



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Π.Μ.Σ. "ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ, ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Τεκμηρίωση, Αύξηση Φιλικότητας
στον Χρήστη για το Μοντέλο
Διάδοσης Ακτινοβολίας FORTH*

ΦΑΤΣΕΑ ΕΛΕΝΗ

Επιβλέπων Καθηγητής: Ματσούκας Χρήστος

Περίληψη

Η μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα η μεταβολή των μετεωρολογικών συνθηκών για μεγάλη χρονική διάρκεια, είναι γνωστή ως κλιματική αλλαγή. Η εν λόγω αλλαγή επηρεάζεται τόσο από φυσικούς όσο ανθρωπογενείς παράγοντες, ενώ το γενικό αποτέλεσμα της συνολικής διαδικασίας αποτυπώνεται στο ενεργειακό ισοζύγιο της Γης. Όταν η εισερχόμενη ακτινοβολία ισούται με την εξερχόμενη ακτινοβολία, τότε η θερμοκρασία της Γης διατηρείται σταθερή. Αν όμως η ισορροπία αυτή διαταραχθεί, τότε προκύπτουν οι κλιματικές αλλαγές. Για να γίνει κατανοητή η κλιματική αλλαγή, είναι απαραίτητο να υπάρχει μια ακριβής καταγραφή του ισοζυγίου ενέργειας της ακτινοβολίας της Γης και να γίνει κατανοητό πώς αυτό το ισοζύγιο αλλάζει και αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Τα νέφη, η σύσταση της ατμόσφαιρας, τα ατμοσφαιρικά αερολύματα και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας επηρεάζουν άμεσα το ισοζύγιο αυτό.

Η μελέτη του ισοζυγίου, γίνεται μέσω δορυφορικών μετρήσεων αλλά και από επίγειους σταθμούς. Λόγω όμως της ανομοιογένειας της κατανομής των σταθμών στην επιφάνεια της Γης, η καταγραφή του ισοζυγίου γίνεται περισσότερο με υπολογιστικά μοντέλα προσομοίωσης. Ένα τέτοιο μοντέλο είναι και το μοντέλο διάδοσης ακτινοβολίας FORTH.

Ο σκοπός της εργασίας αυτής, είναι να γίνει μια πιο φιλική προσέγγιση για τον χρήστη του μοντέλου FORTH. Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μια εισαγωγή για την διάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας στο σύστημα της Γης και ποιοι παράγοντες επηρεάζουν το ισοζύγιο ενέργειας της ακτινοβολίας αυτής. Επίσης γίνεται μια αναφορά για την ανάγκη των υπολογιστικών μοντέλων διάδοσης της ακτινοβολίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναφέρονται δύο βασικά μοντέλα διάδοσης και οι αρχές λειτουργίας τους. Έπειτα στο τρίτο κεφάλαιο, αναφέρεται η μορφή του μοντέλου FORTH όπου θα γίνουν οι αλλαγές για να γίνει πιο απλό και πιο φιλικό προς τον χρήστη. Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναφέρονται οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν καθώς και οι ενέργειες που γίναν ώστε να γίνει ευρέως γνωστός ο κώδικας. Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο διατυπώνονται οι περεταίρω ενέργειες που μπορούν να συμβούν στο μέλλον, ώστε να αναπτυχθεί περισσότερο.

Περιεχόμενα

1	Η Ηλιακή Ακτινοβολία	4
1.1	Διάδοση της Ακτινοβολίας στην Ατμόσφαιρα	4
1.1.1	Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου	5
1.2	Μέτρηση της εισερχόμενης ακτινοβολίας	5
2	Μοντέλα Διάδοσης Ακτινοβολίας	6
2.1	Ο κώδικας SBDART	7
2.2	Ο κώδικας libRadtran	8
3	Το μοντέλο FORTH	10
3.1	Εισερχόμενη Ακτινοβολία	10
3.2	Διάδοση της Ηλιακής Ακτινοβολίας στην Ατμόσφαιρα	12
3.3	Καθαρή Εισερχόμενη Ηλιακή Ακτινοβολία	14
3.4	Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	14
3.5	Επίδραση στη Ροή Ακτινοβολίας Λόγω Αερολυμάτων	15
3.6	Δεδομένα για το Μοντέλο	16
3.6.1	Δεδομένα GADS για τας αερολύματα	16
3.6.2	Υπόλοιπα Δεδομένα	16
4	Αλλαγές στο Μοντέλο FORTH	16
4.1	Εισαγωγή Δεδομένων στο μοντέλο και τρόπος εκτέλεσης	17
4.2	Κοινοποίησή του μέσω της πλατφόρμας Github και αρχείο με οδηγίες εκτέλεσης	18
4.2.1	Αρχείο README	18
5	Μελλοντικές Διεργασίες	21

Κατάλογος Σχημάτων

1	Διάγραμμα Ισοζυγίου Ακτινοβολίας	5
2	Webtool of SBDART code in https://paulschou.com/tools/sbdart/	8
3	Η δομή του μοντέλου διάδοσης ακτινοβολίας unspec[Emde et al. ,2016]	

1 Η Ηλιακή Ακτινοβολία

1.1 Διάδοση της Ακτινοβολίας στην Ατμόσφαιρα

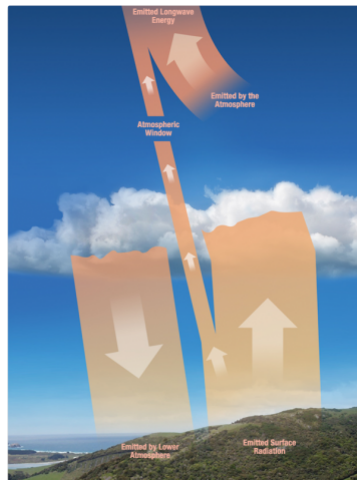
Η περισσότερη ενέργεια που εισέρχεται στο σύστημα της Γης προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία αντανακλάται, απορροφάται και επανεκπέμπεται από το σύστημα της Γης. Σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας, το ισοζύγιο αυτό αντιπροσωπεύει την ισορροπία της εισερχόμενης ακτινοβολίας με την εξερχόμενη ακτινοβολία, με την τελευταία να αποτελείται από την μερική ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας και την εκπομπή ακτινοβολίας από το σύστημα της Γης. Όταν αυτή η ισορροπία διαταραχτεί, το αποτέλεσμα είναι η αύξηση ή η μείωση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και εν τέλει η διαταραχή του κλίματος της Γης.

Η εισερχόμενη ακτινοβολία που αποτελείται από την υπεριώδη και την ορατή ακτινοβολία και την κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία, συνήθως καλείται μικρού μήκους ακτινοβολία (shortwave radiation) και είναι υπεύθυνη για το κλιματικό σύστημα της Γης. Από την ακτινοβολία αυτή, μερική αντανακλάται από τα σύννεφα, μερική απορροφάται από την ατμόσφαιρα και μερική φτάνει μέχρι την επιφάνεια της Γης. Μεγάλα σωματίδια στην ατμόσφαιρα, αλληλοεπιδρούν μαζί της και απορροφούν ένα κομμάτι της με αποτέλεσμα να θερμαίνεται η ατμόσφαιρα. Η θερμότητα αυτή, εκπέμπεται ως υπέρυθη με μεγάλο κύμα ακτινοβολίας (longwave radiation) και μερική από αυτή εκπέμπεται προς το διάστημα.

