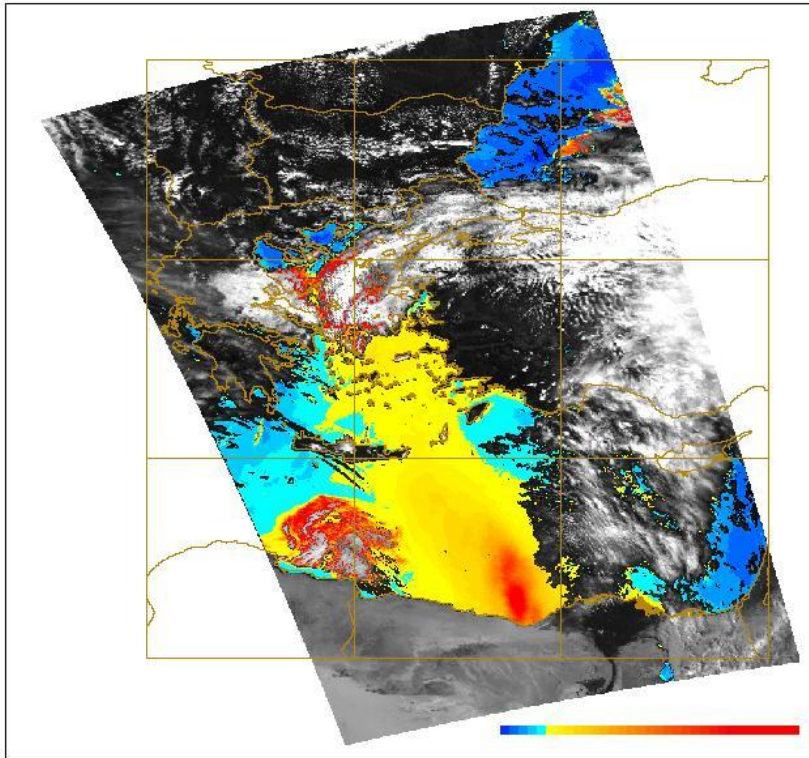


(β)

Σχήμα 1: Αποτελέσματα φορτίων σκόνης από AVHRR και SKIRON ημερομηνίας 19/04/97.

# DUST LOADING

UNIVERSITY OF THE AEGEAN - REMOTE SENSING LABORATORY  
20/04/97, 11:30 UTC

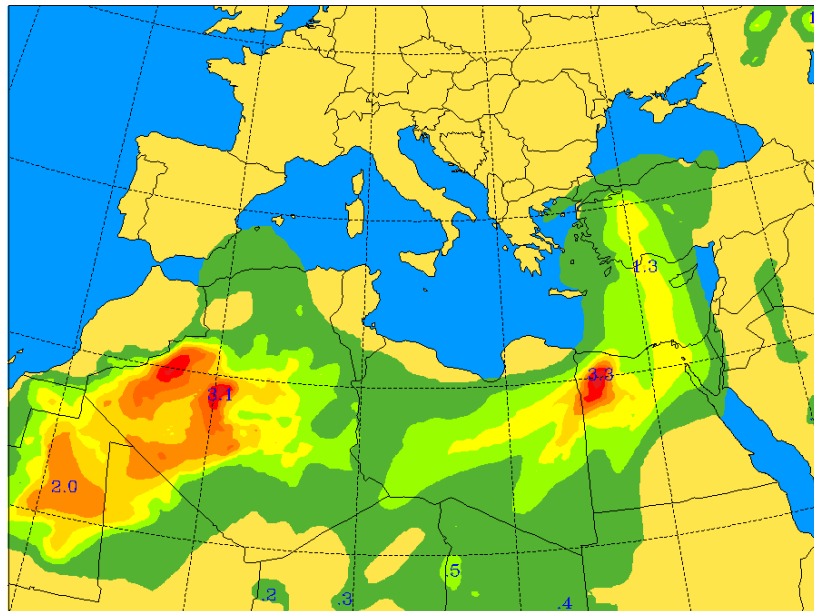


(α)

University of Athens

SKIRON Forecast

Dust Load ( $\text{gr}/\text{m}^2$ ) 20.04.97 at 12 UTC



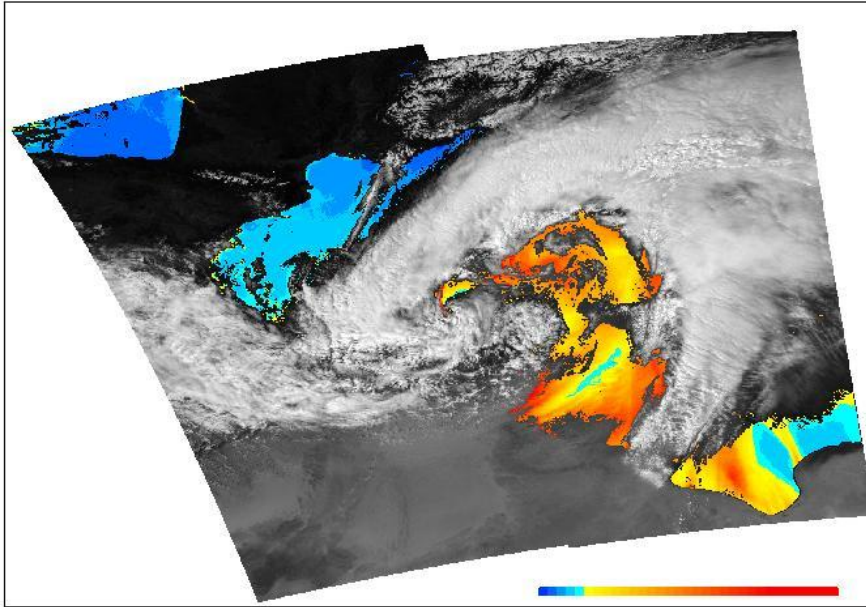
0.1 0.5 0.9 1.3 1.7 2.0 2.4 2.8 3.2 3.6 4.0

(β)

Σχήμα 2: Αποτελέσματα φορτίων σκόνης από AVHRR και SKIRON ημερομηνίας 20/04/97.

# DUST LOADING

UNIVERSITY OF THE AEGEAN - REMOTE SENSING LABORATORY  
21/04/97, 13:05 UTC

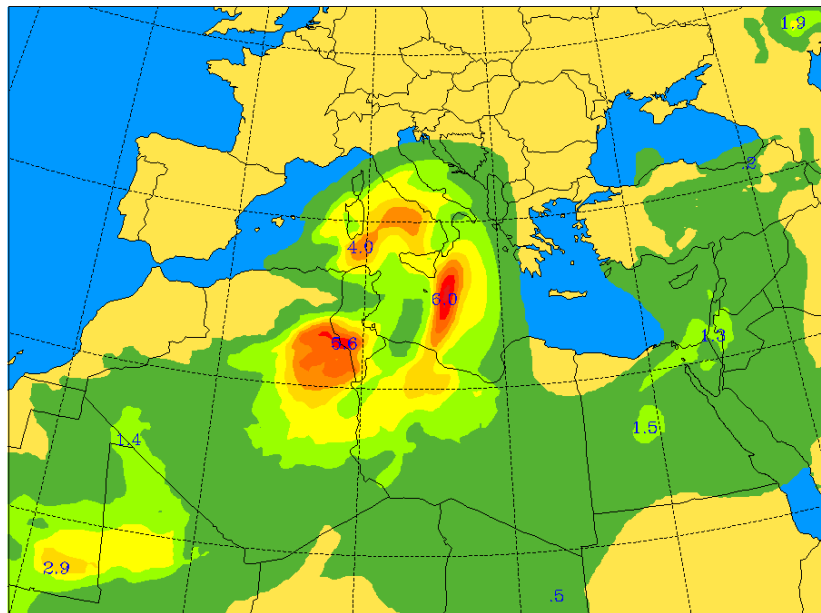


(α)