Η ηλιακή ακτινοβολία που περνάει από την ατμόσφαιρα, είτε αντανακλάται από το χιόνι, τον πάγο ή άλλες επιφάνειες, είτε απορροφάται από το έδαφος. Όταν απορροφάται από το έδαφος, αυξάνεται η θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης και εκπέμπεται από αυτήν ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας αυτής, θερμαίνει τη χαμηλότερη ατμόσφαιρα, η οποία θερμαίνει την επιφάνεια της Γης και ένα μικρό μέρος εκπέμπεται προς το διάστημα. [NASA,2016]



(α') Διάγραμμα που δείχνει την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Μερική αντανακλάται από τα σύννεφα, μερική απορροφάτε από την ατμόσφαιρα και μερική φτάνει μέχρι την επιφάνεια της Γης.[NASA,2016]



(β') Διάγραμμα που δείχνει την ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης. Το μεγαλύτερο μέρος της απορροφάται από την κατώτερη ατμόσφαιρα και εκπέμπεται ξανά πίσω στην επιφάνεια της Γης. Ένα μικρό μέρος της εκπέμπεται προς το διάστημα[NASA,2016]

Σχήμα 1: Διάγραμμα Ισοζύγιου Ακτινοβολίας

1.1.1 Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Τα αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, όπως οι υδατμοί και το διοξείδιο του άνθρακα, απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης. Η ατμόσφαιρα θερμαίνεται και εκπέμπει με τη σειρά της ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος προς την επιφάνεια της Γης, κρατώντας τον πλανήτη ζεστό και άνετο για κατοίκηση. Όταν η συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου αυξάνεται, αυξάνεται και η θερμοκρασία της κατώτερης ατμόσφαιρας και μειώνεται το ποσοστό της ακτινοβολίας που εκπέμπεται στο διάστημα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παγκόσμια κλιματική αλλαγή.[NASA,2016]

1.2 Μέτρηση της εισερχόμενης ακτινοβολίας

Για να γίνει κατανοητή η κλιματική αλλαγή, πρέπει να βρεθούν οι παράγοντες που καθορίζουν τις αλλαγές στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας της Γης. Με τους δορυφόρους υπολογίζεται η μικρού μήκους ακτινοβολία(SW) που ανακλάται και

η μεγάλη μήκους ακτινοβολία(LW) που εκπέμπεται προς το διάστημα με ακρίβεια ώστε να μπορεί να υπολογιστεί το ισοζύγιο. Επίσης, παρακολουθούνται παράγοντες που επηρεάζουν το ισοζύγιο, όπως τα αερολύματα, τα σύννεφα και η ανακλαστικότητα των επιφανειών και καθορίζονται οι αλληλεπιδράσεις τους με το ισοζύγιο.[NASA,2016]

Το ισοζύγιο της SW ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης αποτελεί μεγάλο παράγοντα της ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ της ατμόσφαιρας, της επιφάνειας της ξηράς και της επιφάνειας της θάλασσας, με αποτέλεσμα να επηρεάζει την θερμοκρασία, την ωκεάνια κυκλοφορία και τον υδρολογικό κύκλο. Έτσι, προσδιορίζει το κλίμα σε τοπική αλλά και παγκόσμια κλίμακα. Επίσης, γνωρίζοντας το ισοζύγιο αυτό, μπορούν να ελέγχονται κλιματικά μοντέλα και κυκλοφοριακά μοντέλα. Παρά την σπουδαιότητα της, δεν καθίσταται δυνατόν η γνώση της χωρικής και χρονικής κατανομής της SW ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης. Αυτό συμβαίνει γιατί οι επιφανειακοί σταθμοί είναι ελλιπείς και υπάρχουν περιοχές, όπως οι ωκεανοί και οι πολικές περιοχές, όπου δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση σταθμών και οι δορυφόροι δεν είναι ικανοί να μετρούν άμεσα την ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης, με αποτέλεσμα να πρέπει να αντλούνται οι απαραίτητες πληροφορίες έμμεσα.

Ένας τρόπος για τον έμμεσο υπολογισμό είναι η υπολογιστική μαθηματική μοντελοποίηση, με την προϋπόθεση ότι τα αποτελέσματα μπορούν να επικυρωθούν από ποιοτικές επιφανειακές μετρήσεις. Η ποιότητας των υπολογιστικών μοντέλων έχει βελτιωθεί με την πρόοδο της δορυφορικής τεχνολογίας, κι αυτό γιατί λαμβάνονται καλύτερα δεδομένα για παραμέτρους, όπως τα σύννεφα που επηρεάζουν έντονα την SW ακτινοβολία. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, έχουν εκδοθεί πολυάριθμες μελέτες που εκτιμούν την SW ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης, σε παγκόσμια κλίμακα και είναι πολύ σημαντικές για την κατανόηση του κλίματος σε παγκόσμιο επίπεδο. Επίσης και σε τοπικό επίπεδο είναι σημαντικός ο προσδιορισμός της, καθώς καθορίζεται ο ρόλος που παίζει στο τοπικό κλίμα και ειδικότερα στα ακραία καιρικά φαινόμενα. Επιπρόσθετα η SW ακτινοβολία στην επιφάνεια της Γης, είναι σημαντική για τον καθορισμό των ρυθμών εξάτμισης και σε συνέχεια στο σύνολο του υδρολογικού κύκλου μιας περιοχής και ιδιαίτερα σε περιοχές όπου απειλούνται από απερίμωση. [Ricchiazzi et al.,1998]

2 Μοντέλα Διάδοσης Ακτινοβολίας

Υπάρχουν πολλά μοντέλα διάδοσης ακτινοβολίας. Ο σκοπός τους είναι ο υπολογισμός της μεταφοράς της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω της ατμόσφαιρας. Κάθε υπολογιστικό μοντέλο βασίζεται, στην εξίσωση της μετάδοσης μιας μονοχρωματικής ακτίνας, για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε ένα στρώμα της ατμόσφαιρας. Έτσι, για να υπολογιστεί η ακτινοβολία σε μια φασματική περιοχή με πεπερασμένο πλάτος, πρέπει η παραπάνω εξίσωση να προσαρμοστεί για διάφορα μήκη κύματος. Ο πιο ακριβής τρόπος για την περίπτωση αυτή, είναι να γίνει μια επανάληψη της επίλυσης της εξίσωσης για κάθε μήκος κύματος και έτσι υπολογίζεται η συνεισφορά κάθε φασματικής γραμμής για όλα τα μόρια στο ατμοσφαιρικό στρώμα. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται line-by-line υπολογισμός. Ένας πιο γρήγορος υπολογισμός είναι η διάδοση ακτινοβολίας σε φασματικές ζώνες(bands), όπου η μετάδοση

σε μια συγκεκριμένη φασματική περιοχή χαρακτηρίζεται από ένα σύνολο προκαθορισμένων συντελεστών, ανάλογα με την θερμοκρασία και άλλες παραμέτρους. Επίσης μερικά μοντέλα, λαμβάνουν υπόψιν τους τη σκέδαση από μόρια ή σωματίδια καθώς και την πόλωση.[Wikipedia]

Παρακάτω, παρουσιάζονται δύο υπολογιστικά μοντέλα διάδοσης της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και πώς αλληλοεπιδρούν με τον χρήστη.

2.1 Ο κώδικας SBDART

Ο κώδικας SBDART είναι ένα εργαλείο προγραμματισμού που υπολογίζει την διάδοση της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα της Γης, σε καθαρές και συννεφιασμένες συνθήκες, αλλά και στην επιφάνεια της Γης. Στον υπολογισμό αυτόν, περιλαμβάνονται όλες οι απαραίτητες διεργασίες που επηρεάζουν την υπεριώδη, περιθώρη και ορατή ακτινοβολία και είναι ένας συνδυασμός discrete ordinates ακτινοβολίας, μοντέλων χαμηλής ανάλυσης ατμοσφαιρικής διάδοσης και αποτελεσμάτων από τη σκέδαση Mie λόγω σκέδασης του φωτός σε σταγόνες νερού και κρυστάλλων πάγου. Είναι κατάλληλος για ποικίλες μελέτες ισοζυγίου ενέργειας στην ατμόσφαιρα αλλά και τηλεπισκόπησης, καθώς έχει σχεδιαστεί να δουλεύει και για συγκεκριμένες προκαθορισμένες καταστάσεις και για λεπτομερείς μελέτες. Στο διαδίκτυο υπάρχει και μια φιλική προς τον χρήστη έκδοση(<https://paulschou.com/tools/sbdart/>), που είναι κατάλληλη για μικρούς υπολογισμούς και για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Όσο αναφορά τις λεπτομερείς μελέτες, διατίθεται σε γλώσσα FORTRAN 77 ο κώδικας για περαιτέρω επεξεργασία.

Όσον αφορά τις προκαθορισμένες καταστάσεις, ο SBDART επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει για κάποια δεδομένα, έτοιμες καταστάσεις. Για το προφίλ της ατμόσφαιρας, μπορεί να διαλέξει έξι κλιματικές συνθήκες:

1. τροπικές
2. καλοκαιρινές για μέσα γεωγραφικά πλάτη
3. χειμερινές για μέσα γεωγραφικά πλάτη
4. υποαρκτικές καλοκαιρινές
5. υποαρκτικές χειμερινές
6. συνθήκες US62, που αντιπροσωπεύουν τις τυπικές συνθήκες στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

Για την ανάκλαση του εδάφους, ο χρήστης έχει πέντε βασικούς τύπους εδάφους:

1. νερό του ωκεανού
2. νερό λίμνης
3. βλάστηση
4. χιόνι

5. άμμος

Επίσης υπάρχει η δυνατότητα επιλογής τύπων αερολυμάτων. Για τα αερολύματα που επικρατούν στην κατώτερη ατμόσφαιρα υπάρχουν τρεις κατηγορίες:

1. τυπικά αγροτικά αερολύματα
2. αστικά αερολύματα
3. θαλάσσια αερολύματα

και για τα αερολύματα στην ανώτερη ατμόσφαιρα:

1. φρέσκα ή ηλικιωμένα ηφαιστειακά αερολύματα
2. μετεωρικά αερολύματα
3. αερολύματα υποβάθρου της ανώτερης τροπόσφαιρας

[Ricchiuzzi et al.,1998]

SBDART WebTool (and MatLab Tool)

SBDART: Tool for Computing Radiative Transfer in the Earth's Atmosphere
WebTool written by Paul Schou, Released on 18 Dec 2007. Current version: 1.04
Based on the UCSB SBDART code by Paul Ricchiuzzi et al., 1998. Other points of contact regarding SBDART are Bill O'Hirok and Catherine Gautier.
You need to have Java 1.3 or better to view this applet.

Replot - Auto Scale Y - Display Data - Blackbody Curve - Memory 1 - Memory 2 - Memory 3 - Memory 4	
[INPUT file generator: Current , Memory 1 , Memory 2 , Memory 3 , Memory 4]	
Solar Flux & Filter Database Output Dataset: Total upward flux - TOA (TOPUP) <input type="text"/> Spectral Database NF: LOWTRAN_7 solar spectrum (default) <input type="text"/> Model Atmosphere IDATM: Sub-Arctic Summer <input type="text"/> Filter Function ISAT: NONE <input type="text"/>	Lower wavelength limit WLINF: 4.0 <input type="text"/> μm Upper wavelength limit WLSUP: 20.0 <input type="text"/> μm Spectral resolution WLINC: .1 <input type="text"/> Y Maximum: 25 <input type="text"/> W/m ² or K Y Minimum: 0 <input type="text"/> W/m ² or K Y Unit: Spectral Flux Density W/m ² μm <input type="text"/> Note: this applet will only plot 20,000 points.
Solar BOT and TOP altitude points (km) ZOUT: <input type="text"/> Solar zenith angle SZA: <input type="text"/> deg (default: 0) Solar azimuth angle SAZA: <input type="text"/> deg (default: 0) Cosine of solar zenith angle CSZA: <input type="text"/> deg (default: -1) Solar Distance Factor SOLFAC: <input type="text"/> (default: 1)	Date & Location This section is ignored if iday is not set IDay <input type="text"/> (day of year, today: 166) Time: 6.5200 hours Latitude: 39.255 <input type="text"/> Longitude: -76.71 <input type="text"/>
Cloud Altitude of cloud layers (km) ZCLOUD: <input type="text"/> Optical thickness of cloud layers TLOUD: <input type="text"/> Cloud drop effective radius NRE: <input type="text"/> μm Phase function model used in cloud layers <input type="text"/>	NZ layers: (up to 5 different layers may be specified) Number of layers NZ: <input type="text"/> Liquid water path LWP: <input type="text"/> (g/m ²) Effective radius of liquid water RE: <input type="text"/> μm Frozen water path FWP: <input type="text"/> (g/m ²)

Figure 2: Webtool of SBDART code in <https://paulschou.com/tools/sbdart/>

2.2 Ο κώδικας libRadtran

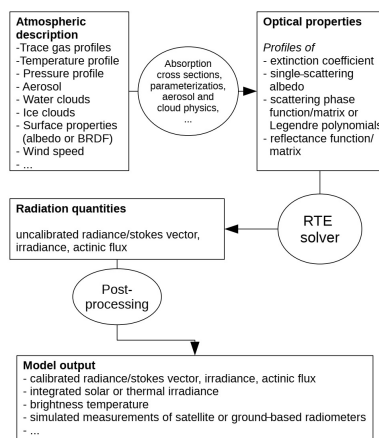
Ο κώδικας libRadtran είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο πακέτο λογισμικού για τον υπολογισμό της μετάδοσης της ακτινοβολίας. Είναι ικανός να υπολογίζει ακτινοβολία και ακτινικές ροές στις ηλιακές και θερμικές φασματικές περιοχές. Έχει

χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, όπως την τηλεπισκόπηση νεφών, αερολυμάτων και ίχνη αερίων στην ατμόσφαιρα της Γης και σε κλιματικές μελέτες για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας που οφείλεται σε διάφορα συστατικά της ατμόσφαιρας, για την πρόβλεψη της UV ακτινοβολίας, για τον υπολογισμό των συχνοτήτων φωτόλυσης, αλλά και την τηλεπισκόπηση των άλλων πλανητών στο ηλιακό σύστημα. Στην τελευταία έκδοσή του, ο κώδικας έχει αναβαθμιστεί και υποστηρίζει την πόλωση, την σκέδαση Raman, την απορρόφηση των μοριακών αερίων και διάφορες προκαθορισμένες επιλογές για τα νέφη και τα αερολύματα. Επίσης, είναι διαθέσιμο και ένα γραφικό περιβάλλον, κάνοντας τη χρήση του κώδικα σημαντικά πιο φιλική προς τον χρήστη, ειδικά για τους νέους χρήστες.