University of Athens

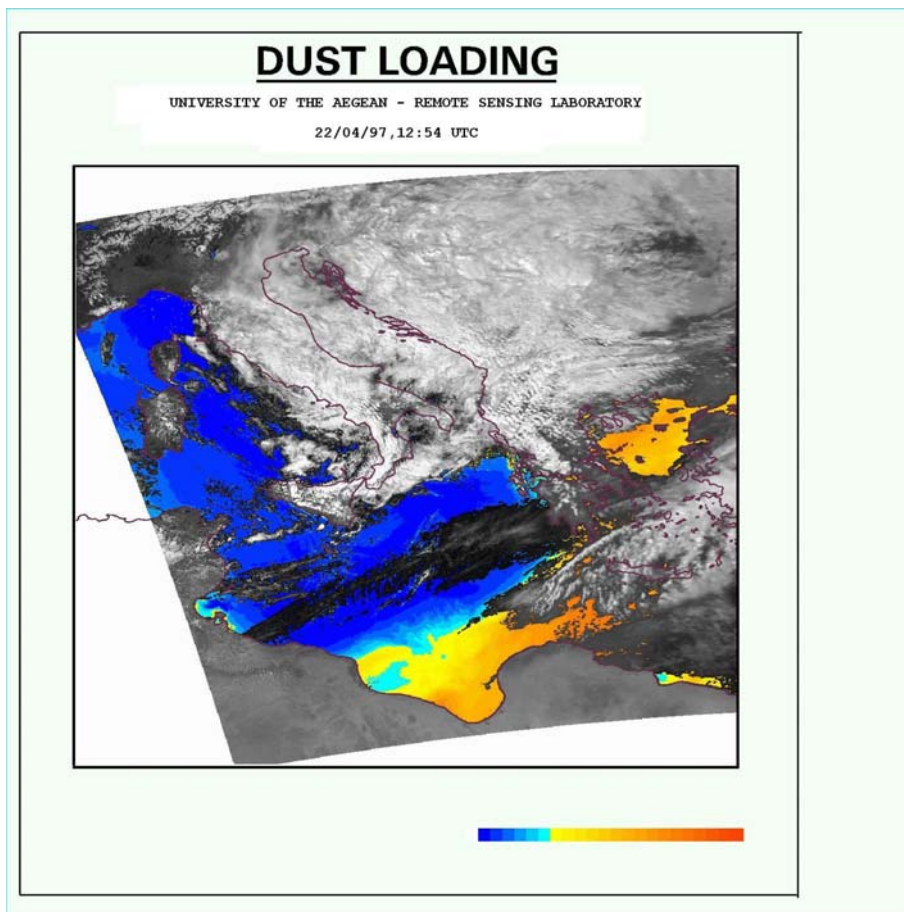
SKIRON Forecast

Dust Load ( $\text{gr}/\text{m}^2$ ) 21.04.97 at 12 UTC



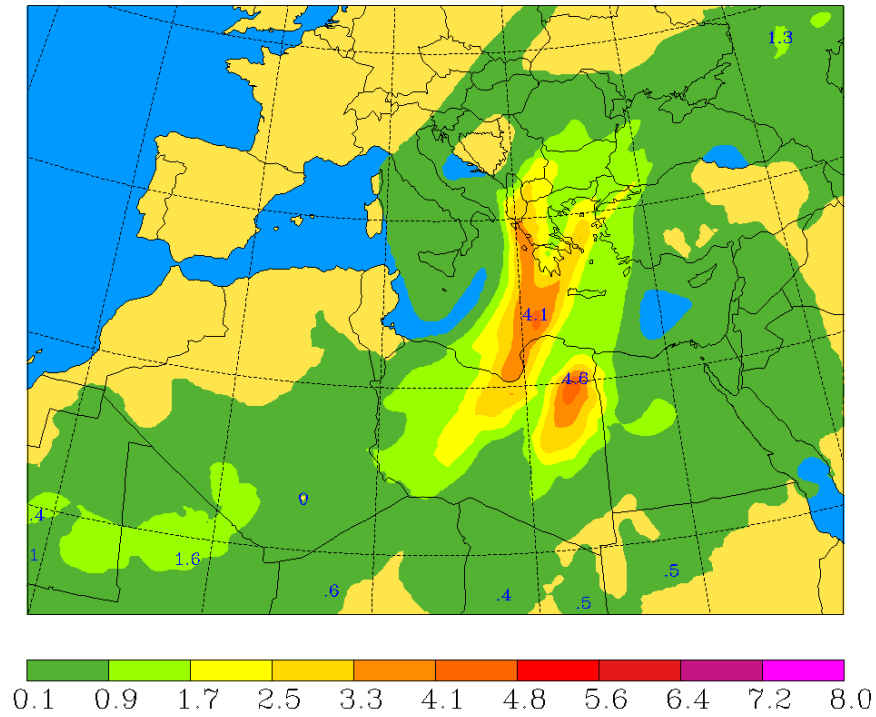
0.1 0.9 1.7 2.5 3.3 4.1 4.8 5.6 6.4 7.2 8.0

(β) Σχήμα 3: Αποτελέσματα φορτίων σκόνης από AVHRR και SKIRON ημερομηνίας 21/04/97



University of Athens