Το κύριο εργαλείο του πακέτου, είναι το μοντέλο διάδοσης της ακτινοβολίας unspec και αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

1. Η ατμοσφαιρική κατάσταση πρέπει να δίνεται ως είσοδος στο μοντέλο (π.χ. προφίλ ιχνών αερίων, περιεκτικότητα υγρού νερού νεφών, μέγεθος σταγονιδίων νεφών προφίλ συγκέντρωσης αερολυμάτων)
2. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μεταξύ διάφορων παραμέτρων για να μπορέσει να μετατρέψει την ατμοσφαιρική κατάσταση σε οπτικές ιδιότητες.
3. Οι οπτικές ιδιότητες μεταφέρονται στην εξίσωση της μετάδοσης της ακτινοβολίας, όπου ο χρήστης έχει την δυνατότητα να διαλέξει πάνω από δώδεκα εξισώσεις και να επιλέξει την εξίσωση που ταιριάζει στην μελέτη του.
4. Ως έξοδος από την επιλεγμένη εξίσωση, λαμβάνεται η ποσότητα ακτινοβολίας ή των ακτινικών ροών.

Το μοντέλο αρχικά είχε σχεδιαστεί να υπολογίζει την UV ακτινοβολία, γι' αυτό και ονομάστηκε unspec, αλλά τώρα καλύπτει όλο το ηλιακό και θερμικό φάσμα. Παρακάτω φαίνεται ένα διάγραμμα της παραπάνω διαδικασίας. [Emde et al. ,2016]



Σχήμα 3: Η δομή του μοντέλου διάδοσης ακτινοβολίας unspec [Emde et al. ,2016]

Επίσης, διατίθεται μια μεγάλη ποικιλία από διάφορα χρήσιμα εργαλεία για την επεξεργασία των δεδομένων. Τέτοια εργαλεία έχουν να κάνουν με μαθηματικά βοηθήματα, π.χ. παρεμβολή, σύγκριση 2 αρχείων ως προς τις αριθμητικές διαφορές τους αλλά και για την δημιουργία των αρχείων εισόδου και την επεξεργασία των αρχείων εξόδου. Τέτοια παραδείγματα είναι, ο υπολογισμός του albedo, των χαρακτηριστικών των νεφών, της αζιμούθιας γωνίας κτλ. Τέλος, διαθέτει πολύ λεπτομερείς οδηγίες χρήσης.

3 Το μοντέλο FORTH

Το μοντέλο διάδοσης της ακτινοβολίας FORTH ονομάστηκε έτσι, επειδή δημιουργήθηκε στο Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνα(ΙΤΕ ή FORTH). Το μοντέλο αυτό, διαχωρίζει την ακτινοβολία σε δύο φασματικές ζώνες, την υπεριώδη και ορατή ακτινοβολία με μήκος κύματος $\lambda < 0.85\mu\text{m}$ που είναι περίπου το 60% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας και την ακτινοβολία στο κοντινό υπέρυθρο(near-IR) με μήκος κύματος $0.85\mu\text{m} \leq \lambda \leq 10\mu\text{m}$ και αντιπροσωπεύει το 40% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας . Στο μοντέλο αυτό, έχει επιτευχθεί ένας συμβιβασμός της ακρίβειας των αποτελεσμάτων και της ταχύτητας εκτέλεσης του κώδικα, όπου έχει ελεγχθεί με την σύγκριση των αποτελεσμάτων του με άλλα μοντέλα τύπου line-by-line υπολογισμούς, σε διάφορες ατμοσφαιρικές συνθήκες σύμφωνα με το πρόγραμμα Intercomparison of Radiation Codes in Climate Models (ICRCCM). Τα αποτελέσματα από την σύγκριση αυτή, έδειξαν μια διαφοροποίηση από τα άλλα μοντέλα κατά 7%. Το μοντέλο αναπτύχθηκε από ένα λεπτομερές φασματικό μοντέλο μεταφοράς ακτινοβολίας από τους Vardavas and Carver 1984, που χρησιμοποιεί την τροποποιημένη μέθοδο delta-Eddington για τον υπολογισμό της πολλαπλής σκέδασης υπεριώδες, ορατό και κοντινό υπέρυθρο για να επιτρέπει την ανάκλαση και τη σκέδαση από τα νέφη, καθώς και την μοριακή απορρόφηση από τους υδρατμούς του νερού, το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο. [N.Hatzianastassiou et al.,2004]

3.1 Εισερχόμενη Ακτινοβολία

Αρχικά η εισερχόμενη συνολική ηλιακή ροή στην ανώτερη ατμόσφαιρα της Γης (TOA) υπολογίζεται μηνιαία. Οπότε η μέση μηνιαία ηλιακή ροή υπολογίζεται αθροίζοντας την αντίστοιχες μέσες ημερήσιες ροές (F_{top}^{\downarrow}), που για κάθε μέρα n δίνεται από τον τύπο:

$$F_{top}^{\downarrow} = S_0 \mu_n d_n / r^2 \quad (1)$$

όπου:

- S_0 : η ηλιακή σταθερά (1367 W/m^2)
- μ_n : το συνημίτονο της μέσης ημερήσιας ηλιακής ζενιθίας γωνίας
- d_n : είναι η διάρκεια της ημέρας που υπολογίζεται από τον τύπο (2)
- $1/r^2$: συντελεστής διόρθωσης λόγω της ελλειπτικής τροχιάς της Γης γύρω από τον Ήλιο

Η διάρκεια της ημέρας υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$d_n = 8.64 \cdot 10^4 H_n / \pi \quad (2)$$

όπου:

H_n : η γωνία ώρας και δίνεται από τον τύπο:

$$H_n = \cos^{-1}(-\tan\theta \cdot \tan\delta_n) \quad (3)$$

όπου:

θ : το γεωγραφικό πλάτος μιας τοποθεσίας στη Γη

δ_n : η ηλιακή απόκλιση που υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\delta_n = \arcsin(0.39779 \sin\lambda_n) \quad (4)$$

με:

$$\lambda_n = L_n + 1.915 \sin g_n \quad (5)$$

$$L_n = 280.46 + K_n + 0.0077(yr - 2000) \quad (6)$$

$$g_n = 357.53 + K_n - 0.0095(yr - 2000) \quad (7)$$

$$K_n = 360(n - 1 + t/24) / 365 \quad (8)$$

όπου:

yr : είναι το έτος

Τέλος, το συνημίτονο της ζενίθιας γωνίας (μ_n) δίνεται από τον τύπο:

$$\mu_n = A_n + B_n \sin H_n / H_n \quad (9)$$

όπου:

$$A_n = \sin\theta \cdot \sin\delta_n \quad (10)$$

$$B_n = \cos\theta \cdot \cos\delta_n \quad (11)$$

[N.Hatzianastassiou et al.,2004]

3.2 Διάδοση της Ηλιακής Ακτινοβολίας στην Ατμόσφαιρα

Η διάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας στο σύστημα της ατμόσφαιρας - Γης, αντιμετωπίζεται χωριστά για κάθε φάσμα, όπου υπολογίζεται η πολλαπλή σκέδαση και η απορρόφηση.