SKIRON Forecast

Dust Load ( $\text{gr}/\text{m}^2$ ) 22.04.97 at 12 UTC

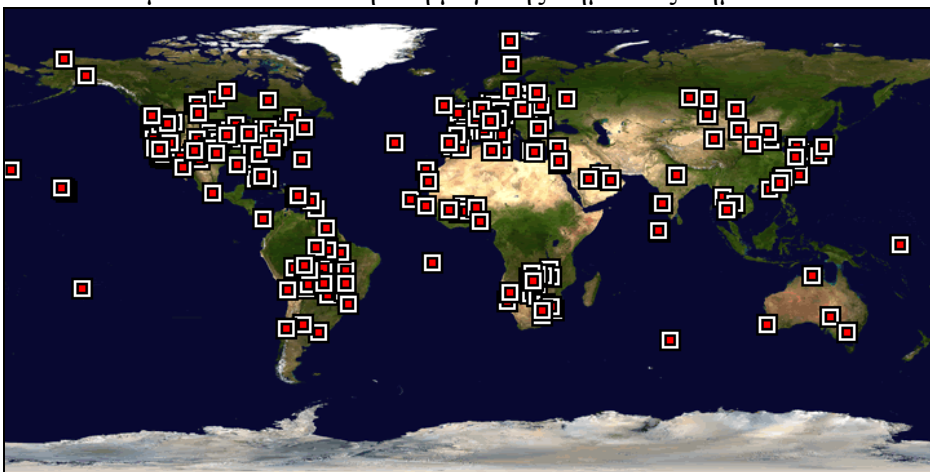


Σχήμα 4: Αποτελέσματα φορτίων σκόνης από AVHRR και SKIRON ημερομηνίας 22/04/97

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ 6S ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑERONET

Ο κώδικας 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum) (Vermeote et al., 1997) που αποτελεί μία αναβάθμιση του 5S χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Ο κυριότερος λόγος της επιλογής αυτής είναι οι πολλές βιβλιογραφικές αναφορές στο 6S καθώς είναι το μοντέλο προτίμησης για πολλούς επιστήμονες. Επιπλέον, η παρουσία του για πολλά χρόνια εγγυάται ότι έχουν βρεθεί οι περιορισμοί που παρουσιάζει και έχουν επισημανθεί ήδη τυχόν μειονεκτήματα. Τέλος, το 2002 άρχισε και η χρήση του από την ίδια τη NOAA, που μέχρι πρότινος χρησιμοποιούσε μία έκδοση του κώδικα Dave. Η σύγκριση που έγινε έδειξε ότι το 6S δίνει καλύτερα αποτελέσματα για τη μελέτη αεροζόλ με τον δέκτη AVHRR, ενώ τονίστηκε ιδιαίτερα και η ευελιξία που παρουσιάζει σε σχέση με τον κώδικα Dave (Ignatov et al., 2002). Το 6S έχει γραφτεί σε fortran και αποτελείται από μία κεντρική ρουτίνα η οποία καλεί τις υπόλοιπες ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη. Η χρήση του αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού είναι πολύ πρακτική και για τη συγκεκριμένη εργασία δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα σε fortran (αρχείο 6sfinal.for) που περιείχε την κεντρική ρουτίνα του 6S και προστέθηκαν στον κώδικα μόνο οι υπορουτίνες που ενδιέφεραν.

Η επιβεβαίωση των τιμών της ατμοσφαιρικής οπτικής πυκνότητας AOD που προέκυψαν έγινε με τη χρήση δεδομένων από το AERONET (Holben, 1998). Το σύστημα AERONET είναι μια φιλόδοξη προσπάθεια της NASA να επιβεβαιώσει και να βαθμονομήσει αποτελέσματα και δέκτες που επικεντρώνονται στην μελέτη των αεροζόλ στην ατμόσφαιρα. Αποτελείται ουσιαστικά από φωτόμετρα (CIMEL Electronique 318A) τα οποία μετρούν το σημειακό AOD ακριβώς στο ζενίθ της κάθε τοποθεσίας καθώς και τη συγκέντρωση υδρατμών. Τα μήκη κύματος στα οποία γίνονται οι μετρήσεις είναι στα 440, 670, 870 και 1020 nm, φανερά πολύ κοντά στα κεντρικά μήκη κύματος των ανακλώμενων καναλιών του AVHRR. Οι τοποθεσίες στις οποίες εγκαθίστανται τα φωτόμετρα (βλέπε Σχήμα 5) είναι προσεκτικά επιλεγμένες ώστε να παρουσιάζουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερη γεωγραφική εξάπλωση αλλά και να δίνουν δεδομένα από ευαίσθητα ή μεγάλης σημασίας σημεία.

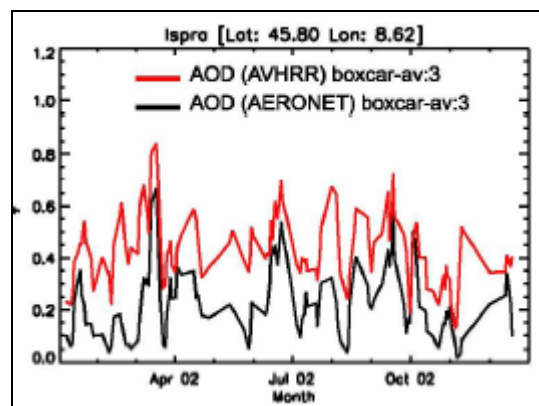


Σχήμα 5: Σταθμοί Aeronet ανά την υφήλιο (μόνιμοι, εποχιακοί και προσωρινοί)

Ορισμένοι από τους σταθμούς λήψης δεδομένων είναι μόνιμοι ενώ άλλοι λειτουργούν εποχιακά ή προσωρινά. Οι τιμές που λαμβάνονται στέλνονται σε μία βάση δεδομένων η