Για την περίπτωση του καθαρού ουρανού, η ατμόσφαιρα διαιρείται σε οριζόντια επίπεδα. Τα επίπεδα ξεκινούν από την επιφάνεια και περιλαμβάνουν τα ατμοσφαιρικά αέρια και αερολύματα. Τα αέρια που θεωρούνται πως αλληλοεπιδρούν με την ακτινοβολία είναι οι υδρατμοί (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και το μεθάνιο (CH_4), όπως επίσης τα αερολύματα και τα νέφη (χαμηλά, μεσαία και ψηλά). [N.Hatzianastassiou et al., 2007]

Η άμεση συνιστώσα της ηλιακής ακτινοβολίας χαρακτηρίζεται από ένα $\mu = \cos z$ (όπου z είναι η ηλιακή ζενίθεια γωνία), το οποίο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του χρόνου. Η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, χαρακτηρίζεται από $\mu = 3/5$, μια ισοδύναμη ζενίθεια γωνία για την μετατροπή της διάχυσης διάδοσης σε άμεση μετάδοση. [N.Hatzianastassiou et al., 2004]

Για τα μήκη κύματος $1.0 \mu m \leq \lambda \leq 10 \mu m$ χωρίζουμε το φάσμα σε δέκα φασματικές ζώνες. Για κάθε μήκος κύματος ή ζώνη, λύνεται ένα σύνολο από εξισώσεις για τη μετάδοση μονοχρωματικών ακτινοβολιών, που περιλαμβάνουν την πολλαπλή σκέδαση και την απορρόφηση για όλα τα στρώματα της ατμόσφαιρας, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Delta-Eddington με τις τυπικές παραμέτρους g (παράγοντας ασυμμετρίας), τ (οπτικό πάχος εξασθένισης) και ω (albedo απλής σκέδασης). Ένας απλός μετασχηματισμός για να μοντελοποιείται παράλληλα η άμεση και διάχυτη ακτινοβολία, είναι να χρησιμοποιούνται τελικά τα:

$$\tau' = (1 - \omega f) \tau \quad (12)$$

$$\omega' = \frac{(1 - f) \omega}{1 - \omega f} \quad (13)$$

$$g' = \frac{g}{1 + g} \quad (14)$$

όπου $f = g^2$.

Για κάθε στρώμα, το συνολικό οπτικό πάχος υπολογίζεται από την σύσταση κάθε στρώματος

$$\tau = \tau_{aers} + \tau_{aera} + \tau_{ma} + \tau_R + \tau_{cs} + \tau_{ca} \quad (15)$$

όπου:

τ_{aers}	το οπτικό πάχος σκέδασης των αερολυμάτων
τ_{aera}	το οπτικό πάχος απορρόφησης των αερολυμάτων
τ_{ma}	το οπτικό πάχος της μοριακής απορρόφησης
τ_R	το οπτικό πάχος σκέδασης Rayleigh (στα near-IR είναι 0)

τ_{cs} το οπτικό πάχος σκέδασης των νεφών

τ_{ca} το οπτικό πάχος απορρόφησης των νεφών

Το albedo απλής σκέδασης ω είναι:

$$\omega = \omega_{aer} + \omega_R + \omega_c \quad (16)$$

με

$$\omega_{aer} = \tau_{aers}/\tau, \omega_R = \tau_R/\tau, \omega_c = \tau_{cs}/\tau \quad (17)$$

και

$$g = \frac{g_{aer} \cdot \omega_{aer} + g_R \cdot \omega_R + g_c \omega_c}{\omega} \quad (18)$$

όπου:

g_{aer} ο παράγοντας ασυμμετρίας των αερολυμάτων

g_c ο παράγοντας ασυμμετρίας των νεφών

g_R ο παράγοντας ασυμμετρίας της σκέδασης Rayleigh που τίθεται ως 0

Ειδικά για την near-IR ακτινοβολία, όπου το μοντέλο δουλεύει με πιο μεγάλα φασματικά διαστήματα, για κάθε διάστημα(b) και για κάθε αέριο(i) η μέση διαφάνεια $t_{b,i,m}$ υπολογίζεται για κάθε συστατικό m μιας κατανομής πιθανοτήτων με συντελεστές $p_{b,i,m}$ και συντελεστές απορρόφησης $k_{b,i,m}$ με

$$\sum_m p_{b,i,m} = 1 \quad (19)$$

από τον τύπο:

$$t_{b,i,m} = \exp(-k_{b,i,m} y_i) \quad (20)$$

όπου y_i είναι η ποσότητα του απορροφητή. Αν υπάρχει μόνο το είδος i του αλληλοεπιδρά η ακτινοβολία μαζί τους σε ένα διάστημα b, τότε η διάδοση δίνεται από τον τύπο

$$t_b = \sum_m p_{b,i,m} t_{b,i,m} \quad (21)$$

Σε περίπτωση όπου τα είδη i και j αλληλοεπιδρούν με την ακτινοβολία στα διαστήματα b η εξίσωση διάδοσης λύνεται με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. [N.Hatzianstassiou et al., 2007]

3.3 Καθαρή Εισερχόμενη Ηλιακή Ακτινοβολία

Η καθαρή εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στην TOA, δηλαδή αυτή που απορροφά ο πλανήτης, $F_{net,top}^{\downarrow}$, η εξερχόμενη SW ακτινοβολία στην TOA, OSR F_{top}^{\uparrow} και η πλανητική ανάκλαση (albedo), R_p , υπολογίζονται από τους παρακάτω τύπους:

$$F_{net,top}^{\downarrow} = \alpha_p F_{top}^{\downarrow} \quad (22)$$

$$F_{top}^{\uparrow} = (1 - \alpha_p) F_{top}^{\downarrow} \quad (23)$$

$$R_p = \frac{F_{top}^{\uparrow}}{F_{top}^{\downarrow}} \quad (24)$$

όπου:

α_p : η πλανητική απορρόφηση

Η σκέδαση και η απορρόφηση της εισερχόμενης SW ακτινοβολίας, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο των νεφών στην ατμόσφαιρα, την σύνθεση της ατμόσφαιρας (αέρια και σωματιδιακή φύση) και την ανακλαστικότητα της επιφάνειας, καθώς σε ένα μικρό βαθμό από τη θερμική δομή της ατμόσφαιρας.

Όσο αναφορά την ανακλαστικότητα, τη διαπερατότητα και την απορρόφηση του CO_2 , του O_3 , των υδρατμών νερού και της σκέδασης Rayleigh, χρησιμοποιούνται παραμετροποιήσεις από αποτελέσματα εργαστηριακών μετρήσεων. Ειδικότερα, θεωρείται στο μοντέλο πως η απορρόφηση του O_3 γίνεται για τα μήκη κύματος 0.45 - 0.85 μm (ορατό φάσμα) και 0.2 - 0.35 μm (υπεριώδες φάσμα). Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από το CO_2 , λαμβάνει χώρα σε όλη την ατμόσφαιρα και παραμελείται η απορρόφηση του CO_2 που συμβαίνει κάτω από τα 0.2 μm , όπου η ηλιακή ροή είναι λιγότερη από 0.01% της συνολικής εισερχόμενης ροής. Η near-IR απορρόφηση από το CO_2 υπολογίζεται στο μοντέλο, όπως και η απορρόφηση από τους υδρατμούς, που είναι σημαντική στην near-IR ακτινοβολία. Οι υπολογισμοί γίνονται χρησιμοποιώντας προσέγγιση δύο ροών για καθαρά σκέδαση νεφών στην ορατή-υπεριώδη ακτινοβολία. Για καθαρό ουρανό, η σκέδαση Rayleigh λαμβάνεται υπόψιν για την ορατή - υπεριώδη ακτινοβολία, αλλά παραλείπεται για την near-IR ακτινοβολία, καθώς η διατομή σκέδασης Rayleigh μειώνεται ταχέως σε σχέση με το μήκος κύματος. Για ένα συννεφιασμένο ουρανό, η σκέδαση Rayleigh παραλείπεται, γιατί το οπτικό πάχος του νέφους είναι αρκετά μεγαλύτερο από το οπτικό πάχος της σκέδασης Rayleigh. [N.Hatzianastassiou et al.,2004]

3.4 Ανακλαστικότητα Επιφάνειας

Η ανάκλαση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας από την επιφάνεια της Γης υπολογίζεται, θεωρώντας πως η επιφάνεια της Γης έχει τέσσερις τύπους: γη, ωκεανός, χιόνι, πάχος(παγομένος ωκεανός). Η ανακλαστικότητα της επιφάνειας (R_g) υπολογίζεται:

$$R_g = f_{land}R_{land} + f_{ocean}R_o + f_{snow}R_s + f_{ice}R_i \quad (25)$$

όπου:

f_i η κλασματική κάλυψη της επιφάνειας από τον κάθε τύπο i ανακλαστικής επιφάνειας.

Η ανακλαστικότητα των ωκεανών R_o υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την αντανάκλαση Fresnel, διορθωμένη για μια μη-λεία επιφάνεια και μια προσπίπτουσα γωνία $\varphi = \cos^{-1}\mu$:

$$R_o = \left[\left(\frac{\sin a}{\sin b} \right)^2 + \left(\frac{\tan a}{\tan b} \right)^2 \right] 0.5 + 0.016 \cos \phi \quad (26)$$

όπου:

$$a = \phi - \sin^{-1}[\sin \phi / 1.333] \quad (27)$$

$$b = 2\phi - a \quad (28)$$

Για την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε μια λεία επιφάνεια νερού, η γωνία ανάκλασης ισούται με την γωνία πρόσπτωσης και για κάθε πρόσπτωση η ανακλαστικότητα ισούται με 0.024. Όμως για έναν τραχύ ωκεανό η ανακλαστικότητα διορθώνεται με τις εξ. 26-28 και στην κάθετη πρόσπτωση έχει τιμή περίπου 0.04. Ο διορθωτικός συντελεστής $0.016 \cos \phi$ τείνει στο μηδέν όταν η ακτινοβολία είναι παράλληλη με την επιφάνεια του ωκεανού, έτσι ώστε να διατηρηθεί η ανάκλαση ίση με 1 σε αυτήν την περίπτωση. Επίσης, συμπεριλαμβάνεται η διόρθωση που λείει πως αν η ανακλαστικότητα Fresnel είναι μεγαλύτερη από την ανακλαστικότητα του πάγου ή του χιονιού, που συμβαίνει για χαμηλά ηλιακά ύψη, τότε η ανακλαστικότητα ορίζονται ίση με την ανακλαστικότητα Fresnel. Για τις τιμές του albedo γενικά τα δεδομένα αντλούνται από τους δορυφόρους, όπως και για την χωρική κατανομή όσο αναφορά τον τύπο του εδάφους και για την ανακλαστικότητα κάθε τύπου, τα δεδομένα αντλούνται από τη βιβλιογραφία.[N.Hatzianastassiou et al.,2004]

3.5 Επίδραση στη Ροή Ακτινοβολίας Λόγω Αερολυμάτων

Τα αερολύματα της SW DRE (ΔF), ή αλλιώς αερολύματα αλλαγής ροής, είναι το φαινόμενο όπου έχουμε αερολύματα στο ισοζύγιο της SW ακτινοβολία στην TOA, στην επιφάνεια της Γης ή και μέσα στην ατμόσφαιρα και δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta F = F - F_{no-aerosol} \quad (29)$$

όπου F , $F_{no-aerosol}$ είναι η καθαρή εισερχόμενη SW ροή ακτινοβολίας (εισερχόμενη μείον εξερχόμενη) με και χωρίς αερολύματα. Τα ΔF_{TOA} , ΔF_{atmab} , ΔF_{surf} , $\Delta F_{surfnet}$ αντιπροσωπεύουν την επίδραση που έχουν τα αερολύματα στην καθαρά εισερχόμενη απορροφούμενη ακτινοβολία στην TOA, μέσα στην ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια της Γης. Το ΔF_{TOA} είναι ουσιαστικά η αλλαγή της εξερχόμενης (ανακλώμενης) ακτινοβολίας στην TOA, μιας και η εισερχόμενη SW ηλιακή ακτινοβολία δεν επηρεάζεται από τα αερολύματα. Οπότε η προηγούμενη εξίσωση γίνεται:

$$\Delta F = F^{TOA} - F_{no-aerosol}^{TOA} \quad (30)$$

Έτσι, θετικές τιμές της ΔF αντιστοιχούν σε μείωση της εξερχόμενης SW ακτινοβολίας στην TOA και αύξηση της απορρόφησης της SW ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια της Γης και αντίστροφα. [N.Hatzianstassiou et al., 2007]

3.6 Δεδομένα για το Μοντέλο

3.6.1 Δεδομένα GADS για τας αερολύματα

Οι οπτικές ιδιότητες των αερολυμάτων, AOT, ω_{aer}, g_{aer} αντλούνται από το GADS, το οποίο δίνει το μέσο όρο των τιμών των ιδιοτήτων των αερολυμάτων, σε σχέση με τον χρόνο και τον τόπο. Εκεί, τα τροποσφαιρικά αερολύματα περιγράφονται από δέκα κύριους τύπους αερολυμάτων που είναι αντιπροσωπευτικά της ατμόσφαιρας και χαρακτηρίζονται ανάλογα με το μέγεθός τους και το δείκτη διάθλασης σε σχέση με το μήκος κύματός τους. Για τις παγκόσμιες κατανομές των αερολυμάτων, δίνονται ως μεσαίες κλιματολογικές τιμές για τα διαστήματα Ιούνιο-Αύγουστο(καλοκαίρι) και Δεκέμβριο-Φεβρουάριο(χειμώνα) σε ανάλυση $5^{\circ}x5^{\circ}$ γεωγραφικού πλάτους, όμως λόγω της σχετικής υγρασίας στο μοντέλο οι παραπάνω οπτικές ιδιότητες μετατρέπονται σε ανάλυση $5^{\circ}x5^{\circ}$ γεωγραφικού πλάτους. [N.Hatzianstassiou et al., 2007]

3.6.2 Υπόλοιπα Δεδομένα

Τα μόρια που θεωρούνται σημαντικά σε αυτό το μοντέλο είναι το CO_2 , το O_3 και το CH_4 . Οι συνολικές ατμοσφαιρικές ποσότητες, διανεμήθηκαν σε κάθε ατμοσφαιρικό στρώμα ανάλογα με το πάχος και το συνολικό ύψος της ατμοσφαιρικής στήλης.