οποία τις επεξεργάζεται και στη συνέχεια προωθούνται σε ιστοσελίδες στο διαδίκτυο όπου σύμφωνα με την τακτική της NASA διατίθενται δωρεάν. Οι σταθμοί μπορούν ακόμα να εντοπίσουν τις ημέρες που υπήρχε νεφοκάλυψη πάνω από το φωτόμετρο και να προειδοποιήσουν τον χρήστη. Για κάθε ημέρα οι σταθμοί του AERONET δίνουν αρκετά δεδομένα σε διάφορες καταγεγραμμένες χρονικές στιγμές. Αυτά που επιλέχθηκαν ήταν εκείνα που πλησίαζαν περισσότερο τον χρόνο που λήφθηκε η εικόνα ενώ αν η χρονική διαφορά ήταν μεγαλύτερη από 45 λεπτά τα δεδομένα απορρίπτονταν καθώς η παρουσία των αεροζόλ στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται σημαντικά με τον χρόνο.

Η χρήση του AERONET για την επιβεβαίωση αποτελεσμάτων που προέκυψαν με τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία έχει γίνει και στο παρελθόν. Οι μελέτες έδειξαν ότι υπάρχει συμφωνία στη διακύμανση του AOD αλλά με την ύπαρξη ενός αρκετά υψηλού offset για τον NOAA-16 όπως φαίνεται στο Σχήμα 6 (Hauzer, 2004).



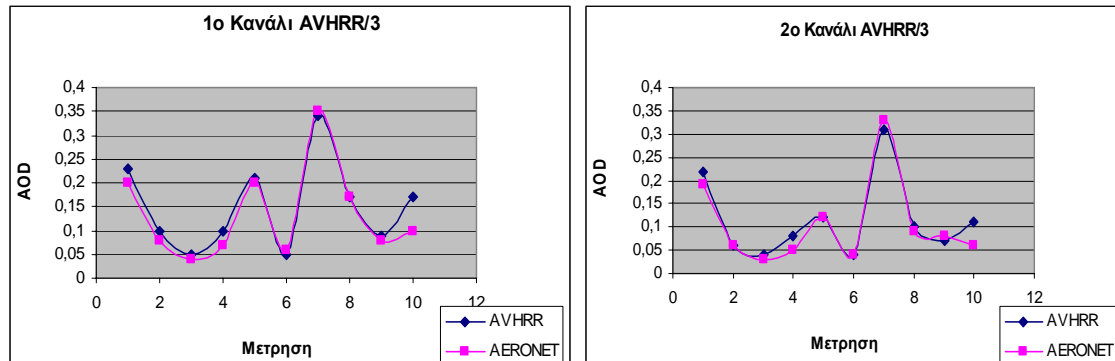
Σχήμα 6: Σύγκριση τιμών AOD από AVHRR (NOAA-16) και AERONET (Hauzer, 2004)

Από το σύστημα της AERONET Επιλέχθηκαν οι σταθμοί FORTH-CRETE και LAMPEDUSA, όπως φαίνονται στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7: Σταθμοί AERONET στη Μεσόγειο

Επίσης επιλέχτηκε ένα σετ 10 εικόνων των δεκτών NOAA-16 και NOAA-17 της περιόδου 15-30 Ιουνίου 2003. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ ικανοποιητικά αφού έδειξαν μία συμφωνία τιμών μεταξύ AVHRR και AERONET με μέση απόκλιση 0.02 για το 1ο και 0.016 για το 2ο κανάλι, όπως φαίνεται στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8: Σύγκριση αποτελεσμάτων AOD από εικόνες AVHRR και AERONET

Η απόκλιση θα μπορούσε να μειωθεί αλλάζοντας την τιμή της ανακλαστικότητας της θάλασσας που εισήχθη νωρίτερα στο 6S. Μεταβολή της ανακλαστικότητας κατά 0.01 μπορεί να μεταβάλλει το εξαγόμενο από τη διαδικασία AOD κατά  $\pm 0.1$  (Hauser, 2004). Κάτι τέτοιο όμως θα αποτελούσε ουσιαστικά παραποίηση των δεδομένων εισόδου προς χάριν των αποτελεσμάτων και έτσι δεν ακολουθήθηκε.