Τα στοιχεία για τους υδρατμούς και την θερμοκρασία βασίζονται στα δεδομένα του GEOS-1 με ημερήσια μέση τιμή. Τα προφίλ για την ατμοσφαιρική πίεση και της σχετικής υγρασίας, αντλούνται από τα δεδομένα της NASA-Langley, όπως επίσης από εκεί αντλούνται και τα δεδομένα για τα νέφη. Τέτοιες πληροφορίες είναι, η ποσότητα των νεφών και η πίεση στην κορυφή των νεφών για χαμηλά, μεσαία και ψηλά νέφη και το οπτικό πάχος των νεφών.

Για την ανακλαστικότητα του εδάφους, χρησιμοποιούνται δεδομένα από την IS-CCP(International Satellite Cloud Climatology Project) όσο αναφορά την κλασματική κάλυψη του πάγου και του χιονιού. [N.Hatzianstassiou et al., 2007]

4 Αλλαγές στο Μοντέλο FORTH

Το παραπάνω μοντέλο, λαμβάνοντας όλα τα δεδομένα που χρειάζεται για να εκτελεστεί, γίνεται λίγο δύσκολο στη χρήση του, καθώς εκτός ότι ζητάει αρκετά δεδομένα, ο τρόπος που πρέπει να δίνονται είναι συγκεκριμένος. Επίσης δε διαθέτει οδηγίες εκτέλεσης. Σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιαστούν οι τροποποιήσεις που έχουν γίνει στο μοντέλο αυτό με σκοπό να γίνει πιο ευέλικτο

προς τη χρήση του, να γίνει γνωστό στην επιστημονική κοινότητα μέσω της πλατφόρμας Github και να δημιουργηθεί αρχείο με κατάλληλες οδηγίες, έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευρέως.

4.1 Εισαγωγή Δεδομένων στο μοντέλο και τρόπος εκτέλεσης

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, για την εισαγωγή των δεδομένων που χρειάζεται το μοντέλο για να εκτελεστεί, πρέπει τα διάφορα δεδομένα αυτά να αντλούνται από συγκεκριμένες διεθνείς βιβλιοθήκες. Τα δεδομένα αυτά, είναι χαρακτηριστικά για κάθε γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος όπως και επίσης και για κάθε ύψος. Η δομή του κώδικα ζητάει από τον χρήστη να δίνει τα δεδομένα για χρονικό διάστημα ενός χρόνου και τα δεδομένα να διαβάζονται σε στήλες, που κάθε στήλη αντιπροσωπεύει έναν μήνα, καθώς και να δίνονται για όλα τα γεωγραφικά πλάτη και ύψη. Για να γίνει απλούστερη η διαδικασία αυτή, η τροποποίηση που έγινε είναι να ζητούνται δεδομένα για μόνο ένα γ. πλάτος και γ. ύψος καθώς και για μία συγκεκριμένη στιγμή. Έτσι, αν χρειαστεί να λειτουργήσει για περισσότερα σημεία ή για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, η αναπροσαρμογή του είναι πιο εύκολη.

Όσο αναφορά τα δεδομένα εισαγωγής, ένα χαρακτηριστικό του κώδικα είναι πως διαθέτει αρκετές υπορουτίνες που υπολογίζουν τα διάφορα δεδομένα που χρειάζεται. Έτσι, για παράδειγμα για να υπολογίσει την ανακλαστικότητα της ξηράς για ένα σημείο, ζήτησε την κάλυψη του σημείου αυτού από ξηρά, νερό και πάγο και με κατάλληλη ρουτίνα έβρισκε την ανακλαστικότητα. Σε τέτοιες περιπτώσεις αυτό που έγινε είναι να καταργηθούν οι ρουτίνες αυτές και να ζητούνται άμεσα από τον χρήστη οι πληροφορίες αυτές. Το αντίστοιχο έγινε για τις παρακάτω υπορουτίνες:

DatIceFraction Ζητούσε από τον χρήστη δεδομένα για να υπολογίσει μέσω της ρουτίνα Surface την ανακλαστικότητα κάθε σημείου. Πλέον ζητείται η ανακλαστικότητα απευθείας από τον χρήστη και η συγκεκριμένη έχει καταργηθεί όπως και η Surface.

NASASurfAlbedo Έδινε το ποσοστό της ξηράς για κάθε σημείο και δινόταν στην Surface. Έχει πλέον καταργηθεί.

NCEPDatAtm Διάβαζε διάφορα δεδομένα για τα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας. Καταργήθηκε, καθώς ζητούσε τα δεδομένα σε διαφορετικές διαστάσεις και ζητούνται πλέον όσα είναι αναγκαία από τον χρήστη.

NCEPRelHum Διάβαζε δεδομένα για τη σχετική υγρασία, που πλέον δε χρειάζονται και καταργήθηκε.

SWDatInvCloud Έπαιρνε πληροφορίες για τη νεφοκάλυψη και διάβαζε 15 διαφορετικούς τύπους νεφών. Πλέον οι τύποι των νεφών έχουν καταργηθεί και τα δεδομένα που χρειάζονται για τα νέφη, όπως η σκέδαση, η απορρόφηση και το φυσικό πάχος, δίνονται από τον χρήστη απευθείας.

ReadGADS Διάβαζε δεδομένα για τα αερολύματα που υπάρχουν και με άλλες διάφορες ρουτίνες υπολογίζονταν τα χαρακτηριστικά τους. Πλέον, υπάρχουν βιβλιοθήκες με τα χαρακτηριστικά των αερολυμάτων και η διαδικασία αυτή είναι περιττή. Τα χαρακτηριστικά τους δίνονται απευθείας από τον χρήστη.

Στο σύνολό τους, καταργήθηκαν 16 ρουτίνες και προστέθηκε μια μέθοδος για την αναπροσαρμογή των δεδομένων που εισάγει ο χρήστης.

Η μέθοδος αυτή, αποτελείται από 7 ρουτίνες. Ο κώδικας αυτός προέρχεται από το πανεπιστήμιο του Μίσιγκαν, The Center for Space Environment Modeling (CSEM) με άδεια χρήσης και από το σύνολο του συγκεκριμένου κώδικα αξιοποιήθηκαν οι ρουτίνες που επιτρέπουν την γραμμική παρεμβολή (linear interpolation) ενός διδιάστατου πίνακα.

4.2 Κοινοποίησή του μέσω της πλατφόρμας Github και αρχείο με οδηγίες εκτέλεσης

Όσο αναφορά την διάδοση του μοντέλου στο ευρύ κοινό, δημιουργήθηκε στην πλατφόρμα Github ένα repository με τον κώδικα αυτόν. Η διεύθυνση είναι: <https://github.com/efatsea/FORTH> και δίνονται αναλυτικά οι παρακάτω οδηγίες για την εκτέλεση του κώδικα μέσω του αρχείου README.