## REFERENCES

- Bergametti, G., L. Gomes, E. Remoudaki, M. Desdois, D. Martin and P. Buat-Menard, (1989): Present transport and deposition patterns of African dusts to the northwestern Mediterranean, in *Paleoclimatology and Paleometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport*, edited by M. Leinen and M. Sarnthein, pp. 227-251, Kluwer Acad., Norwell, Mass, 1989.
- Charney, J., W. J. Quirk, S. M. Chow, and J. Kornfield: A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions, *J. Atmos. Sci.*, 34, 1366-1385, 1977.
- Dulac F., Tanre D., Bergametti G., Buat-Menard P., Desbois M., Sutton D., 1992: Assessment of the African Airborne Dust Mass Over the Western Mediterranean Sea Using Meteosat Data, *J. of Geophysical Research*, Vol. 97, No. D2, pp. 2489 – 2506.
- Georgi, F., 1986: A particle dry-deposition parameterization scheme for in tracer transport models, *J. Geophys. Res.*, 91, 9794-9806.
- Hauser A., Oesch D. and Wunderle S., *Aerosol Optical Depth (AOD) Retrieval from NOAA AVHRR in an Alpine Environment: Validation Using AERONET Data*, Remote Sensing Research Group, Department of Geography, University of Bern, 2004.
- Henderson – Sellers, A., : Intercomparison of land-surface parameterizations launched, *Eos Trans. AGU*, 73, 195-196, 1992.

- Holben B.N., Eck T.F., Slutsker I., Tanre' D., Buis J.P., Setzer A., Vermote E., J. Reagan A., Kaufman Y.J., Nakajima T., Lavenu F., Jankowiak I. and Smirnov A., *AERONET—A Federated Instrument Network and Data Archive for Aerosol Characterization*, Remote Sensing of Environment, 16, 1998.
- Ignatov A., Stowe L., Aerosol Retrievals from Individual AVHRR Channels. Part I: Retrieval Algorithm and Transition from Dave to 6S Radiative Transfer Model, *Journal of Atmospheric Sciences*, 59, 2002.
- Janjic, Z.I., 1994: The Step-mountain Eta Coordinate Model: Further Developments of the Convection, Viscous Sublayer and Turbulence Closure Schemes. *Monthly Weather Review*, 122, 927-945.
- Janjic, Z.I., 1996a: The Mellor-Yamada Level 2.5 turbulence closure scheme in the NCEP Eta Model. *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, WMO, Geneva, CAS/WGNE, 4.14-4.15.
- Kallos, G., P. Katsafados, A. Papadopoulos and S. Nickovic, 2006: Transport of Saharan dust towards the USA: Model simulation, *J. Geophys.Res.*, 111, D09204, doi: 10.1029/2005JD006207
- Kallos, G., S. Nickovic, A. Papadopoulos, D. Jovic, O. Kakaliagou, N. Misirlis, L. Boukas, N. Mimikou, G. Sakellaridis, J. Papageorgiou, E. Anadranistakis, and M. Manousakis, 1997: The regional weather forecasting system SKIRON: An overview, in: *Proceedings of the International Symposium on Regional Weather Prediction on Parallel Computer Environments*, G. Kallos, V. Kotroni, and K. Lagouvardos, ed., ISBN: 960-8468-22-1, University of Athens, Greece, pp. 109-122.
- Kallos, G., S. Nickovic, D. Jovic, O. Kakaliagou, A. Papadopoulos, N. Misirlis, L. Boukas, N. Mimikou, G. Sakellaridis, J. Papageorgiou, E. Anadranistakis, and M. Manousakis, 1997: "The Regional Weather Forecasting System Skiron and its capability for forecasting dust uptake and transport". *Proceedings of WMO conference on dust storms*, 1-6 November 1997, Damascus, Syria, pp 9.
- Καντζάς Ευριπίδης-Παντελής, 2004, «Παραγωγή Χαρτών Οπτικής Πυκνότητας Αεροζόλ με τη Χρήση Δορυφορικών Εικόνων NOAA AVHRR και Κώδικα Προσομοίωσης 6S», *Μεταπτυχιακή διατριβή*, ΠΜΣ Περιβαλλοντική Πολιτική & Διαχείριση, Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης & ΣΓΠ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος.
- Loboeki, L., 1993: A procedure for the derivation of surface-layer bulk relationships from simplified second order closure models. *J. Appl. Meteor.*, 32, 126-138.
- Nickovic, S., D. Jovic, O. Kakaliagou, and G. Kallos, 1997a: "Production and long-range transport of desert dust in the Mediterranean region: Eta model simulations". *22nd NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and Its Applications*, 2-6 June 1997, Clermont-Ferrand, France.
- Nickovic, S., and Dobricic, S. 1996: A model for long-range transport of desert dust, *Monthly Weather Review*, 124, 2537-2544.
- Nickovic, S., O. Kakaliagou, G. Kallos, D. Jovic, and A Papadopoulos, 1997b: "Eta/dust model: Sensitivity to model resolution and desert source specification". *First International Symposium on Sand and Dust Storms*, 2-7 Nov. Damascus, Syria.
- Nickovic, S., G. Kallos, A. Papadopoulos, O. Kakaliagou, 2001: A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere, *J Geophys. Res.*, 106, 18,113-18,129.



- Oscar K.H.,1991: Limitations and capabilities of the NOAA satellite advanced very high radiometer (AVHRR) for remote sensing of the Earth's surface. *Preventive Veterinary Medicine*,11:167-183.
- Paronis D., & J. N. Hatzopoulos 1997, Aerosol Optical Thickness and Scattering Phase Function Retrieval from Solar Radiances Recorded over Water: A Revised Approach. Proceedings of UNESCO IGARSS97
- Paronis D., J. N. Hatzopoulos, and K. Soultatis, 1997: «Land Cover Seasonal Spectral characteristics of the Mediterranean Countries from NOAA AVHRR images», Proceedings of the 1997 ASPRS/ACSM/RT 97 Annual Convention
- Rao, C.R.N., and J. Chen, 1996: Post-launch calibration of the visible and near-infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer on the NOAA-14 spacecraft. *International Journal of Remote Sensing*, 17, 2743-2747.
- Rao C.R.N., J.T Sullivan, C.C Walton, J.W. Brown, R. H. Evans, 1993: Nonlinearity corrections for the thermal infrared channels of the advanced high resolution radiometer: Assessment and recommendations. *NOAA Technical Report NESDIS 69, US Department of Commerce, Washington, DC.*
- Rao C.R.N., L.L.Stowe and E.P.McClain,1989: Remote sensing of aerosols over the oceans using AVHRR data. Theory, practice and applications, *Int.J.Remote Sens.*,10,743-749.
- Saunders R.W.,1986: Automated scheme for the removal of cloud contamination from AVHRR radiance's over western Europe. *Int.J.Remote Sens.*,7,867-886.
- Saunders R.W., and K.T.Kriebel,1988: An improved method for detecting clear sky and cloudy radiance's from AVHRR data, *Int.J.Remote Sens.*,9,123-150.
- Tegen, I, and I Fung, 1994: Modeling of mineral dust in the atmosphere: Sources, transport and optical thickness, *J Geophys. Res.*, 99,22,987-22,914.
- Vager, B.G., and S.S. Zilitinkevitch, 1968: Theoretical model of diurnal variations of meteorological fields, *Meteorology and Hydrology*, 3-18 (in Russian).
- Vermote E.F., Tanre D., Deuzne J.L., Herman M., Moncette J.J., *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S): an Overview*, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 35, 1997.