4.2.1 Αρχείο README

FORTH

Installation

The model is written in fortran , so it needs a fortran compiler. Also it uses a C library and needs the MPI library to be installed, also it needs the libraries: -llapack, -lblas, -libblas-dev, liblapack-dev. After you run the commans 'make' to compille it and then it runs with ./Main

Input parameters

The user must provide the model with the following parameters:

Seperate the data in the files with space. In file dat you will find the next files.

cloudfile.txt

This file is about the clouds data. Place the next keywords and after that the value you prefer.

dpcn, the thickness of the cloud in mb
pc, the pressure in the top of the cloud in mb
ac, the cloud cover rate
tauab, optical depth of absorption for the cloud
tausc, optical depth of scattering for the cloud

Here is an example:

```
ac 0
tausc 1
tauab 1
dpcn 70
pc 300
```

atmofile.txt

This files is about the atmospheric data. They have to be in ascending order

1st column:zn(:), vector of one dimension with the heights in km

2nd column:ptn(:), vector of one dimension, pressure of the atmosphere over height in mb

3rd column: tn(:), vector of one dimension, temperatures of the atmosphere over height

4th column: humn(:), vector of one dimension, specific humidity of the atmosphere over height

Here is an example:

```
0 1013 288.2 4.82E-03
1 898.79999 281.7 3.78E-03
2 795 275.2 2.88E-03
3 701.20001 268.7 1.98E-03
616.59998 262.2 1.34E-03
```

datafile.txt

Place the next keywords and after that the value you prefer, the order is not fixed.

lat, latitude

lon, longitude

amu, zenith angle of the sun

psurf, pressure in the surface in mb

wo3, amount of ozone O3 (g/cm2)

wco2, amount of CO2 (g/cm2)

wch4, amount of CH4 (g/cm2)

wn2o, amount of N2O (g/cm2)

rgvis, albedo in the visible region

rgnir, albedo in the NIR region

Here is an example:

```
aero .TRUE.  
lat -10  
lon -15  
amu 0.5  
psurf 1013  
wo3 0.002  
wco2 0.54  
wch4 0.0009  
wn2o 0.00045  
rgnir 0.17984082  
rgvis 0.2178408
```

If there is aerosol layers then the next files are :

aerowl.txt

Here is a one dimension array of the wavelengths in micrometers. They have to be in ascending order

Here is an example:

```
0.250  
0.300  
0.350  
0.400  
0.450  
0.500
```

aeroheights.txt

Here is a one dimension array of the height in km. They have to be in ascending order

Here is an example:

```
0.00  
0.13190  
0.26623  
0.40206  
0.53942  
0.67838  
0.81901  
0.96136
```

aeroasym.txt

Here is a one dimension array of the asymmetry factor over the wavelengths.
Here is an example:

```
0.7357  
0.7299  
0.7297  
0.7289
```

aerossa.txt

Here is a one dimension array of the single scattering albedo over the wavelengths. Here is an example:

```
0.8690  
0.9089  
0.9166  
0.9183
```

aeroopd.txt

Here is a 2-dimension optical thickness over height and wavelengths
dimension i : over wavelengths
dimension j : over height
Here is an example:

```
0.0152 0.0141 0.0132 0.0121 0.0113 0.0106 0.0098 0.0094 0.0089 0.0084 0.0081  
0.0078 0.0075 0.0072 0.0069 0.0068 0.0068 0.0068 0.0069 0.0068 0.0069 0.0071  
0.0071 0.0068 0.0037  
0.0158 0.0145 0.0135 0.0124 0.0115 0.0107 0.0100 0.0095 0.0089 0.0086 0.0081  
0.0078 0.0075 0.0072 0.0068 0.0064 0.0064 0.0066 0.0066 0.0068 0.0068 0.0068  
0.0068 0.0066 0.0037
```

5 Μελλοντικές Διερργασίες

Η παραπάνω προσπάθεια είναι ένα πρώτο σημαντικό βήμα για την καλύτερη αξιοποίηση του κώδικα. Αν και έγιναν αρκετές αλλαγές, υπάρχουν ακόμα ενέργειες που μπορούν να κάνουν το μοντέλο πιο γνωστό αλλά και πιο φιλικό προς τον χρήστη.

Αρχικά, όπως και στον κώδικα SBDart και libRadtran, μπορεί να οριστούν προκαθορισμένες ιδιότητες για την ατμόσφαιρα ή τα αερολύματα και ο χρήστης να μπορεί να διαλέγει, ανάλογα την περίπτωση που θέλει να μελετήσει. Επίσης, για τα δεδομένα εισαγωγής μπορεί να γίνει ακόμα καλύτερη προσαρμογή ως προς την εισαγωγή τους, χρησιμοποιώντας μια άλλη γλώσσα προγραμματισμού, όπως

πχ. Python, για να είναι πιο δυναμικά. Στην ίδια λογική, θα μπορούσε να κατασκευαστεί ένα γραφικό περιβάλλον, όπου θα μπορεί ο χρήστης να επιλέγει τα δεδομένα που θα βάλει ή και ακόμα να επιλέγει τι είδος φυσικής να λαμβάνεται υπόψιν. Όσον αφορά τη διάθεσή του στο Github, θα μπορούσε το readme file να γίνει πιο συγκεκριμένο και να αναφέρει γενικά πως δουλεύει το μοντέλο, δίνοντας λεπτομέρειες, όπως με ποιά εξίσωση δουλεύει, τι είδος φυσικές διεργασίες λαμβάνει υπόψιν κτλ. Τέλος, τα αρχεία εξόδου δε μελετήθηκαν καθόλου στην εργασία αυτή και θα μπορούσε στο μέλλον, πρώτον να γίνει έλεγχος των αποτελεσμάτων των παραπάνω αλλαγών που πραγματοποιήθηκαν, αλλά και να αλλάξει η μορφή τους αν γίνεται, ώστε η τελική τους μορφή να είναι εύκολα προσβάσιμη για περαιτέρω επεξεργασία.

References

- [NASA,2016] Tour of the Electromagnetic Spectrum, 2016 3rd Edition National Aeronautics and Space Administration by Science Systems and Applications, Inc. and Digital Management, Inc.
- [Fotiadi et al., 2006] A. FOTIADI, N. HATZIANASTASSIOU, P. W. STACKHOUSE , C. MATSOUKAS, E. DRAKAKIS, K. G. PAVLAKIS, D. HATZIDIMITRIOU and I. VARDAVAS 2006: Spatial and temporal distribution of long-term short-wave surface radiation over Greece,Q. J. R. Meteorol. Soc. (2006), 132, pp. 2693–271
- [Ricchiazzi et al.,1998] Paul Ricchiazzi, Shiren Yang, Catherine Gautier, and David Soble 1998: SB DART: A Research and Teaching Software Tool for Plane-Parallel Radiative Transfer in the Earth's Atmosphere, Bulletin of the American Meteorological Society(1998) Vol. 79, No. 10
- [Emde et al. ,2016] Claudia Emde, Robert Buras-Schnell, Arve Kylling, Bernhard Mayer, Josef Gasteiger, Ulrich Hamann, Jonas Kylling, Bettina Richter, Christian Pause, Timothy Dowling, and Luca Bugliaro 2016, The libRadtran software package for radiative transfer calculations (version 2.0.1),Geosci. Model Dev., 9, 1647–1672, 2016
- [N.Hatzianastassiou et al.,2004] N. Hatzianastassiou¹, A. Fotiadi, C. Matsoukas, K. G. Pavlakis, E. Drakakis, D. Hatzidimitriou, and I. Vardavas,2004 Long-term global distribution of Earth's short-wave radiation budget at the top of atmo-

sphere, *Atmos. Chem. Phys.*, 4, 1217–1235, 2004

[N.Hatzianstassiou et al., 2007] N. Hatzianastassiou¹, C. Matsoukas, A. Fottiadi, P. W. Stackhouse Jr., P. Koepke, K. G. Pavlakis, and I. Vardavas 2007, Modelling the direct effect of aerosols in the solar near-infrared on a planetary scale, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 3211–3229, 2007

[Wikipedia] https://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_radiative_transfer_codes